# عالَم الذرّة

## مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

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


العدد الثمانون | السنة السابعة عشرة | تموز–آب 2002



المدير المسؤول

**الدكتور إبراهيم عثمان**

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية

هيئة التحرير

**الدكتور توفيق قسّام** (رئيس هيئة التحرير)

**الدكتور محمد قعقع** — **الدكتور فؤاد العجل**

**الدكتور أحمد الحاج سعيد** — **الدكتور محمد فؤاد الربّاط**



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

# شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرة

1- ترسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالحبر بخط واضح، على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.

2- يُكتب على ورقة مستقلة عنوان مادة النشر واسم الكاتب وصفته العلمية وعنوانه مع ملخصين لها أحدهما بالعربية والآخر باللغة الإنكليزية حصراً، في حدود عشرة اسطر لكل منهما، ويطلب من كل من المؤلف والمترجم كتابة اسمه كاملاً، باللغتين العربية والأجنبية، ولقبه العلمي وعنوان مراسلته.

3- يُقدم المؤلف أو المترجم في ورقة مستقلة قائمة بالعبارات التي تشكل الكلمات المفتاحية «Key Words» (والتي توضح أهم ما تضمنته المادة من حيث موضوعاتها وغايتها ونتائجها والطرق المستخدمة فيها) وبما لا يتجاوز عشر عبارات باللغتين العربية والإنكليزية.

4- إذا سبق نشر هذا المقال أو البحث في مجلة أجنبية، ترسل الترجمة مع صورة واضحة عن هذه المادة المنشورة. ويستحسن إرسال نسخة الأصل المطبوع والأشكال (الرسوم) الأصلية، إن وجدت، ولو على سبيل الإعارة.

5- إذا كانت المادة مؤلفة أو مجتمعة من مصادر عدّة، يذكر الكاتب ذلك تحت العنوان مباشرة كأن يقول «تأليف، جمع، إعداد، مراجعة...» ويرفق المادة بقائمة مرقمة للمراجع التي استقاها منها.

6- إذا تضمنت المادة صوراً وأشكالاً، ترسل الصورة الأصلية وكذلك الأشكال مخططة بالحبر الأسود على أوراق مستقلة، إلاّ إذا كانت موجودة في المادة المطبوعة بلغة أجنبية (كما جاء في الفقرة «4»)، مرقمة حسب أماكن ورودها.

7- يرسل مع المادة قائمة بالمصطلحات العلمية العربية المستخدمة فيها مع مقابلاتها الأجنبية إذا لم تكن واردة في معجم الهيئة للمصطلحات العلمية والتقنية في الطاقة الذرية، الذي تم نشره في أعداد المجلة (2-18).

8- تكتب المصطلحات وكذلك أسماء الأعلام باللغتين العربية والأجنبية عند ورودها في النص أول مرة ومن ثم يُكتفى بإيراد المقابل العربي وحده سواء أكان هذا المقابل كاملاً أم مختزلاً. وتستعمل في النص المؤلف أو المترجم الأرقام العربية 3, 2, 1 أينما وردت مع مراعاة كتابتها بالترتيب العربي من اليمين إلى اليسار. وإذا ورد في نص معادلة أو قانون أحرف أجنبية وأرقام فتكتب للمعادلة أو القانون كما في الأصل الأجنبي.

9- يُشار إلى الحواشي، إن وجدت، بإشارات دالّة ( ★ , + , x , o, ... ) في الصفحة ذاتها، كما يشار في المتن إلى أرقام المصادر والمراجع المدرجة في الصفحة الأخيرة، وذلك بوضعها ضمن قوسين متوسطين [ ].

10- تُرقم مقاطع النص الأجنبي والنص العربي بترتيب واحد في حالة الترجمة.

11- يرجى من السادة المترجمين مراعاة الأمانة التامة في الترجمة.

12- تخضع مادة النشر للتقييم ولا تُرد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر.

13- يمنح كل من الكاتب أو المترجم أو المراجع مكافأة مالية وفق القواعد المقررة في الهيئة.

14- توجه المراسلات باسم رئيس هيئة التحرير إلى العنوان التالي:

**الجمهورية العربية السورية – هيئة الطاقة الذرّية – مكتب الترجمة والتأليف والنشر – مجلة عالم الذرّة – دمشق – ص. ب 6091**

## رسوم الاشتراك

الاشتراك السنوي للطلاب (200) ل.س – الاشتراك السنوي للأفراد (300) ل.س – الاشتراك السنوي للمؤسسات (1000) ل.س

الاشتراك السنوي للأفراد من خارج القطر العربي السوري (30) دولاراً أمريكياً. وللمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً – تتضمن الاشتراكات أجور البريد

بالنسبة للمشتركين من خارج القطر يُرسل رسم الاشتراك إلى العنوان التالي:

المصرف التجاري السوري فرع رقم 13
مزة – جبل – ص.ب 16005
رقم الحساب 2/3012

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية

يمكن للمقيمين داخل القطر دفع قيمة الاشتراك بحوالة بريدية على العنوان التالي:

***مجلة عالم الذرّة – مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرّية السورية – دمشق – ص. ب 6091***

مع بيانٍ يوضح عنوان المراسلة المفضل

أو تدفع مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة – دمشق – شارع 17 نيسان

## سعر العدد الواحد

سورية 50 ل.س / لبنان 3000 ل.ل / الأردن 2 دينار / مصر 3 جنيه / الجزائر 100 دينار / السعودية 10 ريال و6 دولارات في البلدان الأخرى.


*تود مجلة عالم الذرّة إعلام الشركات والمؤسسات العاملة في قطاع التجهيزات العلمية والمخبرية كافة والصناعات المتعلقة بها عن فتح باب الإعلان التجاري فيها.*
*للمزيد من الاستفسار حول رغبتكم بنشر إعلاناتكم التجارية الكتابة إلينا على العنوان التالي:*
*هيئة الطاقة الذرّية السورية – مكتب الترجمة والتأليف والنشر*
*دمشق ص.ب 6091 – الجمهورية العربية السورية*
*أو الاتصال على رقم الهاتف6111926/7 – فاكس 6112289*


ISSN 1607-985X

# في هذا العدد

## المقالات


☐ عرض لتطبيقات مقياسية جرعة الإشعاع باستخدام كود مونتي كارلو MCNP . . . . . تيموثي د. سولبرغ، وآخرون . . . . . 7
ترجمة هيئة التحرير

☐ معالجة السرطان باستخدام النظيرين Bi-213 و Ac-225 في مداواة مناعية إشعاعية . . . . . ك. أبوستوليدس، وآخرون . . . . . 29
ترجمة هيئة التحرير

☐ تناول جذاذة سليكون يومياً: هل سيبعد عنا الطبيب؟ . . . . . ليغ كانهام، روجر آستون . . . . . 35
ترجمة هيئة التحرير


## أخبار علمية


☐ التوجه نحو الذهب . . . . . 42.
☐ القوة الشديدة بازدياد. . . . . 43.
☐ التبديل السريع لأشعة-X. . . . . 45.
☐ إدخال المعادن في البوليميرات. . . . . 46.
☐ مفعول الضوء مع الماء. . . . . 49.
☐ مسارات جديدة بغية التوصل إلى النظرية النهائية. . . . . 50.
☐ التصادمات تتحسس البرودة. . . . . 52.
☐ فيزياء كرة القدم . . . . . 53.


## ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)


☐ محاكاة عدم الاستقرار الترموهدروليكي في مفاعلات البحث عالية التدفق باستخدام الكود ATHLET . . . . . علي حينون، أندرياس شافرات . . . . . 60

☐ أثر فعاليات تحميل الفسفات على البيئة البحرية القريبة: الشاطئ السوري . . . . . د. محمد سعيد المصري وآخرون . . . . . 69

☐ تثبيت الآزوت الجوي في الحمص : تأثير الهدروكينون كمثبط لليوريز على ثبات الإغناء بالنظير $^{15}N$ . . . . . د. فواز كرد علي . . . . . 74


## التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)


☐ رصد الهزات الأرضية الصغيرة في محافظة اللاذقية . . . . . د. مظهر بابرلي، محمد رضا سيناتي، . . . . 83
رياض الدراوشة، د. يانس ماكريس، د.يورك شتيكر

☐ تطبيق تقنية النظائر في دراسة مصادر تغذية المياه الجوفية وملوحتها في منطقة الرصافة (حوض الفرات الأوسط - الضفة الشامية) . . . . . د.عبد الرحمن شريدة . . . . . 86

☐ تأثير المعالجة بأشعة غاما على الحمولة المكروبية والخصائص النوعية للعرق سوس (Glycyrrhiza glabra L.) . . . . . د. محفوظ البشير، د. جورج لحام . . . . . 87

☐ القيمة الغذائية لنبات السيسبان (Sesbania aculeata) وتأثيره على الأداء التناسلي عند إناث الماعز الشامي . . . . . د. معتز زرقاوي، د. محمد راتب المصري، د. خلف خليفة . . . . . 89

☐ تأثير إضافة الفسفوجبسوم إلى التربة في نمو وإنتاج بعض المحاصيل الزراعية الهامة وفي انتقال العناصر المشعة والنادرة والفلور إليها . . . . . د. محمد العودات، د. نجم الدين الشرابي م. سلوى كناكري . . . . . 91

## كتب حديثة مختارة

☐ ذروة هوبرت: النقص في كمية النفط العالمي على وشك الحدوث . . . . . (تأليف: كينيث س. ديفيس) (عرض وتحليل: ستيوارت يونغ) . . . . . 94

☐ الميغاواطات والميغاأطنان: نقطة تحول في العصر النووي؟ . . . . . (تأليف: ريتشارد ل. غاروين وجورجز شارباك) (عرض وتحليل: ستيوارت يونغ) . . 94

☐ طاقة الغد: الهدروجين، الخلايا الوقودية والتوقعات بشأن كوكب أنظف . . . . . (تأليف: بيتر هوفمان) (عرض وتحليل: ستيوارت يونغ) . . . . . 94

☐ مختصر تاريخ العلوم: كما يُرى من خلال تطور الأدوات العلمية . . . . . (تأليف: توماس كرمب) (عرض وتحليل: كيفن جونسون) . . . . . 96

**ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد. . . . . 104**

يُسمح بالنسخ والنقل عن هذه المجلة للاستخدام الشخصي بشرط الإشارة إلى المرجع، أما النسخ والنقل لأهداف تجارية فغير مسموح به إلا بموافقة خطية مسبقة من الهيئة.

# المقالات

# عرض لتطبيقات مقياسية جرعة الإشعاع باستخدام كـود مونتي كارلـو MCNP*

تيموثي د. سولبرغ وآخرون
قسم علم الأورام الإشعاعية - المدرسة الطبية - لوس أنجلوس - كاليفورنيا
الولايات المتحدة الأمريكية

ملخص

إن لكود مونتي كارلو MCNP (مونتي كارلو للجسيمات المعتدلة) تاريخاً هاماً يرجع إلى السنوات الأولى من مشروع مانهاتن. ولقد استُعمل MCNP حديثاً بنجاح لحل العديد من المشاكل في مجال الفيزياء الطبية. فقد استخدم MCNP بنجاح في تطبيقات المعالجة بالأشعة لحساب أطياف إشعاع الكبح bremsstrahlung spectra من مسرّعات خطية طبية، ولنمذجة توزعات الجرعة حول منابع المعالجة القصيرة ذات المعدلات العالية للجرعة، ومن أجل تقدير الخواص المجْراعية لمنابع مشعة جديدة مستخدمة في تشعيع داخل الأوعية intravascular irradiation لمنع عَوْد التضيّق restenosis الذي يأتي عقب الرأب الوعائي angioplasty. كما استخدم MCNP أيضاً في تطبيقات المعالجة المناعية الشعاعية radioimmunotherapy وتطبيقات المعالجة بالأسر النتروني في البورون. لقد استخدم للتنبؤ بتنشيط النترونات السريعة للمواد المستخدمة في التدريع والمواد الحيوية. وهناك مجال يَعد بالكثير من الناحية السريرية، هو مجالُ التخطيط للمداواة باستخدام المعالجة بالأشعة. وفي تطبيقات التشخيص، استُخدم MCNP لنمذجة الماسحات في التصوير المقطعي الطبقي المحوسب بأشعة x x - ray computed tomography، وماسحات التصوير المقطعي الطبقي بالإصدار البوزتروني positron emission tomography، وذلك لحساب الجرعة التي تقدمها إجراءات CT، ولتعيين الخصائص المميزة للكواشف من نبائط الطب النووي. لقد استخدم MCNP لتعيين تدفقات الجسيمات حول نبائط المداواة بالمعالجة الشعاعية ولإنجاز حسابات التدريع في غرف المداواة بالمعالجة الشعاعية. تهدف هذه المخطوطة إلى تزويد القارىء بملخص شامل عن تطبيقات الكود MCNP في الفيزياء الطبية.

الكلمات المفتاحية: كود مونتي كارلو، MCNP، مجراعية الإشعاع، فيزياء طبية، تخطيط المعالجة، تطبيقات المجراعية.

## تمهيد

إن تطبيق التقنية على مشاكل نقل الإشعاع يكاد يعزى في جميع الأحوال إلى عمل فرمي في أواخر الثلاثينيات من القرن الماضي. فقد كان تطوير القنبلة الذرّية خلال الحرب العالمية الثانية، وكذا ظهور الحواسيب من الدوافع التي حثت وشجعت فرمي بالتعاون مع أولام Ulam، وفون نيومَن von Neumann، وميتروبوليز Metropolis، وغيرهم على أن يعرضوا بنجاح استخدام التقنية لاقتفاء أثر الجسيمات المعتدلة عبر عدد من المواد [1]. ونظراً لكون تأثرات الجسيمات المشحونة مع المادة أكثر حدوثاً وتعقيداً، فقد مر بعض الوقت قبل وضع بِرجِر Berger اللبنة الأولى في انتقال الجسيمات المشحونة [2]. واستناداً إلى هذا العمل، طوّر بِرجر وسِلْتزَر Seltzer إتْران ETRAN، وهو أول كود حاسوبي ذي هدف عام من أجل نقل الفوتونات والإلكترونات [3].

لقد كان معروفاً أن عمل برجر قد يقدم حلاً لكثير من المشاكل التي تواجَه في مجراعية (مقياسية الجرعة) الإشعاع المؤيِّن حتى قبل تطوير ETRAN. جاء في كتاب فيتزجيرالد Fitzgerald براونل Brownell وماهوني Mahoney عام 1967 حول مقياسية الجرعة: "يبدو أن تقنيات مونتي كارلو قد تكون أسلوباً عاماً حسناً للاختيار في مسائل ذات منابع معقدة وأبعاد هندسية معتدلة "[4]. إن الملاحظة بأن تكون التطبيقات محدودة بالقول "عندما لاتكون التغلغلات العميقة ذات أهمية أساسية"، تبين أن المؤلفين قدّروا الصعوبات الموجودة، بما في ذلك طبيعة الطريقة المكثفة من الناحية الحسابية. في الوقت الذي شهدت فيه السنوات التي مرت منذ تطوير ETRAN تقدماً هائلاً في مجالات نقل الإشعاع، ومجراعية الإشعاع، وخوارزميات لحساب الجرعات، ظلّتْ مقدرة طريقة مونتي كارلو بدون منازع. وآخر ما اقترحه موهان بأنه "... توجد إمكانية للتحسين في الحصيلة السريرية إذا حُسّنت الدقة في الجرعة بمساعدة محاكاة مونتي كارلو لنقل الإشعاع" [5].

تبنّى عدد من الباحثين كود مونتي كارلو للجسيمات المعتدلة MCNP (Monte - Corlo N - Particle) كهيكل يبنون عليه المجراعية والتطبيقات المخطط لها للمداواة بالمعالجة الشعاعية [1، 6، 7]. تم تبنّي نقل

* نشر هذا المقال في مجلة *Radiochim Acta* 89, 337 - 355, 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الإلكترونات في MCNP في الأصل من ETRAN [3]. جرت مسبقاً حسابات قوى الإيقاف الصدمي على شبكة ذات حدود تقابل خطى الطاقة العظمى. هذه الخطى لها طول s يخضع للعلاقة:

$$\frac{E_n}{E_{n-1}} = k, \qquad (1)$$

حيث $k = 2^{\frac{1}{8}}$

كما أن فقْد الطاقة المنتشر بغير نظام، من جداول بورش - سوبان Borsch - Supan لتوزع لانداو / بلونك - لايزيغانغ، قد جرى اختباره عند كل خطوة طاقة كبرى. تقسم خطى الطاقة الكبرى أيضاً إلى خطى فرعية بطول s / m، حيث m لها قيمة بين 2 و 15 (أو كما يعرفها المستخدم)، اعتماداً على المادة. تُرتَّب الانحرافات الزاوية، المأخوذة من توزع غود سميت - ساندرسون، وجداء كل الجسيمات الثانوية في عيّنات عند كل خطوة فرعية.

بواسطة النسخة 4B، يُظهر MCNP الفيزياء الفوتونية مكافئة لنسخة سلسلة تايجر المتكاملة Integrated Tiger Series (ITS النسخة 3.0) [6]. وبواسطة النسخة 4C، المنشورة حديثاً، أدخلت زيادات ملحوظة في الفيزياء الإلكترونية كي "تجعل MCNP أكثر تماشياً مع سلسلة تايجر المتكاملة" [8]. وهذا يتضمن تحسينات على قوى الإيقاف المشعة وإنتاج إشعاع الكبح. بالرغم من أن صياغة غودسميت - ساندرسون للتبعثر الإلكتروني المتعدد في ETRAN / ITS اعتبرت متفوقة على الطرق الأخرى، إلا أنه لوحظ بعض النقص، وعلى الأخص فيما يتعلق بفقد الطاقة المنتشر بصورة غير منتظمة [9، 10]. ففقد الطاقة غير المنتظم في التطبيق الأصلي جرى تجميع عيّناته واختبارها بشكل غير كاف من تقريب بلونك - ليزغانغ لنظرية لانداو. ولقد تناولت النسخ المتأخرة من ITS [11] هذا النقص، وطُبّق ذلك حديثاً في MCNP [6، 12].

إن لـ MCNP عدة مزايا تجعله جذاباً لتطبيقات الفيزياء الطبية. فمجال النقل الفوتوني والإلكتروني يمتد من 1keV إلى 100MeV. كما يمكن نمذجة ظواهر الطاقة المنخفضة المهمة بدقة، مثل إنتاج ونقل أشعة X مميزة وشلالات أوجيه. وينقل الكود أيضاً النترونات، مع أن الاقتران لايمتد إلا إلى النترونات الناتجة عن الفوتونات. إن إنتاج النترونات الفوتونية لم يُنفَّذ إلا حديثاً في MCNP، رغم أنه غير مدعوم الآن في الإطلاقات الرسمية. يدعم MCNP عدة خطط هندسية في وقت واحد؛ فالهندسة التوافيقية combinatorial التي تَجْمع سطوح الدرجة الأولى والثانية والأشورة الإهليلجية من الدرجة الرابعة تعد مناسبة بصورة مثالية لنمذجة المسرّعات، في حين يحاكي مظهر الشبيكة المتداخلة تخيلات طبية قائمة على الفوكسيلات أو عناصر الحجم voxel - based medical imagery. يمكن محاكاة حزم المعالجة بالأشعة الخارجية المتعددة باستعمال ميزة البنى المتكررة. فكل التعليمات الواردة من المستخدم، بما فيها تركيبة المنبع، وهندسة الهدف، ومواصفات المادة، والوسطاء الفيزيائية، وخيارات الانحياز، تنشأ من ملف نص واحد؛ وليس هناك حاجة لتشغيل برمجيات حاسوبية من قبل المستثمر. ومع ذلك فإن التعديلات على الكود تتم بسهولة من خلال مساعدة المعالج الأولي Pre- processor PRPR. إن إمكانية توزيع حساب ما على عدة معالجات حاسوبية موصولة وصلاً غير محكم يمكّن أداء MCNP من أن يقيس (يدرّج) بتناسب خطي مع عدد المعالجات المخصّصة للغرض. إن MCNP مدعّم على منظومات عديدة لأسلوب بناء الحواسيب وأنظمة تشغيلها بما في ذلك يونيكس و ويندوز TM (DOS). وأخيراً فإن تصوراً ثلاثي الأبعاد لهندسة MCNP ومسارات الجسيمات متاح من خلال تطبيق منفصل يدعى SABRINA [13]. إن الكود MCNP الحالي، وهو النسخة 4B، يعد من وجوه عدة قمة العمل الذي قام به فِرمي Fermi وأولام Ulam وفون نيومان von Neumann وميتروبوليس Metropolis و بِرْجِر Berger و سلتزر Seltzer. إن MCNP مدعوم بصورة فعالة من قبل المجموعة XCI في مختبر لوس ألاموس الوطني (www - xdiv. lanl. gov / XCI / PROJECTS / MCNP/).

يُقصد من هذه المخطوطة أن تكون بمثابة مراجعة شاملة لاستخدام كود MCNP في تطبيقات المجراعية الطبية. إذا رغب القارىء بمزيد من التفاصيل الخاصة عليه أن يرجع إلى المراجع في آخر المقال. وبالإضافة إلى ذلك هناك دراسة ممتازة عن تطبيقات مونتي كارلو في المجراعية (مقياسية الجرعات) الطبية قام بها أندريو Andreo [9].

## المعالجة الإشعاعية بالحزم الخارجية

### نمذجة المسرعات وإنتاج إشعاع الكبح

يعد الحساب الدقيق لأطياف إشعاع الكبح شرطاً لحسابات مونتي كارلو عديدة أخرى في مجراعية الإشعاع الطبي. استخدم دي ماركو De Marco وآخرون كود MCNP لحساب أطياف إشعاع الكبح ذي الهدف الثخين من أجل إلكترونات واردة بطاقة 15 MeV على أهداف من Al و Be و Pb [14]. في ذلك الحين اندمج MCNP (نسخة 4A) والنسخة 1 من ITS المتعلقة بالنقل الإلكتروني [15]. ولقد زيد العدد المُغْتفل default number للخطى الفرعية الإلكترونية إلى ستة أضعاف في كل مادة هدف كي نقلّل ماأمكن من النتاج الصنعي السطحي الذي ينتج في حصيلة عالية إلى حد غير واقعي من فوتونات أشعة الكبح الناتجة في الاتجاه المباشر. جرى تسجيل الحصيلة المتكاملة (المتجمعة) والطاقة الوسطى لكل طيف عند زوايا مختلفة بين 0 و 90 درجة. قورنت النتائج مع المعطيات المقيسة التي حصل عليها فاديغون Faddegon وآخرون وكذلك مع الحسابات المبكرة التي أُنجزت باستخدام الكود EGS4 [16, 17]، ولُخّصت بالجدول 1. أما عند زوايا أقل من 60 درجة، فكانت الحصيلة المتكاملة المحسوبة باستخدام MCNP في حدود 6% من المعطيات المقيسة من أجل كل مواد الهدف وإن يكن تقدير MCNP عند زوايا أكبر، ومن أجل الهدف Pb بصورة خاصة، فيه مغالاة على القياس وكذلك على حسابات EGS4. من المحتمل أن يكون هذا عائداً إلى معطيات المقطع العرضي لإشعاع الكبح القديمة في النسخة 4B من MCNP. إن الحسابات التي تستخدم معطيات مقطع عرضي جديدة أو نقلاً إلكترونياً محسّناً للنسخة 4B يجب أن يتم إنجازها.

لقد أنجز سايبرز Seibers وآخرون، حديثاً، مقارنة مفصلة بين EGS و MCNP 4B من أجل توليد التوزعات الفضائية لطور الفوتون [18]. إن توزعات إشعاع الكبح الذي ولّدناه باستخدام كلا الكودين مستخدمين



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

**الجدول 1**– حصيلة إشعاع الكبح المتكاملة (في $Sr^{-1}$) حسبت باستخدام كل من MCNP 4A و EGS4 وقاسها فاديغون وآخرون [17]. مأخوذة من دي ماركو وآخرين [14].

| الهدف | الزاوية ( ) | MCNP | EGS4 | تجريبياً |
|---|---|---|---|---|
| Be | 0 | $2.74 \times 10^{0}$ | $2.60 \times 10^{0}$ | $2.73 \times 10^{0}$ |
| Be | 2 | $2.10 \times 10^{0}$ | $2.00 \times 10^{0}$ | $2.14 \times 10^{0}$ |
| Be | 10 | $6.19 \times 10^{-1}$ | $5.69 \times 10^{-1}$ | $6.30 \times 10^{-1}$ |
| Be | 30 | $9.52 \times 10^{-2}$ | $8.65 \times 10^{-2}$ | $9.49 \times 10^{-2}$ |
| Be | 90 | $1.07 \times 10^{-2}$ | $9.89 \times 10^{-3}$ | $1.06 \times 10^{-2}$ |
| Al | 0 | $3.36 \times 10^{0}$ | $3.27 \times 10^{0}$ | $3.42 \times 10^{0}$ |
| Al | 2 | $2.68 \times 10^{0}$ | $2.63 \times 10^{0}$ | $2.78 \times 10^{0}$ |
| Al | 10 | $1.06 \times 10^{0}$ | $1.00 \times 10^{0}$ | $1.06 \times 10^{0}$ |
| Al | 30 | $2.71 \times 10^{-1}$ | $2.47 \times 10^{-1}$ | $2.65 \times 10^{-1}$ |
| Al | 90 | $3.38 \times 10^{-2}$ | $2.51 \times 10^{-2}$ | $2.87 \times 10^{-2}$ |
| Pb | 0 | $2.91 \times 10^{0}$ | $3.07 \times 10^{0}$ | $2.92 \times 10^{0}$ |
| Pb | 2 | $2.40 \times 10^{0}$ | $2.50 \times 10^{0}$ | $2.48 \times 10^{0}$ |
| Pb | 10 | $1.14 \times 10^{0}$ | $1.21 \times 10^{0}$ | $1.20 \times 10^{0}$ |
| Pb | 30 | $4.35 \times 10^{-1}$ | $4.50 \times 10^{-1}$ | $4.47 \times 10^{-1}$ |
| Pb | 90 | $5.94 \times 10^{-2}$ | $5.33 \times 10^{-2}$ | $5.19 \times 10^{-2}$ |

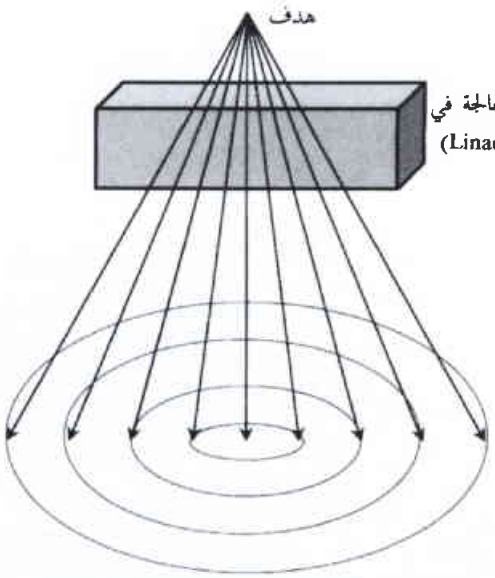
نموذجاً تفصيلياً لمسرع خطي تجاري (فاريان Varian 2100C، منظومات فاريان لعلم الأورام Oncology، بالو ألتو Palo Alto، CA). وفي حين لوحظت اختلافات في إنتاج إشعاع الكبح المطلق بين الكودين، فإن المنظرين الجانبيين لكلٍ من الجرعة في الأعماق و البعد عن المحور المحسوبين من أجل الحزمتين الناتجتين 6 و 18 MeV كانا على وفاق تام.

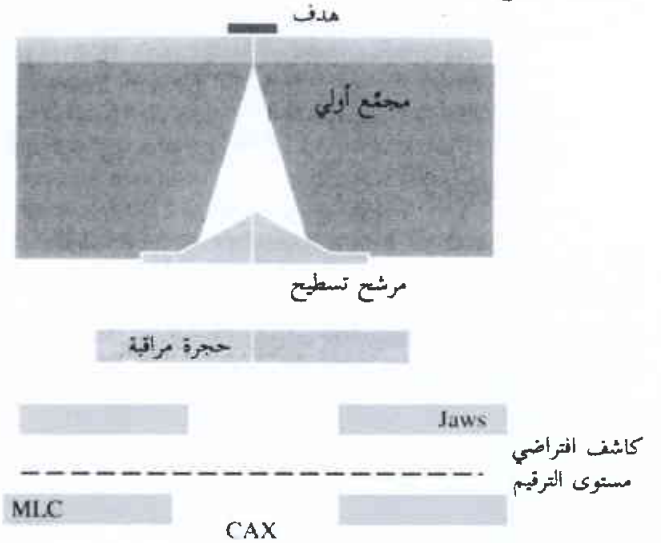
ولإنجاز حسابات إشعاع الكبح من أجل مسرعات خطية طبية، لابد من معرفة مواصفات تفصيلية لمكونات المسرع من الشركة المصنّعة. وفضلاً عن ذلك، يجب على الشركة الصانعة أن تقدم توزع الطاقة للإلكترونات على الهدف، علماً بأن الطاقة الاسمية فقط هي التي تعطى في أغلب الأحيان. وبعد ذلك يُنمذَج المسرِّع حسب كود مونتي كارلو ثم تُولَّد فوتونات إشعاع الكبح الناتج ثم يُقتفى أثرها عبر المكونات المختلفة (الشكل 1). تستخدم مقدِّرات الحوادث اللاحقة ("الكواشف" في MCNP) بشكل واسع لتسجل الطيف الناتج نظراً للكفاءة المتأصلة المصاحبة لاستخدامها. أنجزت سلسلة أخرى من الحسابات لتقدير واختبار جودة الأطياف بمقارنة القياس بمعيار مرجعي. ويتألف هذا في الحالة العامة من جرعة العمق على المحور المركزي من الجانبيات والتي تبتعد عن المحور في الماء. ونظراً للتناقض والتضارب في المواصفات التي تزوّد بها الشركة الصانعة، فإنه ليس غريباً أن نجد بعض الشيء من عدم التوافق بين جرعة العمق المحسوبة في البدء وبين القياس. وهكذا فإن هذه العملية المؤلفة من خطوتين للحصول على أطياف الفوتونات ولجعل هذا الأمر مؤكداً، تُعدّ عملية تكرارية بمعنى أن طاقة الإلكترون على الهدف، تُغيَّر في محاكاة مونتي كارلو حتى يتحقق التوافق مع المعطيات المقيسة.

أنجز عدد كبير من الباحثين حسابات لأطياف إشعاع الكبح من مسرِّعات طبية باستخدام MCNP. يبين الشكل 2 أطيافاً لحزمتين من أشعة X مسرعتين بـ 6 MV و 25 MV للمعالجة الإشعاعية قام بحسابها دو ماركو وآخرون [19]. وبالرغم من كون الطاقة الاسمية للإلكترون حسب توصيف الشركة الصانعة هي 6 و 25 MeV من أجل نمطي الطاقة المنخفض والعالي على الترتيب، فإن المحاكاة تطلبت طاقة 6.8 MeV و 22.0 MeV للحصول على توافق جيد مع القياس.

لقد خضعت هذه الأطياف لمقارنات مرجعية مكثفة وهي تستخدم الآن في تطبيقات مونتي كارلو المخطط لها للمداواة بالمعالجة الإشعاعية (في الأسفل) [19، 20]. لقد استخدم لويس Lewis وآخرون MCNP لإنجاز توصيفات مسرِّعات مماثلة [20].

وبأسلوب مماثل، حصل أريلانو Arellano وآخرون، وتشيتي Chetty وآخرون على أطياف لمسرع خطي فريد (Novalis) مخصص لتطبيقات المعالجة بالأشعة (الشكل 3) [22، 23]. تتمتع هذه النبيطة (الجهاز) بمرشح للتسوية والتسطيح (تنعيم) أصغر بشكل ملحوظ، وقد صُمِّم ليزيد من

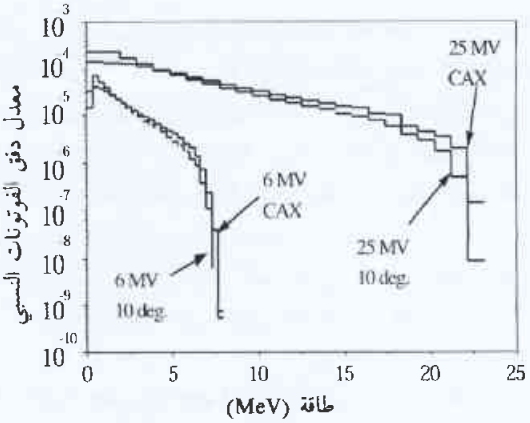


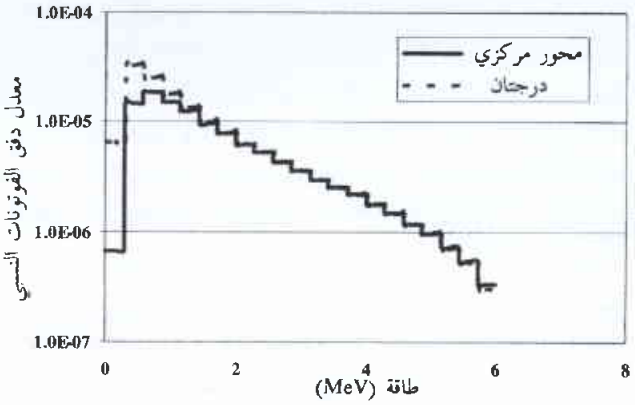

**الشكل 1**– أطياف أشعة X لمسرعات خطية طبية ذات طاقة عالية تم الحصول عليها بنقل إلكترونات على هدف ومتابعة أطياف أشعة الكبح الناتجة عبر مركبات متعددة (إلى اليسار). MCNP تظهر "كواشف حلقية"، يطلق عليها بصورة عامة اسم مقدّرات الحادثة التالية (إلى اليمين) من أجل تسجيل أطياف أشعة X.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية




**الشكل 2**– أطياف أشعة X من أجل حزمتين اسميتين 6 و 25 MV أنتجهما المسرع الخطي Philips SL - 25. مأخوذة من دي ماركو وآخرين [14].



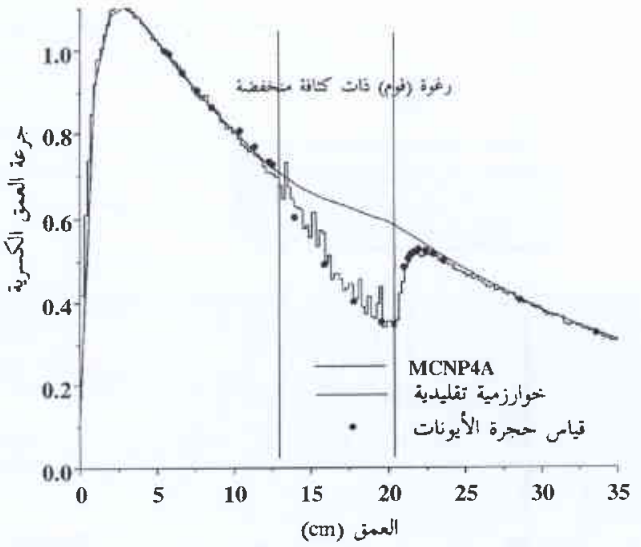

**الشكل 3**– أطياف أشعة X من أجل حزم اسمية ذات 6MV أنتجها مسرّع نوفاليز Novalis الخطي. مأخوذة من تشيتي وآخرين [23].

خرج الإشعاع. وفي النتيجة تكون الحزمة أكثر نعومة من الحزم في المسرعات الأخرى التي تستخدم الـ 6MV، بطاقة وسطى تبلغ 1.67 MeV على امتداد المحور المركزي و 1.40 MeV بعيداً عن المحور.

## تطبيقات المعالجة الإشعاعية

كان مكّي Mackie وباتيستا Battista [24] أول الداعين إلى استخدام طرائق مونتي كارلو في تطبيقات المعالجة بالأشعة الحديثة. ومنذ ذلك الحين، ظل تطبيق أساليب مونتي كارلو على تخطيط المداواة بالمعالجة الإشعاعية الموضوع الذي نال قسطاً كبيراً من المناقشة والتفكير. هناك العديد من المراكز العلمية بمافيها UCLA، وجامعة ستانفورد، والكلية الطبية في فيرجينيا (MCV)، ومختبر لورنس ليفرمور الوطني، ومجلس البحث الوطني في كندا (NRCC) وآخرون، تلعب دوراً رائداً في تطوير قدرات طريقة مونتي كارلو في التخطيط للمعالجة، رغم أن المتاجرة (التتجير) ذات الانتشار الواسع تبقى بعيدة عدة سنوات [5، 19، 25 – 32].

إن تطبيقات مونتي كارلو في المعالجة الإشعاعية بالحزم الخارجية قد تضمنت تاريخياً حساب وسطاء الحزمة العيارية أمثال جرعة العمق على المحور المركزي وجانبيات الابتعاد عن المحور. وفضلاً عن ذلك، فإن طريقة مونتي كارلو تُستخدم كثيراً للحصول على معطيات وذلك عندما لا تكون القياسات ممكنة أو عندما يوجد ارتياب كبير في المعطيات المقيسة. أوضح صولبرغ Solberg وآخرون أنه من الممكن أن يكون MCNP أداة قيّمة في التنبؤ بالجرعة بالقرب من السطوح البينية (سطوح التماس) وفي مناطق تعاني نقصاً في التوازن الإلكتروني [33]. يوضح الشكل 4 فقدان التوازن وفق المحور المركزي الذي يمكن أن يحدث عندما تواجه حزم الفوتونات مناطق ذات كثافة منخفضة. قارن لوف Love وآخرون جرعة العمق المحسوبة في الماء من عدة كودات لمونتي كارلو بما فيها EGS4 والنسختين الأكثر حداثة من MCNP، والأحداث منهما (MCNP 4B) مستخدمين خوارزميتين مختلفتين لفهرسة الطاقة energy indexing [34]. استخدمت منابع لأشعة X أحادية الطاقة تعطي 1.25 و 1.9 و 3.0 ميغا إلكترون فولط (MeV) وذلك كي تقرّب حزم المعالجة الإشعاعية لأطياف إشعاع الكبح من إشعاع الكوبالت 60 – Co والإشعاعين الناتجين من التسريع بـ 6 و 10 MV على الترتيب. سُجّلت الجرعة كتابع للعمق في شبح مائي محاكى، ثم قلبت إلى جرعة لكل سجل زمني (تاريخ) لتسهل المقارنة بين الكودات. وفيما عدا الجرعة القصوى، كان الاتفاق بين الكودات الثلاثة عند كل الطاقات المحاكاة ضمن الارتياب (عدم اليقين) الإحصائي لحسابات مونتي كارلو (2% >). أدى استخدام خوارزمية فهرسة طاقة مغتَفَلة في MCNP، داخل منطقة التراكم، إلى جرعة محسوبة هي أقل قليلاً مما تعطيه كلٌ من EGS4 أو MCNP ذواتي فهرسة الطاقة المحسّنة. كما لاحظ مؤلفو هذا المقال أنه من أجل الهندسات البسيطة التي استخدموها في محاكياتهم، كانت EGS4 أسرع من MCNP بحوالي 50 إلى 80 في المائة.




**الشكل 4**– علامة مرجعية benchmark لجرعة العمق من أجل حزمة فوتونات 10 MV تعترض شبحاً مائياً صلباً يحتوي على منطقة ذات كثافة منخفضة. يبدو القياس وحسابات مونتي كارلو (MCNO4A) على توافق ممتاز بينما تخفق خوارزمية تقليدية ($E_qTAR$) في تقدير دور المنطقة ذات الكثافة المنخفضة بشكل ملائم. مأخوذة من دي ماركو وآخرين [19].

## الحزم الإلكترونية

عند تطبيق طرائق مونتي كارلو على المعالجة الإشعاعية، تركّز القسم الأعظم من العمل على الحزم الإلكترونية. وتلك هي الحال مع مشاريع عديدة تابعة لمؤسسات عدة من أواخر الثمانينيات والتسعينيات من القرن الماضي، و أوميغا OMEGA، و بيم BEAM، و MMC [27، 29، 31]. إن كلا المشروعين، إضافة إلى القدر الكبير من العمل اللاحق، مبنيّ على كود EGS. وعلى العكس من ذلك، لم ينجز باستخدام MCNP إلا القليل نسبياً.

قدم ما Ma وجيانغ Jiang [35] حديثاً مراجعة شاملة عن تطبيقات مونتي كارلو على الحزم الإلكترونية المنمذجة من مسرعات خطية طبّية. في حالة MCNP هناك مراجع قليلة نسبياً. أما لوف وآخرون فقد استخدموا EGS4 و MCNP - 4B لحساب جرعة العمق على المحور المركزي في الماء من أجل حزمة إلكترونية بطاقة 10 MeV [34]. عند تشغيل MCNP في النمط المُختفل default mode، لاحظ مؤلفو المقال جرعة سطحية أدنى وتغلغلاً أعمق بالمقارنة مع EGS4، وهذه ظاهرة ترجع إلى فهرسة طاقة غير صحيحة imcorrect energy indexing كما أشار جيراج Jiraj وآخرون [36] من قبل. وعندما استخدمت خطة فهرسة الطاقة المحسَّنة، اتفقت EGS4 و MCNP في حدود الارتياب الإحصائي للحسابات. أما الاتفاق مع BJR - 25 عند D50 (وهو العمق الأقصى بجرعة 50%) فهو في حدود 0.5%.

أنجز جيراج وآخرون دراسة مماثلة من أجل حزمتين إلكترونيتين طاقتاهما 6 و 20 MeV [36]. لاحظ المؤلفون ظواهر مماثلة بالنسبة للنقل الإلكتروني وفق MCNP. عند الطاقة 6MeV، تم تقدير فقْد الطاقة بواسطة MCNP - 4A و MCNP - 4B تقديراً منخفضاً باستخدام فهرسة الطاقة المُختَفَلة (MCNP $_{DEF}$) default energy indexing، فنتج عن ذلك حزمة كانت متغلغلة كثيراً عند مقارنتها مع EGS4 ومع القياس. و يختبر MCNP - 4A بصورة غير صحيحة عينات ذات انتشار غير منتظم للطاقة، في حين استخدم $MCNP_{DEF}$ الطريقة الأقدم لفهرسة الطاقة. إن شكلية ETRAN من أجل الانتشار غير المنتظم للطاقة في MCNP - 4A تقدِّر فقْد الطاقة تقديراً بخساً، وقد وُصِفت من قَبْل [10, 37]. ولكن باتباع خطة فهرسة الطاقة المحسَّنة في MCNP (يسمي المؤلفون هذه MCNP $_{ITS}$ من أجل فهرسة النمط ITS)، فإن حسابات MCNP على وفاق ممتاز مع القياس. وبخصوص الإلكترونات بطاقة 20 MeV، فإن MGS4 و $MCNP_{ITS}$ كانتا أيضاً على اتفاق جيد.

أنجز جيراج وآخرون أيضاً سلسلة من الحسابات لتبعثر الإلكترون الراجع electron backscatter بالقرب من السطوح البينية لكل من الهواء أو النحاس أو الرصاص والماء الصلب [36]. تمت القياسات في حزمة إلكترونية طاقتها 20 MeV باستخدام TLD وحجرة تأيّن ذات صفائح متوازية. عملت محاكيات EGS4 ومونتي كارلو MCNP - 4B على نمذجة TLDs واستخدمت طيف الإلكترون / الفوتون معاً. عُرِّف عامل التبعثر الراجع للإلكترون electron backscatter (EBF) factor بأنه نسبة الجرعة المقدمة إلى TLD مع وبدون لاتجانسية الرصاص. يلاحظ المؤلفون أن الاتفاق بين كل نسخ MCNP والقياسات جيد بالرغم من أن حساب جرعة العمق تم بصورة غير صحيحة في النسخ المبكرة لـ MCNP. كما يلاحظ المؤلفون أيضاً أن حسابات EGS4 اتفقت بصورة حسنة مع القياس بالقرب من سطحي تماس الهواء / الماء و النحاس / الماء، لكن EGS4 أعطت تقديراً أدنى لـ EBF (عامل التبعثر الراجع للإلكترون) عندما استخدم الرصاص. يلخص الجدول 2 نتائج حساباتهم وتجارب TLD.

مع التأكيد المضاف على النقل الإلكتروني في النسخ الحديثة من MCNP، ينُصح القارىء بالعودة إلى التوثيق في سلسلة ITS للكودات [38]، إضافة إلى العمل الأكثر حداثة على MCNP [39]. هناك دراسة (مناقشة) ممتازة عن النقل الإلكتروني في النسخ المبكرة لـ ETRAN و ITS يمكن إيجادها في الوقائع Proceeding التي نشرها جِنْكِنز Jenkins ونلسون Nelson و رِندي Rindi [40].

## حزم الفوتونات

إن استخدام MCNP من أجل التخطيط لمعالجة إشعاعية بالفوتونات قائمة على CT قد شُرح من قِبَل دو ماركو وآخرين، وولاس Wallace وألِن Allen، وحديثاً جداً من قبل تشِنغ [19، 20، 23، 32]. كتب وُلاس وألِن كود FORTRAN خصيصاً لإنشاء فوكسيلات (عناصر الحجم) Voxels مستخدمة على هندسة توافيقية للكود MCNP النموذجي. وهذا مماثل للطريقة التي استخدمها زامِنهوف Zamenhof وآخرون في تطبيقات المعالجة بأسر النترونات في البورون (انظر أدناه) [41]. تم تعيين التركيب العنصري والكثافة بناء على عدد CT وفق تقرير ICRU رقم 46. أنجزت معالجات أولية أكثر لفصل الهواء المحيط عن فوكسيلات ذات كثافة مماثلة ضمن الرئة. أنجزت عملية النقل باستخدام نسخة سابقة من MCNP (هي النسخة 3A). ولما كانت النسخة 3A لاتنقل إلكترونات، فقد سجل معدّل دفق fluence الفوتونات في كل فوكسيلة ولُفَّ بعامل كرما KERMA مناسب. كان يلزم 10 ساعات تشغيل تقريباً للحصول على انحراف معياري قدره 5% أو أقل في كل فوكسيلة. لقد لاحظ باحثون آخرون أن الانحرافات المعيارية الأصغر قد تكون ضرورية لإنتاج "توزعات أملس أو أنعم".

استفاد دوماركو من وجود هندسة "شبيكة" لـMCNP، وهي المستخدمة تقليدياً لنمذجة عناصر المفاعل النووي، كي يسهّل استخدام تخيلات طبية مبنية على الفوكسيلات voxel-based medical imagery.

**الجدول 2**– عوامل التبعثر الراجع للإلكترونات بالقرب من السطح البيني لـ رصاص / ماء صلب حسبت باستخدام EGS4 و MCNP وقيست باستخدام TLD. مأخوذة من جيراج وآخرين [36].

| موضع Pd من المدخل (mm) | موضع TLD من Pb (mm) | EBF (MCNP) | EBF (EGS4) | EBF (مقيس) |
|---|---|---|---|---|
| 54 | 0 | 1.41 ± 0.01 | 1.34 ± 0.01 | 1.43 ± 0.02 |
| 54 | 3 | 1.23 ± 0.01 | 1.20 ± 0.01 | 1.25 ± 0.02 |
| 34 | 3 | 1.22 ± 0.01 | 1.17 ± 0.01 | 1.20 ± 0.02 |
| 74 | 3 | 1.16 ± 0.01 | 1.18 ± 0.01 | 1.22 ± 0.02 |



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

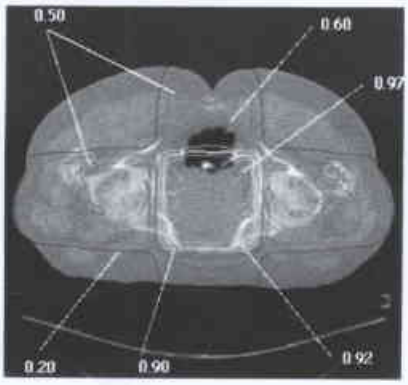
لقد كُتب معالج بياني ليؤمن وصلة بينية للمستخدم و لِMCNP. تقرأ الوصلة البينية معطيات CT وتولد عناصر شبيكة MCNP على شبكات ذوات مصفوفات تمتد من $64^2$ حتى $512^2$ مملوءة بواحدة من 17تصميم مادة/كثافة مبنية على عدد CT، باتباع تقرير ICRP رقم 23 وتقرير ICRU رقم 44. يحدد المستخدم الوسطاء الخاصة بالمعالجة مثل طاقة الحزمة (أطياف إشعاع الكبح من مكتبة محسوبة مسبقاً للمسرعات الخطية الطبية)، والتوجيه وعدد الحزم. تُكتب كل المعلومات في ملف دخل MCNP، و اعتماداً على الفَصْل (الميّز) المرغوب لفوكسيلات الجرعة (الشبيكة) يمكن أن يبلغ طول هذا الملف عشرات الألوف من الأسطر. أنجز النقل الفوتوني / الإلكتروني المقترن باستخدام MCNP 4A (مع حل لمسألة النتاج الصنعي لانتشار الطاقة بصورة غير منتظمة، كان أندرو Andreo وبراهمي Brahme [37] أول من أشار إلى ذلك). سُجّلت الجرعة في كل عنصر شبيكة باستخدام ترقيم ترسيب الطاقة (F8*) المُعدَّل من أجل شبيكة لا متجانسة. ومنذ ذلك الحين تكاملت وظائف ما قبل المعالجة، وكذلك وظائف ما بعد المعالجة من أجل عرض الجرعة وتقييم الخطة في منظومة تخطيط معالجة تجارية.

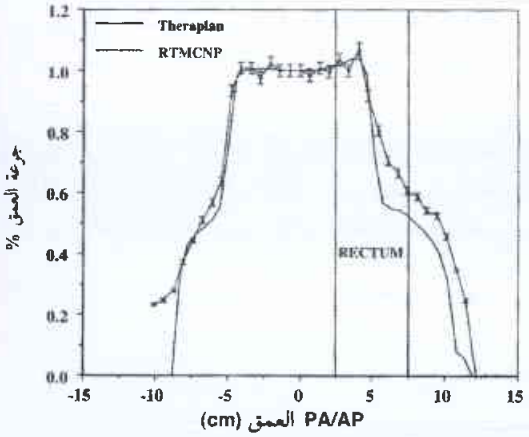
تم إنجاز عدة نقاط مرجعية لتحقق النهج في هندسات متجانسة ولا متجانسة. يبين الشكل 4 مقارنة بين MCNP وقياسات على شبح مائي صلب أُدخلت فيه منطقة ذات كثافة منخفضة. يتنبأ MCNP بدقة بفَقْد توازن المحور المركزي ومنطقة النمو الثانوي الناتج مُتتبِّعاً اللاتجانسية. تفشل خوارزميات الجرعة التقليدية (EqTAR مبيّنة كذلك) في التنبؤ بالاضطراب الذي تسببه المنطقة ذات الكثافة المنخفضة. يبين الشكل 5 ترتيباً رباعي الحقل من أجل تشعيع المؤثَة (غدة البروستات) prostate التي جرى حسابها باستخدام MCNP. يلاحظ أن خط تساوي الجرعة 60% يتبع كَفاف المستقيم rectum. وهذا الوضع لايمثل الحالة التي تُنجز الخطة المماثلة باستخدام منظومة تجارية (Theraplan Plus™, MDS - Nordion, Kanata, Ontario, Canada). ولهذا مضامين سريرية ذات مغزى لأن المستقيم هو البنية الأساسية المحدّدة للجرعة dose limiting structure في تشعيع المؤثة.

كما أن دوماركو وآخرين أدخلوا تعديلات هامة على كود MCNP ليجعلوا النقل الفوتوني أمثلياً عبر هندسة الشبيكة [19]. وبالإضافة إلى ذلك فإنه يسمح للمستخدم أن يحدد فقط تلك الفوكسيلات الخاصة التي ستسجل فيها الجرعة. ففي تطبيقات المعالجة بالأشعة حيث نرغب أن يكون فصل (مَيّز) الجرعة عالياً، والفوكسيلات قد تكون من مرتبة 1mm، فإن تعديلات التقفّي والتسجيل قد أدت إلى زيادة في السرعة تصل حتى $10^3$.

طور تشيتي وآخرون، معتمدين على عمل دوماركو وآخرين، منبع فضاء طوري معمّماً generalized phase - space source لمحاكاة تشكيل الحقل، من بين الأشياء الأخرى، مستخدماً مجمّعات (مسدّدات) متعددة الوريقات multileaf collimator ومخططات (خرائط) ذات شدة كيفية كتلك التي تستخدم في المعالجة الإشعاعية المعدَّلة الشدة (IMRT) intensity modulated radiotherapy [20, 23]. إن تسجيل طيف أشعة X يتم بطريقة مشابهة للطريقة الموصوفة أعلاه. وعلى كل حال، فإن قيم معدل الدفق النسبي تؤخذ بالاستقراء الداخلي من الكواشف الحلقية في الفضاء الطوري إلى شبكة ديكارتية باستخدام تحويل بسيط للإحداثيات القطبية. يتم الحصول على معدل الدفق النسبي لمناطق واقعة بين كواشف حلقية من خلال استقراء داخلي خطي [انظر الشكل 6]. يخصّص كل جسيم منبع يبدأ من منبع فضاء طوري بموضع (x, y, z) باعتيان تابع (دالة) توزع تراكمي مناسب (CDF) cumulative distribution function بدلاً من شبكة معدّل الدفق الافتراضي. يبين الشكل 6 شبكة معدل الدفق الأولية من أجل حزمة اسمية من الفوتونات GMV. هناك تابع توزع تراكمي (CDF) آخر أنشيء بأسلوب مماثل يستخدم ليعاين طاقة الجسيمات. يتم معاينة اتجاه جسيمات المنبع بفرض أن كل الجسيمات تنشأ من الهدف. وبمجرد الحصول على توابع التوزع التراكمية (CDFs) اللازمة، يصبح باستطاعة المرء أن يشكل منبع الفضاء الطوري كي يتوافق مع مواصفة الحزمة الفيزيائية (المادية) وذلك بتخصيص قيم معدل دفق نسبي مناسبة لعناصر الشبكة المقابلة. ففي الحقول المعرّفة بمجمّع متعدد الوريقات، على سبيل المثال، يمكن استخدام قيمة 1.0 لتحدد الحقل المفتوح، في حين يمكن استخدام القيمة 0.01 (عُيّنت أثناء القياس) لتعبّر عن التسرّب خلال المجمّعات (الشكل7). تمت تحسينات أخرى قام بها كاتبو هذا المقال وذلك ليأخذوا بالاعتبار مركبة المنبع البؤرية الإضافية وكذلك آثار التبعثر من التجميع الثالثي (من المرتبة الثالثة).

كما قام دوماركو وآخرون وتشيتي وآخرون بعمل تعزيزات على كود MCNP لزيادة تحسين الأداء [20, 23]. ففي البداية، طبّق المؤلفون طريقة النقطة المخفّضة cut - point method للاعتيان من CDF [42]. وقد أدى هذا إلى

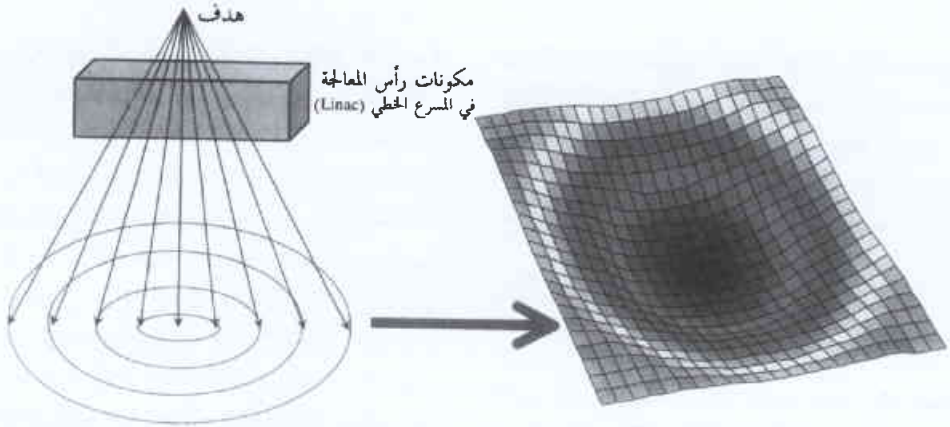


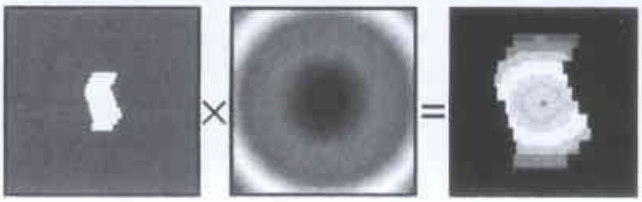

**الشكل 5**– رسم بياني لترتيب العلاج رباعي الحقل بالأشعة لسرطان المؤثَة حسبت باستخدام MCNP (إلى اليسار). جانبية شاقولية (إلى اليمين) تقترح بأن فروقاً ملحوظة يمكن أن توجد بين الحسابات التقليدية وحسابات مونتي كارلو، وبخاصة بالقرب من مناطق نسيجها غير متجانس وهي في هذه الحالة بنية أساسية محدّدة للجرعة. مأخوذة من دي ماكو وآخرين [19].



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy




**الشكل 6**– معدل الدفق المتناظر بصورة دورانية مرسوم على شبكة ديكارتية. إن معدل دفق الفوتون أخفض على امتداد CAX الحزمة بالنسبة لأطراف الحزمة نظراً لوجود مرشح التوسيع ذي الشكل المخروطي. مأخوذ من تشيتي [23].



**الشكل 7**– حزم شكلت بصورة غير منتظمة يمكن نمذجتها بضرب شكل الحقل مع خارطة معدل الدفق. من تشيتي وآخرين [23].

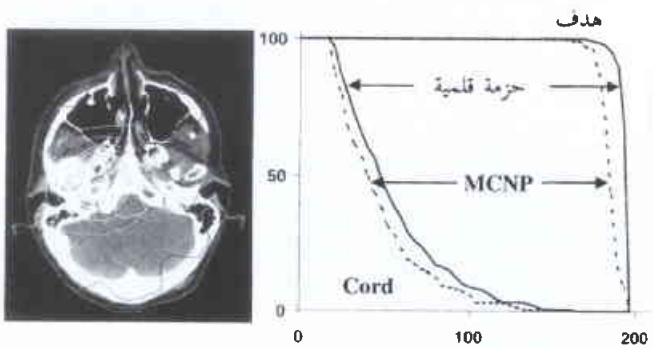
تخفيض في زمن التشغيل بلغ أربعة أضعاف. ثانياً، طبق المؤلفون خطة تبعثر دِلتاوية (وتعرف أيضاً باسم تبعثر الدجاجة woodcoch scattering) من أجل النقل الفوتوني في MCNP [43]. ينشطر المقطع العرضي للتأثر في تبعثر الأشعة الدلتاوي إلى مقطعين حقيقي وتخيلي. فمن أجل التصادم المسجل بأنه تخيلي، لا تتغير الطاقة ولا اتجاه الجسيم. إن الإسراع في حالة التبعثر الدلتاوي يعتمد اعتماداً كبيراً على حجم الفوكسيلات، بدءاً من أكثر من 100 لفوكسيلات بطول 0.5 mm على أحد الجانبين، إلى حوالي 20 لفوكسيلات بطول 1 cm.

يبين الشكل 8 مثالاً لخارطة معالجة مونتي كارلو وقد وُلِّدت باستخدام MCNP معزَّز لـ تشيتي دي ماركو، وبعدئذ تداخلت مع منظومة تخطيط تجارية (Theraplan Plus™). تحاكي الخطة شكلاً مجسماً دقيقاً زائفاً لـ 17 حزمة شكلت كل حزمة منها لتلائم مسقط ما تراه الحزم من الورم beams - eye - view projection. إن المضامين السريرية لتخطيط المعالجة بكود مونتي كارلو واضحة وبيِّنة في الرسم البياني النسيجي لمقادير الجرعات dose - volume histogram. تتنبأ خوارزمية مونتي كارلو بجرعة هدف أخفض (وجرعة للحبل الشوكي أخفض) من خوارزمية حزمة القلم التجارية.

عند طاقات عالية للفوتونات، يصبح توليد النترونات الفوتونية Photoneutron والمساهمة الناتجة للجرعة الممتصة في مريض أمراً ذا أهمية متزايدة. يُعد MCNP أداة مثالية للبحث عن آثار هذه الطاقات العالية. نمذج غودوسكا وآخرون Gudows Ket al إنتاج إشعاع كبحَ من مسرع مكروترون حلبة السباق racetrack microtron ذي الطاقة 50 MeV [44]. ولما كانت الفوتونات الناتجة قد نُقلت عبر نموذج لمريض، فإن إنتاج النترونات الفوتونية قد عيِّن تحليلياً بناء على توزع الطاقة الناتجة للفوتونات في النسيج. استعمل MCNP في محاكاة لاحقة لينقل النترونات الفوتونية ونموذج المريض ولتسجيل مساهمة الجرعة بالنسبة لجرعة من الفوتونات الأولية. قدَّر مؤلفو هذا المقال مساهمة الجرعة في نسيج طري من نترونات فوتونية والنوى الخفيفة الثانوية بحوالي 0.15 ±0.08% من الجرعة الفوتونية القصوى.

**جراحة إشعاعية دقيقة ومجسمة stereotactic radiosurgery ***

أنجز صولبِرغ Solberg وآخرون سلسلة مكثفة من العلامات المرجعية لكود MCNP4A من أجل حزم فوتونية صغيرة (قطرها بين 5 – 40 مليمتر) كتلك التي تستخدم في الجراحة الإشعاعية وتستعمل تكتيكاً يسمح بتحديد الموضع تحديداً دقيقاً stereotactic surgery. تبدي الحزم الفوتونية الصغيرة صعوبات خاصة بالنسبة للقياس وذلك نظراً للكواشف ذوات الحجم المحدود وكذلك بسبب فقدان التوازن الإلكتروني (تبعثر جانبي) على طول المحور المركزي. يبين الشكل 9 مقارنة لجرعة عميقة بين

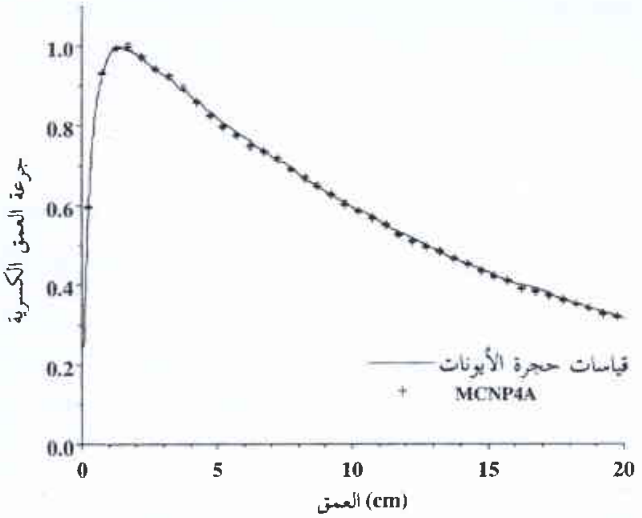



**الشكل 8**– خطة معالجة بطريقة مونتي كارلو ذات 17 حقلاً من أجل هدف هو الرأس والرقبة. (إلى اليسار). وكما يشير الرسم البياني لمقادير الجرعات (إلى اليمين) توجد اختلافات لايستهان بها بين خطة مونتي كارلو وتلك التي حسبت باستخدام خوارزمية حزمة قلمية تجارية. من تشيتي وآخرين [20].

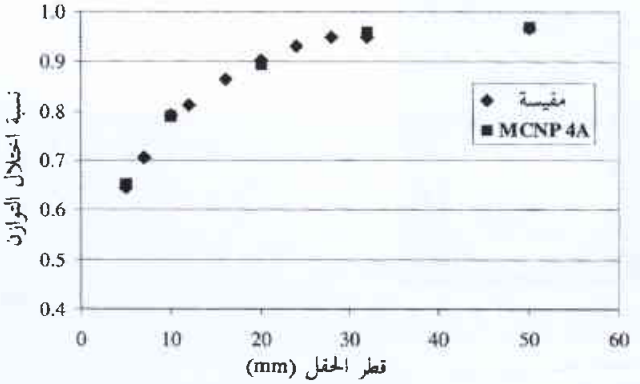
* هي الجراحة التي تعنى بالوضع الدقيق للمسابر وسواها داخل الدماغ مستخدمة تكتيكاً مجسماً.

كود MCNP والقياس من أجل حزمة فوتونات بقطر 30 mm فولطية تسريع 6MV. إن الاتفاق ممتاز حتى ضمن منطقة النمو. يمكن لحزم صغيرة ذات طاقة عالية مثل هذه الحزم أن تخضع إلى اضطراب كبير عندما تواجهها لاتجانسية في النسج. ويتأثر التوزع الناتج للجرعة بشدة (جانبياً) بالنقل الإلكتروني لذا لايمكن التنبؤ به بواسطة وسائل تقليدية. فالأجواف الهوائية الصغيرة في وسط متجانس بطريقة أخرى، على سبيل المثال، سيكون له تأثير تخفيض الجرعة وراء السطح البيني الأقصى. يبين الشكل 10 التأثير المثير الذي يستطيع جوف هوائي بقطر 3 مليمتر أن يطبّقه على حزم فوتونية صغيرة. أما في حالة حزمة فوتونية ذات 5 مليمتر (غالباً ما تستخدم للجراحة الإشعاعية الفعالة)، فإن الجرعة تتناقص عند السطح البيني الأقصى بما يزيد على الثلث بالمقارنة مع الحالة المتجانسة.

وفيما بعد أضاف صولبرغ وآخرون وحدة قياس، من أجل محاكاة خطط معالجة الجراحة الإشعاعية المبنية على CT، إلى الوصلة البينية لمستخدمي التمثيل البياني وضعها دوماركو وآخرون [45 ,19]. وعلى

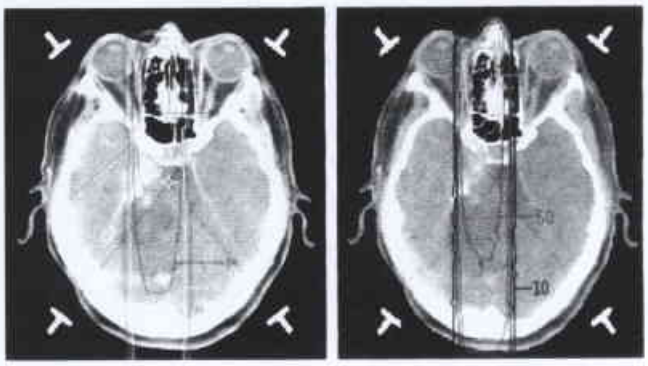



**الشكل 9**– جرعة العمق الكسرية في الماء قيست من أجل حزمة فوتونات ذات 6MV جمّعت في قطر يبلغ 30 mm من صولبرغ وآخرين [45].




**الشكل 10**– نسبة اختلال التوازن (تعرّف بأنها نسبة الجرعة عند الطرف البعيد من لاتجانسية النسيج، وهو في هذه الحالة تجويف هوائي، إلى الجرعة عند النقطة ذاتها في شبح متجانس ) كتابع لحجم الحقل من أجل حزمة فوتونات ذات 10 MV. من صولبرغ وآخرين [33].

غرار منظومة التخطيط لمعالجة الجراحة الإشعاعية (SRS) السريرية ذات التكتيك الثلاثي الأبعاد، يقدّم المستخدم موضعاً متساوي المركز، وزاوية الجدول، وزوايا بدء المشند (الجسر) وتوقّفه، وتزايد القوس، وحجم الحقل (مجمّع). وكالمنظومات السريرية، تعد الأقواس سلسلة من الحزم الضوئية الثابتة. ولكن خلافاً للمنظومات السريرية فإن طيف المنبع فيها هو أيضاً متغير بسهولة. تم الحصول في هذا العمل على عدة أطياف فوتونية، من الكوبالت 60 - Co إلى حزم أشعة X المسرعة بـ 25 MV، متفاوتة في الزاوية والطاقة، وذلك من خلال حسابات MCNP السابق. لقد تم نمذجة الحزم كمنابع نقطية بسيطة، بحجم للحقل يتم تعيينه بواسطة الاعتيان عبر زاوية ملائمة لتعطي حجم الحقل المرغوب فيه عند مركز متساوٍ. إن الاختلافات بين كود مونتي كارلو والخوارزميات التقليدية (SRS 200 ™ ومنظومات فيليبس الطبية) مؤكدة وضوحاً في المقارنة المبينة في الشكل 11 لحزمة مفردة. تفشل الخوارزمية التقليدية في التنبؤ بدقة عن اللاانتظاميات عند سطح الدخول كما تفشل بالتنبؤ أيضاً عن جرعة المخرج. وفشل الخوارزمية التقليدية واضح أيضاً في أخذها بالحسبان لاتجانسيات النسج الداخلية. يبين الشكل 12 مقارنة مماثلة من أجل مخططات متعددة الأقواس ولحقل قطره 30 mm يمر من خلال زوايا مجموعها 460 درجة. وفي هذه الحالة تغالي الخوارزمية التقليدية (SRS 200 ™) في تقدير الـ 90% من حجم الجرعة بمايقارب 100 في المائة.



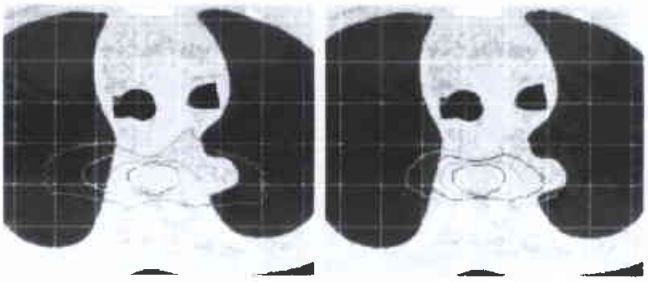
**الشكل 11**– خرائط معالجة بـ 10 MV متماثلة من أجل حقل AP بقطر 30 mm محسوبة باستخدام منظومة تخطيط معالجة جراحة إشعاعية تقليدية (إلى اليسار) وMCNP (إلى اليمين). مأخوذة من صولبرغ وآخرين [45].

**الشكل 12**– خرائط معالجة بـ 10 MV متماثلة تستخدم ثلاثة أقواس لاتقع في مستوٍ واحد بمجمع قطره 30 mm حسبت باستخدام منظومة تخطيط معالجة جراحة إشعاعية (إلى اليسار) و MCNP (إلى اليمين). مأخوذة من صولبرغ وآخرين [45].

اقترح ميدين Medin وآخرون، حديثاً، منظومة لجراحة إشعاعية ثلاثية الأبعاد لأهداف في النخاع الشوكي [46]. تعتمد الطريقة على زرع علامات مقتَمدة في العمليات الفقارية. ساهم مؤلفو هذا المقال في جزء من هذا المشروع فحسبوا المجراعية المصاحبة لتشعيع حقلي صغير للعمود الفقري [47]. استخدم MCNP لتقدير الدقة في خوارزميات الجرعة التقليدية المستخدمة في تطبيقات الجراحة الإشعاعية. ولما كانت الجراحة الإشعاعية منجزة على أهداف تقع داخل الجمجمة، فإن تجانسية النسيج تعد إحدى الفرضيات الأساسية في خوارزميات جرعة الجراحة الإشعاعية. يبين الشكل 13 خطة معالجة لهدف من الجسم فقاري حسبت باستخدام خوارزمية الجراحة الإشعاعية التقليدية (SRS 200™) وواحدة حسبت باستخدام MCNP. تغالي الخوارزمية التقليدية في تقدير كل حجم من الحجوم المتساوية الجرعة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الخوارزمية التقليدية تقلل من تقدير الجرعة المطلقة عند مركز الهدف بما يقارب 27%. لقد أكدت القياسات المباشرة كلتا الجرعتين النسبية والمطلقة التي تنبأت بها MCNP.

## المعالجة الإشعاعية المعدَّلة الشدة

تعد المعالجة الإشعاعية المعدَّلة الشدة (IMRT) طريقة جديدة نسبياً تسعى إلى وضع تحسينات على القيود المفروضة على المعالجة المطواعة conformal therapy من خلال استخدام حزم من أشعة X غير منتظمة. تعيَّن جانبيات profiles الشدة لحزم أشعة X من خلال عملية أمثلة بمساعدة الحاسوب computer - aided optimization process مبنية أساساً على الوضع الهندسي لتشريح المريض. وفي هذه العملية تقسم حزمة كبيرة إلى عناصر صغيرة عديدة منفصلة. تُغَيِّر شدة كل عنصر حتى يتم الحصول على توزع للجرعة أفضل. وفي النهاية يُنقل الإشعاع في سلسلة من قطع حقلية معرّفة بنبيطة تشكيل الحقل كأن تكون موجّه (مسدِّد) متعدد الوريقات. يمكن لهذه القطع أن تكون في الحالة العامة صغيرة تماماً، وكما أشار العديد من الباحثين، يمكن لطرائق حساب الجرعة التقليدية أن تخفق في غياب التوازن الإلكتروني (الجانبي). لذا، فهناك حاجة واضحة لتقنية مثل مونتي كارلو من أجل حسابات الجرعة في IMRT.



**الشكل 13**– مخططان بيانان للمعالجة بـ 6 MV تستخدم أقواساً متحدة المستوي يصل كل قوس منها إلى 80 درجة وبمجمع قطره 20 mm. حسب المخطط في الجهة اليسرى التي إلى اليسار باستخدام خوارزمية جراحة إشعاعية تقليدية (TMR / OAR) أما المخطط على اليمين فإن الحسابات استخدمت MCNP. لقد تم تشغيل 82 مليون بيان طبي من المعجل لفوتونات أولية للحصول على أقل من 2% بنداً إحصائياً من أجل خطة مونتي كارلو. مأخوذ من ميدين وآخرين [46].

إن محاكيات مونتي كارلو لـIMRT مباشرة تماماً. فيمكن محاكاة عناصر "حزمة القلم" pencil beam الإفرادية بسهولة وتسجيل توزعات الجرعة الناتجة. لكن الزمن المشمول في حساب كل عنصر حزمة قلم على حدة سيكون محرّماً إلى أبعد الحدود. وبنمذجة الحزمة المعدّلة باستخدام منبع أفاد الاعتيان عن غياب شبكة فضاء طوري يقابل عناصر حزمة القلم الإفرادية (كتلك التي طورها تشيتي وآخرون [20])، يمكن جعل هذه العملية أكثر كفاءة.

## المعالجة الفوتونية بأشعة X

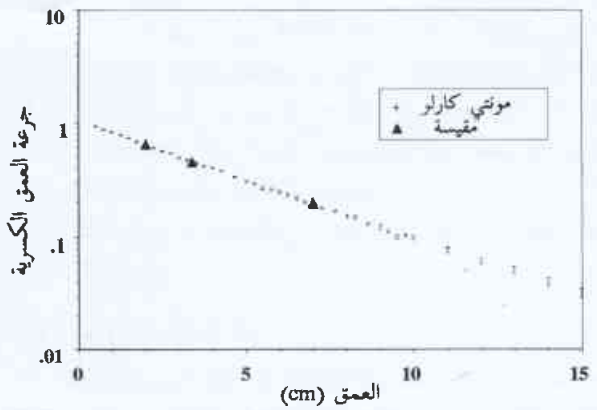
تعد المعالجة الفوتونية بأشعة X تقنية يُحمَّل فيها الورم بمادة ذات عدد ذري كبير (بتصوير عوامل التباين كاليود والغادولينيوم، وهما مركبان مثاليان)، ثم تشعع بعد ذلك بأشعة X ذات فولطية من رتبة الكيلوفولط. إن المقاطع العرضية الضخمة للتآثرات الإلكتروفوتونية في الإشعاعات الثانوية لشلالات أوجيه، وأشعة X المميزة، والإلكترونات الفوتونية، كلها عالية في نقل الطاقة الخطي Linear energy transfer (LET). إن هذا يساهم في تعزيز الجرعة الموضعية وفي التحكّم بالورم بشكل أفضل وبصورة مأمولة. كان ميلّلو وآخرون أول من اقترح الطريقة في عام 1983 [48]. وعقب ذلك بين البرهان التجريبي تعزيزاً للجرعة في الزجاج وفي أورام صلبة [49]. و في 1990 عدل إيواموتو Iwamoto وآخرون ماسحاً CT تقليدياً وذلك للمعالجة الفوتونية بأشعة X لأورام الدماغ [50]. ثم قيمت بعد ذلك الطريقة في أورام دماغية كلبية تلقائية / عضوية [51]. وقد سجل حديثاً أول تجربة عن المعالجة الفوتونية بأشعة X في معالجة الآدميين [52, 53].

وقبل كل شيء ولكون التآثرات الإلكتروفوتونية غير منمذجة بدقة بواسطة التقنيات الاعتيادية، فقد استعملت مونتي كارلو بكثرة لدعم المجراعية من وراء المعالجة الفوتونية بأشعة X. استعمل صولبرغ وآخرون، بادىء ذي بدء، كود MCNP ليؤكد عوامل مميزات جرعة العمق وهي: نسبة الجرعة المعطاة إلى هدف محشوٍّ بمادة تباين إلى الجرعة في هدف منتظم (ماء) [54]. يبين الشكل 14 التوافق الجيد في جرعة العمق بين MCNP والقياس. وبعد ذلك حسب ميزا Mesa وآخرون عوامل تعزيز الجرعة لليود وحسب مؤخراً وسطاء تعزيز جرعة محتملة أخرى عديدة [55]. يظهر الشكل 15 رسماً لعامل تعزيز الجرعة DEF كتابع للطاقة من أجل ثلاثة تراكيز مختلفة لليود. إن الموازنة بين احتمال إنقاص تآثر إلكتروفوتوني وبين زيادة طاقة منقولة إلى الإلكترون الفوتوني تولّد عامل تعزيز جرعة (DEF) له ذروة تقع في مكان ما خلف الحافة k لليود (33.2 keV)، وبعدها يتناقص تدريجياً إلى الواحد.

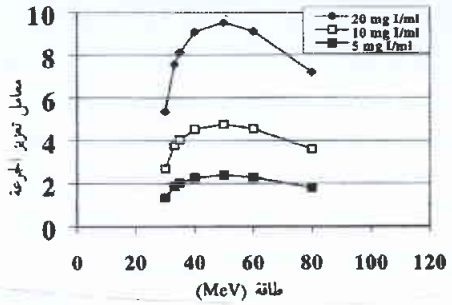
استخدم ميزا وآخرون MCNP مؤخراً لدراسة توزعات الجرعة الناتجة من تركيبة تشعيع متعدد الأقواس كتلك التي تنتج عن ماسحة CT معدّلة [55]. يوضع الورم في هذه التركيبة عند المركز المتساوي البعد في حامل التصوير الطبقي المقطعي المحوسب (CT). يُعطى الإشعاع في ثلاث دورات تبلغ كل منها 360 درجة باستخدام إمالات للحامل بين 0 و 20 ± درجة. تستخدم الصور المأخوذة من مسح CT جمجمي (قحفي) كدخل لمحاكاة MCNP باتباع طريقة دوماركو وآخرين [19]. يتم إنشاء منطقة اهتمام قطرها 20 mm وتجري مداولة الفوكسيلات على نحو



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية




**الشكل 14**– الجرعة كتابع للعمق من أجل حزمة من أشعة X ذات 140 kVp. حسبت معطيات مونتي كارلو باستخدام الكود MCNP بينما تم الحصول على المعطيات المقيسة باستخدام حجرة الأيونات في الماء. تشير شرائط الخطأ إلى الارتياب الإحصائي [10] في حسابات مونتي كارلو. مأخوذة من صولبرغ وآخرين [54].

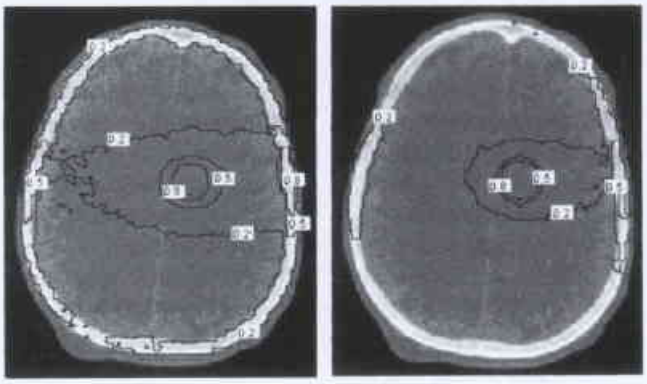



**الشكل 15**– معامل تعزيز الجرعة (DEF) كتابع لطاقة أشعة X (أحادية الطاقة) من أجل ثلاثة تراكيز من اليود في ورم. مأخوذ من ميزا وآخرين [55].

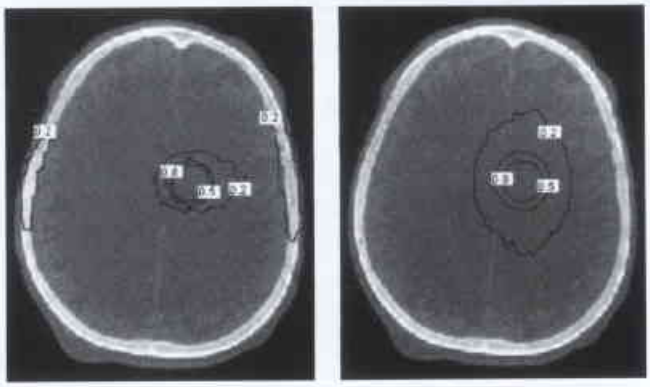
صنعي للحصول على مادة ملائمة وكثافة تقابل ما يصل حتى / 15 mg ml من اليود. يبين الشكلان 16 و 17 توزعات الجرعة الناتجة محسوبة بواسطة MCNP. في حال عدم وجود مادة تباين من اليود، فإن الجمجمة والنسيج الذي يتخللها يتلقيان جرعة كبيرة، ربما تكون في بعض المواضع مساوية تقريباً لجرعة الهدف. ولدى زيادة تركيز اليود إلى 15 mg / mL، يصبح توزع الجرعة أشد تبئيراً حول الورم كما تخفض إلى حد كبير الجرعة المحيطة بالعظم. وفضلاً عن ذلك، ورغم أن المعالجة التقليدية، بـ 10 MV، والتي تستخدم تكتيكاً ثلاثي الأبعاد، لا تعاني من جرعة العظم المعزّزة التي تحدث بسبب المعالجة بأشعة X الكيلوفولطية، فإن توزعات الجرعة من المنبع المنافس المنخفض الطاقة تطابق الورم بصورة محكمة أكثر (الشكل 17). وأخيراً، وضمن حدود ميل حامل CT يبدو أن ثلاثة أقواس هي العدد الأمثل والذي تصبح جرعة العظم فوقه مقيّدة.

## العلاج بالأسر النتروني:

ظل MCNP ولفترة طويلاً معروفاً بأنه كود الاختيار للنقل النتروني والنقل النتروني / الفوتوني المقرونين. وهكذا فلا يدهشنا أن كثيراً من مجراعية العلاج بالأسر النتروني neutron capture therapy (NCT) قد كان مدعوماً بـ MCNP. إن الهدف من العلاج بالأسر النتروني هو أن نقدم إلى الورم مركّباً سيولّد عندما يشعّع بالنترونات منتجات تفاعل



**الشكل 16**– صورة ضوئية مأخوذة بأشعة X لتوزعات الجرعة بدون يود (إلى اليسار) ومع وجود 5mg/ml يود (إلى اليمين، حسبت باستخدام MCNP طيف 140 kVp وثلاثة أقواس غير متحدة المستوي من ماسح CT معدَّل أُدخلت في المحاكاة. مأخوذة من ميزا وآخرين [55].



**الشكل 17**– توزعات الجرعة في صور ضوئية مأخوذة بأشعة X من أجل ورم محشو بـ 10mg/ml يود ومشعّع بحزمة 140 kVp (إلى اليسار) وبحزمة 10 MV (إلى اليمين). استخدمت ثلاثة أقواس غير متحدة المستوي في كل عملية محاكاة لـ MCNP. مأخوذة من ميزا وآخرين [55].

قصيرة المدى أو ذات LET (نقل طاقة خطي) عالٍ. في العلاج بالأسر النتروني بالبورون (BNCT)، يكون للتفاعل $^{10}B\,(n,a)^{7}\,Li$ مقطع عرضي للأسر كبير من أجل النترونات الحرارية (> 3500 barns) ويصدر جسيمات قصيرة المدى ($< 10\ \mu m$ في النسيج) ذات LET عالٍ. ومن البديهي أن نوعية الورم للمركب المستخدم ذات أهمية كبيرة. لكن القضايا السريرية لنوعية الورم، والسمّية ونتائج المريض لن تناقش هنا.

كتب يانش Yanch وآخرون في عام 1991 [56] واحداً من أوائل استخدامات MCNP في NCT (المعالجة بالأسر النتروني). استخدم مؤلفو هذا المقال MCNP لتعيين طاقة النترون المثلى لمعالجة أورام الدماغ بواسطة NCT. تمت نمذجة الدماغ والجمجمة كقطعين ناقصين، وأخذت الحسابات مجراها باستخدام حزم نترونية أحادية الطاقة. تمّ الحصول على تعزيز الجرعة العائد لمركبة البورون بضرب تدفق النترونات بعامل يساوي 3 أو 30، بالنسبة للدماغ الاعتيادي والورم على الترتيب، تم تطبيق عوامل معدّل الدفق إلى كيرما fluence - to - kerma الملائمة. تم التوصل إلى استنتاجات هامة عديدة في الدراسة اقترحت التوجه المستقبلي لـ NCT السريري. فأولاً، يبدو أن المجال المثالي لطاقات النترونات من أجل معالجة



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

أورام الدماغ تقع بين 4 eV و 40 keV. إن الحجم الأمثلي للحقل يعتمد أيضاً وبقوة على حجم الورم، وشكله وعمقه. وأخيراً، اقترحت الحسابات أن العمق الأكبر الذي يمكن معالجته معالجة جيدة بواسطة NCT كان 10 cm تقريباً وكان هذا ممكناً باستخدام طاقة تبلغ 10 keV.

استخدم بعد ذلك يانشي وآخرون MCNP في التصميم لمنشأة $^{252}Cf$ من أجل BNCT [57]. درست مواد مهدِّئة / مرشِّحة / عاكسة عديدة في محاولة لجعل الحزمة السريرية الناتجة مُثلى. استخدمت أساليب تتبع عملها المبكر وذلك لمحاكاة النماذج الكاذبة ولحساب الجرعة. ولكن ولسوء الحظ كانت معدلات الجرعة الناتجة أخفض مما هي عليه لمنابع المفاعل بقدر كبير، واستنتج المؤلفون أن منشأة سريرية ليست عملية حتى لو استخدمت كميات كبيرة من $^{252}Cf$ (1.0 g).

شكّل غوبتا Gupta وآخرون واحدة من المجموعات الأولى التي تستخدم MCNP لدراسة وقع أشعة غاما الآسرة ذات الطاقة العالية (2.2 MeV) والتي تنشأ من التآثر $^{1}H(n,\gamma)^{2}H$ في BNCT [58]. ولُدت جرعة العمق وجانبيات الابتعاد عن المحور بتسجيل تدفق غاما باستخدام مقدِّر طول الأثر (F4 tally) وتطبيق عوامل كرما المناسبة. قورنت النتائج مع النتائج التي تستخدم كود QAD - CGGP، كما أنه تم صنع كود تدريع نواة نقطية a point kernel shielding في مختبر لوس ألاموس الوطني.

استخدم بيترسون Pettersson وآخرون الكود MCNP3B لحساب تدفقات النترونات والفوتونات في منشأة النترونات الحرارية في شتودزفيك Studsvik [59]. تمت نمذجة منبع نتروني مسطّح (مستوٍ) وطيف طاقة الانشطار، ثم سجلت التدفقات عند مخرج مهدىء الماء الثقيل وعلى طول محور أنبوب التجربة الحيوية. أظهرت الحسابات أن التدفق النتروني متجانس بشكل معقول مع الأنبوب. إن معدلات النترونات الحرارية المحسوبة قطرياً وعلى عمق على امتداد الأنبوب توافقت بشكل جيد مع قياسات وريقة التنشيط activation foil measurements. كما حسبت أيضاً جرعة الفوتونات ضمن الأنبوب بضرب تدفق الفوتونات بعوامل تحويل تدفق - إلى - جرعة. وكانت الجرعة الفوتونية المحسوبة على توافق جيد مع الجرعة المقيسة بواسطة TLD.

لقد استخدم كونيجنِنْبِرْغ Konijnenberg وآخرون الكود MCNP لدراسة توزع التدفق النتروني في أجسام مائية وهمية شُعِّعت بواسطة حزمة من النترونات الفوق حرارية [60]. قُسِّم التدفق النتروني إلى ثلاثة أنواع من الطاقة: حراري (بطاقة < 0.55 eV) وفوق حراري (من 0.55 eV إلى 20 keV) وسريع (< 20 keV). حُسب تنشيط الوريقة كتابع للعمق وقورن مع القياس. عند أعماق أكثر من 4 cm، كانت القيم المحسوبة على توافق ممتاز مع القياس. أما عند أعماق أقل من 4 فقد كانت المعطيات المقيسة أعلى من المعطيات المحسوبة بكود MCNP بصورة ملحوظة. يظن المؤلفون أن هذا بمثابة نقطة ضعف في تقنية قياسهم وليس مشكلة متعلقة بـ MCNP. كما أن المؤلفين درسوا الأثر الذي تخلفه أجهزة عديدة لتعديل الحزمة مثل الأسافين وقالب البولي إيتيلين / رصاص المُتَوَرِّق. وفي الوقت الذي لايتأثر فيه التوزع المكاني للنترونات الحرارية نسبياً بوجود الأسافين، فإن طيف النترونات السريعة يتغير بشكل ملحوظ.

في عام 1995 أنجزت المجموعة نفسها تحليلاً مفصّلاً لتوزعات جرعة BNCT من ترتيبات حزمة متعددة [61]. تم إنشاء نماذج إهليلجية للرأس والجمجمة والورم لدراسة توزع النترونات الحرارية والجرعة في شروط واقعية. فقد رُكبت فوق نموذج الرأس شبكة -كعبة حجمها $1\ cm^3$ صنعت فيها سجلات. وضعت فرضيات بخصوص تركيز البورون في الجمجمة، والدماغ الطبيعي، والورم بنسبة 2: 1: 6. أنجزت المحاكيات في طريقة ذات خطوتين. يجري أولاً إنجاز حساب تفصيلي لقلب المفاعل، وممر النترونات والمرشح، ثم يُستخدم هذا الطيف في محاكيات لاحقة لتسجيل الدَّفق والجرعة في نماذج الرأس ولدراسة أثر أجهزة تعديل الحزمة. وهذا مشابه للعملية ذات الخطوتين من أجل محاكاة المعالجة الإشعاعية بالحزمة الفوتونية الموصوفة أعلاه. حُسبت جرعة النترونات باستخدام عوامل كرما kerma factors الملائمة. تضمن الحساب الجرعة من أشعة غاما الآسرة بفرض وجود توازن إلكتروني في حجم الدماغ بأكمله مع افتراض آخر بأن الطاقة بأكملها توضّعت مع الفوكسيلة $1\ cm^3$. كما استعمل المؤلفون سمات التحويل (بطاقة TR card) في MCNP لتسهيل التشعيع المتعدد الممرات، مظهرين تجانسية محسَّنة في جرعة الهدف بوجود حقول متضاعفة.

أنجز وولاس Wallace وآخرون محاكيات مونتي كارلو أخرى للكود BNCT مستخدماً حزمة نترونات فوق حرارية من مفاعل بيتن Petten ذي التدفق العالي [62]. وكما الحال في الدراسات السابقة، فقد وُضع نموذج للدماغ ونموذج للجمجمة على هيئة قطوع ناقصية (إهليلج). مع ذلك، درس تأثير الماء الثقيل كمكوِّن لمادة الدماغ بدلاً من الماء. لم يدخل في المحاكاة إشعاع غاما من المنبع، ولكن جرى توليد الفوتونات المحرَّضة بالنترونات واقتفاء أثرها. سُجِّلت معدلات الدفق الفوتوني والنتروني في رُقَع حجم كل رقعة منها $0.125\ cm^3$؛ حُوِّل معدل الدفق إلى جرعة باستخدام عوامل كيرما مناسبة. لوحظ تغلغل نتروني أعمق خلال الماء الثقيل بالمقارنة مع الماء الطبيعي، مولِّداً مركبة لنترونات حرارية أعلى عند عمق الهدف. وفضلاً عن ذلك فإن المركبة الغاماوية قد انخفضت نظراً للتفاعلات الأقل في أسر الهدروجين.

لقد وصف زامنهوف وآخرون [41] منظومة مريض نوعية من أجل تخطيط المعالجة في BNCT. تستخدم مسوحات تصوير طبقي مقطعي محوسب (CT) غير متباينة لتوليد نموذج ثلاثي البعد ودقيق لتشريح المريض ملائم للاستخدام مع MCNP. تُقطّع الصور بصورة آلية إلى ثلاثة أنواع من الأنسجة: هواء، ودماغ طبيعي، وعظم. يستخدم القطاع اليدوي من التعريف موضع الاهتمام لتقسيم الهدف؛ فتراكيز البورون في الهدف، وفي النسيج الطبيعي، وفي الدم تخصّص يدوياً اعتماداً على دراسة سابقة. تُولَّد الخلايا ذات الحجم $1cm^3$ الإفرادية باستخدام الهندسة التوافيقية النموذجية لـ MCNP؛ وإن محاكاة نموذجية وفق MCNP ستتكون من 11205 خلية من هذه الخلايا*. تسمح الوسائل البيانية بمعالجة وسطاء

* تم مؤخراً استبدال الخلايا التي استخدمها المؤلفون والتي تشكلت باستخدام الهندسة التوافيقية لتحل محلها الهندسة الشبكية لـ MCNP.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الحزمة المختلفة بما فيها التوجيه وحجم الحقل. تحسب الجرعة باستخدام عوامل كيرما المناسبة؛ ولا يدخل النقل الإلكتروني في عملية المحاكاة. تسمح وسائل ما بعد المعالجة بتصور جانبيات بعد واحد وتوزعات الجرعة المتساوية ثنائية البعد المتراكبة على صور CT مناسبة. أنشيء شَبَح متخصص بغرض تحقيق حسابات تخطيط المعالجة. لوحظ توافق ممتاز في معدلات الجرعة المقيسة (نترون حراري، نترون سريع، 10 – B، غاما والإجمالي) بالمقارنة مع نتائج MCNP.

استخدمت إحدى المجموعات تقنيات مونتي كارلو لدراسة تعزيز الجرعة الممكن في البورون من حزم من النترونات السريعة [63, 64]. تتم نمذجة إنتاج النترونات، المأخوذة من بروتونات سيكلوترون بطاقة 60 MeV على هدف من البريليوم، باستخدام كود FLUKA. تجري محاكاة نقل النترونات الأولية الناتجة باستخدام MCNP4A. سُجِّل الطيف الحراري كتابع للعمق في شبح من الزجاج المرن (بليكسي غلاس). شوهد نتاج النترونات الحرارية وله تبعية كبيرة لحجم الحقل، فهو يبلغ 2.2 ضعفاً عند $20 \times 20\ cm^2$ من قيمته عند $10 \times 10\ cm^2$. إن تعزيز الجرعة العائد لأسر النترونات الحرارية. المأسورة بـ $^{10}B$، بفرض تركيز يبلغ 100 µg من $^{10}B$ لكل غرام من النسيج، يمتد من 4.6 إلى 10.4 بالمائة من جرعة النترونات السريعة (الجدول 3).

كما أن بلوول Bleuel وآخرين درسوا منابع نترونات المسرّعات من أجل كود BNCT، وفي هذه الحالة صُمِّم مسرّع DC جديد من أجل تيار حزمة من البروتونات يبلغ 100 mA [65]. يتم إنتاج النترونات من خلال التفاعل $^{7}Li\ (p, n)\ ^{7}Be$. في عملية ذات خطوتين، درس المؤلفون أثر التهدئة لثلاث مواد: $Al / AlF_3$ و $^{7}LiF$، والماء الثقيل. ففي الخطوة الأولى استخدم MCNP لنقل حزمة النترونات التي أنتجها المسرّع من خلال مجموعة المهدّىء، مسجِّلاً تدفقي النترونات وأشعة غاما عند المخرج. أما في الخطوة الثانية فإن الكود BNCT - RTPE، الذي تم تطويره لدى مخبر إيداهو الوطني للهندسة والبيئة [66]، قد استخدم لنقل النترونات الفوق حرارية وأشعة غاما من خلال نموذج لرأس بشري، وافتُرِض وجود تركيز للورم يبلغ 10 ppm من $^{10}B$. وجد المؤلفون من تحليل توزعات الجرعة الناتجة أن $Al / AlF_3$ و $^{7}LiF$ تعدان من المواد المهدئة الأفضل، حيث تزيد من معدل دفق النترونات الحرارية والجرعة عند الخط الأوسط midline للدماغ بعامل يصل إلى اثنين فوق $D_2O$.

قامت مجموعة روبرت بروجِر R. Brugger من جامعة ميسوري – كولومبيا بعدد من المساهمات الهامة في مجالات العلاج بالنترونات، والعلاج بالنترونات المأسورة، وطرائق مونتي كارلو. وفي عام 1990 كانت هذه المجموعة إحدى المجموعات الأوائل التي تستخدم MCNP لدراسة تحقيق الحالة الأمثل (الأفضل) لوسطاء الحزمة النترونية من أجل العلاج بالأسر النتروني [67]. في عام 1992 اقترحت استخدام $^{157}Gd$ كمرشَّح لـ BNCT لقد استُخدم MCNP لحساب جرعة غاما من $^{158}Gd$ [68]. وتبع هذا العمل بعد فترة وجيزة دراسة أخرى للآثار المشتركة لمنابع $^{235}U$ البينية مصحوبة بتشعيع بنترونات حزمة خارجية (انظر أدناه) [69]. وفي عام 1994 أعلنت المجموعة عن دراسة تصميم منشأة نترونات فوق حرارية ذات شدة عالية في مفاعل البحث الطبي في بروكهافن [70]. وكما هو الحال في العمل السابق، استُخدم MCNP لحساب تدفقي النترونات وأشعة غاما وكذلك حساب الجرعات الممتصة.

## العلاج بالنترونات السريعة والأيونات الثقيلة

صُمِّم MCNP في الأصل ككود للنترونات والانشطار، ويوصف بصورة عامة بأنه كود مثالي للنقل النتروني. وبسبب هذا فالأقوال الواردة في الأدبيات (ماكتب في الدوريات العملية) حول استخدام MCNP في تطبيقات النترونات وتطبيقات النترونات / الفوتونات المقترنة أقوال متعددة ومتنوعة. أما في المجال النوعي لمقياسية الجرعة الطبي، فهناك بضعة مراجع حول نقل النترونات السريعة.

لقد درس كِلِكْ Kleck وآخرون تنشيط النسيج، وبخاصة توليد البوزترونات التي تصدر نظائر في مرضى يخضعون للعلاج بالنترونات السريعة [71]. لقد استخدم MCNP لحساب إنتاج $^{11}C$ و $^{13}N$ و $^{15}O$ في الأكريليك والماء من الحزمة السيكلوترونية (20) Be (46) P في منشأة العلاج بالنترونات UCLA. تمت نمذجة المنبع النتروني كقرص مستوٍ قطره 1cm، وتم الحصول على توزع الطاقة من معطيات منشورة من قبل. لقد نُمذجت موجّهات (مسدّدات) النترونات ذات المساند المتساوية المركز isocentric gantry كي تنتج أحجاماً حقلية مساقطها من 6 X 6 إلى 20 X 20 $cm^2$. حسب إنتاج $^{11}C$ و $^{13}N$ و $^{15}O$ بمساعدة مقاطع عرضية خاصة للتفاعل تم الحصول عليها من الأدبيات. كما أنجزت حسابات تنشيط مماثلة من أجل فوتونات عالية الطاقة (20 - 50 MeV) نتجت من مكروترون حلبة السباق. استخدمت أيضاً مقاطع عرضية خاصة للتفاعل ضمن MCNP. وبعد ذلك مباشرة شعّعت الأشكال الوهمية (الأشباح) وتم توصيف التنشيط باستخدام التصوير الإشعاعي الآلي والتصوير المقطعي الطبقي بالإصدار البوزتروني.

أعلن بوم Bohm وآخرون. عن استخدام تقنيات مونتي كارلو لنمذجة ثلاث منشآت للعلاج بالنترونات السريعة (في مخبر فِرمي للمسرح الوطني، ومشفى هاربر في ديترويت ميتشيغان، ومركز المسرّع الوطني في فوري، جنوب أفريقيا) [72]. وصّف المؤلفون كل منشأة بعملية مؤلفة من ثلاث خطوات. الخطوة الأولى، استخدم كود LAHET لنقل جسيمات واردة على هدف لتسجيل طيف النترونات الناتجة. استخدم MCNP لنقل النترونات الناتجة عبر منظومة توصيل الحزمة. ولما كان LAHET و MCNP يستخدمان مخطط الهندسة التوافيقية نفسه، فإن هذه العملية ميسرة تماماً. أضيفت مكتبات للمعطيات النووية الإضافية من أجل الاستخدام مع الكود

**الجدول 3**– معدل الجرعة من نترونات سريعة ناتجة من سيكلوترون وتلك التي تعود إلى أسر البور من المركبة الحرارية. مأخوذ من بيغنول وآخرين [63].

| معدل الجرعة (Gy/s) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| مقاس الحقل ($cm^2$) | نترونات سريعة | $^{10}B(n, \alpha)\ ^{7}Li$ | تعزيز الجرعة | (%) |
| $10 \times 10$ | $2.368 \times 10^{-3}$ | $1.145 \times 10^{-4}$ | 4.6 | |
| $20 \times 20$ | $2.672 \times 10^{-3}$ | $3.111 \times 10^{-4}$ | 10.4 | |



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

MCNP. وأخيراً استُخدام كود PEREGRINE لنقل النترونات عبر أجسام وهمية متنوعة وتسجيل الجرعة. استخدم في الكود PEREGRINE نموذج المنبعين لحزمة النترونات الواردة؛ النترونات الأولية هي تلك التي تنشأ من الهدف، أما النترونات المتبعثرة فهي تلك التي تأثرت مع المركبات على امتداد طريق الحزمة. أجريت مقارنة بين جانبية جرعة العمق على المحور المركزي والجانبية العرضية central axis depth dose and transverse profiles فبينت توافقاً ممتازاً بين الحسابات والقياسات.

## العلاج القصير brachytherapy

### العلاج القصير التقليدي

لقد حظيت طرائق مونتي كارلو باستخدامات مكثفة في مجال العلاج القصير. وتعد الصعوبة التي تكتنف عملية القيام بقياسات مباشرة في الجوار القريب مباشرة من منبع العلاج القصير أحد الأسباب الرئيسية لذلك. ظهرت فكرة تطبيق تقنيات مونتي كارلو على العلاج القريب في أوائل الثمانينيات من القرن العشرين [73 – 75]. ومنذ ذلك الحين كان هناك بحث مكثف في هذا المجال. ويعد ويليام سون Williamson من أوائل من قدموا مقترحات حول هذه الطريقة. وباستخدام كود مونتي كارلو من تصميمه الشخصي، ودمج النقل الفوتوني فقط، حسَبَ ويليام سون بعضاً من وسطاء الجرعة الأولى من أجل منابع ذات طاقة منخفضة وأشار إلى تناقضات هامة مع المعطيات المتوفرة. [77 ,76]. وإن معظم المعطيات الأصلية التي حسبها وليام سون قد وجدت طريقها في منظومات تخطيط المعالجة.

إن استخدام كود MCNP من أجل حسابات العلاج القصير أقل شهرة من الكودات الأخرى، مثل كود EGS4 وكود ويليام سون في المقام الأول. وأثناء السنوات الأخيرة العديدة ازداد عدد ما كتب في الدوريات حول MCNP. و هناك عدة سمات ممتازة في MCNP تجعله مناسباً جداً لنمذجة منبع العلاج القصير. إن الهندسة التوافيقية القوية تجعل محاكاة هندسات البذور المعقّدة متيسرة مباشرةً. يمكن إنجاز التدفق أو الكيرما ، أو سجلات الجرعة dose tallies في هندسات أسطوانية أو كروية بسيطة أو في هندسة شبيكة نظامية. كما اعتبر نقل الفوتونات ذات الطاقة المنخفضة والنقل الإلكتروني جيداً جداً في معظم نسخ MCNP الحديثة.

في أوائل التسعينيات من القرن الماضي استخدم ماسون Mason وآخرون . وماك فيرسون MacPherson وباتيستا Battista الكود MCNP لحساب وسطاء الجرعة لـ $^{169}Yb$، وهو منبع علاج قصير منخفض الطاقة جديد [78 – 79]. استخدم المؤلفون MCNP - 4A لينمذجوا بدقة البذور seeds بغية حساب بعض العوامل مثل توهين الفوتونات photon attenuation، والامتصاص الذاتي والتبعثر. حسبت جانبيات الجرعة الزاويّة عند مسافات مختلفة، بالإضافة إلى ثابت معدل الجرعة $\Lambda$. ثم قورنت مع قياس TLD. عُينت الجرعة المحسوبة بتسجيل معدل دفق الطاقة (باستخدام مقيِّم طول أثر) والضرب بمعامل تحويل الكتلة إلى طاقة. اتفقت توزعات الجرعة المحسوبة مع القياس ضمن تقريب قدره 5%. وهذا جيّد بصورة خاصة ونحن ننظر في مقطع عرضي مُهمل لفوتون ذي طاقة منخفضة استخدمه MCNP4A كما لفت الانتباه إليه حديثاً باحثون آخرون [80]. إن شدة المنبع المحسوبة اتفقت مع القياس ضمن الارتياب الإحصائي لكلتا الطريقتين (الجدول 4).

**الجدول 4– ثابت معدل الجرعة المقيس والمحسوب لمنبع قصير العلاج $^{169}Yb$ جديد. مأخوذ من ماك فرسون و باتيستا [79].**

| تقنية | $\Lambda_0$ (cGy h-1 U-1) | بذرة |
|---|---|---|
| مقيس | 1.34 ± 0.10 | Type 8 |
| MCNP4A | 1.25 ± 0.05 | Type 8 |
| MCNP4A | 1.25 ± 0.05 | Type 6 |

استخدم فو Wuu وآخرون MCNP وكوداً ثانياً، هو دلتا DELTA، لتقدير الفعالية الحيوية النسبية (RBE) لأربعة منابع علاج قصير بالنسبة لِ $^{60}Co$ [81]. أنجزت حسابات MCNP لتوليد طيف إبطاء الإلكترون. ومن هذه تعينت طيوف الطاقة المؤلفة من خطوط وتمت مقارنتها بالقياسات التي أجريت بالعدّاد التناسبي عديم الجدار المنُشأ من أجزاء غير معدنية. كانت النتائج التجريبية والمحسوبة على توافق تام. كما أن تقديرات RBE كانت على اتفاق تام مع معطيات حيوية منشورة (الجدول 5).

لقد استخدمت عدة مجموعات الكود MCNP لدراسة خصائص مقياسية الجرعة لمنابع $^{192}Ir$ ذوات معدلات جرعة عاليه [82 – 85]. فقد استعمل فِسيندِن Fessenden وآخرون MCNP لحساب وسطاء مقياسية الجرعة من أجل منبعي $^{192}Ir$ يتمتعان بمعدلي جرعة عاليين [82] (HDR). تم تعيين الجرعة إلى نقطة في الماء باستخدام نوعين مختلفين من حسابات كِرما MCNP (وبفرض توضع محلّي (موضعي) لطاقة الإلكترون) عدِّل سجل كِرما kema tally (f6) وسجل معدل الدفق (f5) fluence tally وفق معاملين مناسبين لطاقة الامتصاص. أنجزت حسابات منبع نقطي من $^{192}Ir$ وقورنت مع الدراسات السابقة. وبالإضافة إلى ذلك فقد تم وضع نموذجين تجاريين لمنبعَي $^{192}Ir$ في شكلهما النهائي. أجريت قياسات لتأكيد الحسابات استخدم فيها فلم من الكروم GAF. يبين الشكل 18 الجرعة مأخوذة من منبع $^{192}Ir$ تجاري كتابع للمسافة القطرية (مع حذف آثار $1/r^2$). تتفق المعطيات بصورة جيدة مع حسابات وليام

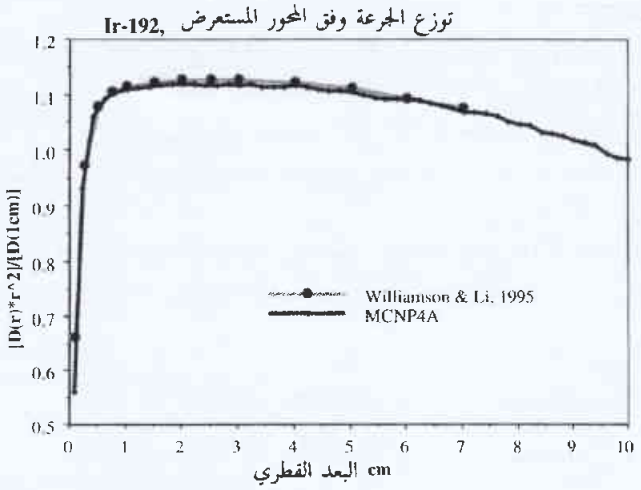
**الجدول 5– الطاقة الخطية الوسطى و RBE محسوبة باستخدام MCNP لأربعة منابع للعلاج القصير. قيم RBE التي تقع في العمود الأيمن مأخوذة من قياسات حيوية (بيولوجية). مأخوذة من فو وآخرين [81].**

| نكليد مشع | طاقة خطية وسط مونتي كارلو | طاقة خطية وسط مقيسة | RBE | RBE |
|---|---|---|---|---|
| $^{103}Pd$ | 3.3 | 3.8 | 2.3 | 1.9 ± 0.6[1] |
| $^{125}I$ | 3.0 | 3.5 | 2.1 | 1.4 ± 0.6[1] |
| $^{241}Am$ | 3.1 | 3.5 | 2.1 | |
| $^{192}Ir$ | 1.9 | 2.0 | 1.3 | 1.45[2] |
| $^{60}Co$ | 1.5 | 1.6 | 1.0 | |

[1] Ling *et al.* [105];
[2] Zellmer *et al.* [106].



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية




**الشكل 18**– الجرعة كتابع للبعد (بعد حذف آثار $1/r^2$) من أجل منبع $^{192}Ir$ المكروسلكتروني. مأخوذ من فسيندن وآخرين [82].

سون ولي السابقة [86]. إن وسطاء مقياسية الجرعة الأخرى التي حُسبت بواسطة MCNP هي أيضاً على اتفاق مع المعطيات المنشورة سابقاً (الجدول 6).

درس وولاس وآخرون [83] المميزات المجراعية لمنبع $^{192}Ir$ تجاري ذي معدل جرعة عالٍ (Nucletron's MicroSelectron)، استخدم الكود MCNP ليقدم نموذجاً حقيقياً للمنبع؛ لقد تضمن طيف أشعة غاما المنمذج 33 إصداراً. استخدمت مجلدات لسجلات حلقية لجرعة مقيّمة (باستخدام السجل f8* MCNP) تخرج قطرياً إلى الخارج من المنبع. استخدمت القيمة الوسطى 2.24 فوتوناً / اضمحلال للتحويل إلى وحدات لكل نشاط (per activity). كانت مميزات الجرعة على اتفاق ممتاز مع الحسابات الأسبق لوليام سون ولي (اللذين استخدما كوداً من تصميمهما الخاص) [86]. اقترح المؤلفون أن الابتعاد عن قانون التربيع العكسي في حقل الجوار كان يرجع في معظمه إلى الهندسة الملاحظة noted geometry بدلاً من آثار الإنشاء. كما اقترح المؤلفون أيضاً أن انزياحاً يجري على تخطيط معالجة بالعلاج القصير مبنياً على CT، وهو شائع بصورة متزايدة خاصة في حالة النسيج الدائم، يجب أن يكون مصحوباً بخوارزميات لجرعات أفضل من تلك التي تستخدم في منظومات تجارية.

استخدم واتانيب Watanabe وآخرون الكود MCNP ليولّدوا معطيات مقياسية الجرعة من أجل مطباق applicator متخصص للعلاج القصير بمعدلات جرعة عالية specialized HDR brachytherapy applicator [83, 84]. إن الهندسة المعقدة للمطباق وتركيبته المكونة من الفولاذ الذي لايصدأ والتنغستين تبدي صعوبات في كل من المحاكاة والقياس. سُجِّل معدل دفق الفوتونات باستخدام مولّدات الحادثة التالية next - event generators (في الكود MCNP سجل الكاشف النقطي والحلقي، f5). وبدلاً من عدّ (تسجيل) الجرعة مباشرة كما فعل والاسي وآخرون [83]، فقد عينت الجرعة بضرب معدل الدفق المحسوب بمعاملات الامتصاص الكتلي المناسبة. تضمنت محاكاة مونتي كارلو 31 إصداراً في طيف أشعة غاما المنمذج. أنجز التحويل إلى وحدات لكل نشاط بفرض قيمة متوسطة 2.36 فوتون/اضمحلال. ومرة أخرى تلاحظ هنا اختلافات بين العمل الراهن وعمل وولاس وآخرين. إن مؤلفي هذا المقال يلاحظون بالفعل أنه توجد أربع من الطاقات الأساسية التي تشكل أغلبية الإصدارات، لذا فإنه لا يتوقع أن يكون هناك تأثير ملحوظ لأي اختلاف من الاختلافات. وبالمقارنة تبين أن النتائج مؤيدة للنتائج التي أعطتها الدراسات السابقة [87 – 88] ومؤيدة للقياسات باستخدام TLDs. يقترح المؤلفون استخدام جداول البحث ثلاثية الأبعاد التي وصفوها والمبنية على معطيات مونتي كارلو ليشملوا حجب (ستر) المطباق والآثار الأخرى والتي يمكنها لو وقعت أن تحدث أخطاءً لايستهان بها. وبأسلوب مماثل للعديد من دراسات مونتي كارلو المبكرة، استخدم وايَرزبيكي Wierzbicki وآخرون الكود MCNP لحساب وسطاء مقياسية جرعة مرجعية لمنبع $^{125}I$ جديد [89]. تم تعيين تابع الجرعة القطرية، وعوامل اللاتناحي وثوابت اللاتناحي بتسجيل الجرعة الممتصة (باستخدام البطاقة f8* للكود MCNP) في شبح مائي كروي، تم نمذجة البذور، المؤلفة من أربع حبات راتنج مخصَّبة بـ $^{125}I$ ومحفوظة (مُكبْسَلة) في أنانيب من التيتانيوم، في مجموعها الهندسي. لوحظت اختلافات ضئيلة بين القيم المحسوبة والقيم التي قاسها الباحثون السابقون (الجدول 7). يعتقد المؤلفون بأن الاختلافات ترجع بصورة رئيسية إلى المواد الوهمية المستخدمة في القياسات الأسبق؛ ولقد أوصوا باستخدام قيم مونتي كارلو من أجل التطبيقات السريرية.

درس وونغ Wong وآخرون. [90] دقة منظومة تخطيط معالجة بالعلاج القصير تجارية مع الأخذ بالاعتبار مقياسية جرعة الحقل القريب، وبصورة خاصة، تراكب أثر مواقع ذات منابع متعددة. ولقد اتبعوا منهجية عملهم السابق في تعيين وسطاء مقياسية الجرعة لمنبع $^{192}Ir$ [83]. قورنت النتائج مع منظومة تخطيط معالجة تجارية. استنتج المؤلفون بأن كلاً من الجرعة القطرية radial dose ووظائف اللاتناحي anisotropy في المنظومة التجارية تضَّمنت أخطاء على مسافات أقل من 1 سنتيمتر من المنبع. وهذا بدوره جعل المنظومة التجارية تغالي في تقدير الجرعة إلى نقطة من مواقع منابع متعددة (dwell) من 3 إلى 15 في المائة.

استخدم دي ماركو وآخرون مؤخراً الكود MCNP لنمذجة توزعات ثنائية وثلاثية الأبعاد

الجدول 6– وسطاء مقياسية الجرعة لمنبع نقطي $^{192}Ir$ ومنبعين HDR تجاريين. مأخوذ من فسيندن وآخرين [82].

| | (A) ثابت معدل الجرعة | | | (Sk) شدة كيرما الهواء | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | مكروسكلترون | منبع $^{192}Ir$ متغير | منبع $^{192}Ir$ نقطي | مكروسكلترون | منبع $^{192}Ir$ متغير | منبع $^{192}Ir$ نقطي |
| محسوب (MCNP4A) | 1.111 | 1.043 | 1.111 | 3.658 | 3.833 | 4.044 |
| منشور | 1.115[1] | | 1.110[2] | | | 4.110 |

[1] Williamson and Li [86].



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

من نُسُج $^{125}I$ دائمة وذلك من أجل ورم سرطاني للبروستات [80].

## علاج قصير الأمد داخل الأوعية
## intravascular brachytherapy

اقترح حديثاً إشعاع الشرايين القلبية والمحيطية كآلية لتقليل عَوْد التضيّق الذي يعقب إجراءات الجراحة الوعائية التعويضية angioplasty procedures. إن وضع المنابع المشعة داخل الأوعية قد يسمح بتقديم جرعات فعالة إلى جدار الأوعية في حين يقلل الجرعة المحيطية إلى الأنسجة المحيطة به. توجد تصاميم لمنابع عديدة قيد الاستعمال في هذه الأيام، لكل منها حسناته وسيئاته. هناك مجموعتان استخدمتا MCNP بشكل واسع لدراسة خواص مقياسية الجرعة للمنابع داخل الأوعية [82, 91, 92].

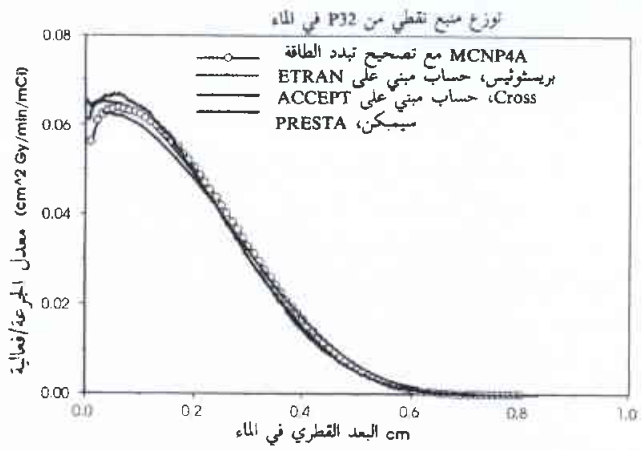
أنجز فيسيندن Fessenden وآخرون تحليلاً مفصلاً عن العوامل المؤثرة على توزع الجرعة من التشعيع بأشعة بيتا داخل وعائية [91] تضمنت هذه العوامل: اختيار منبع بيتا ($^{32}P$ أو $^{90}Y$ / $^{90}Sr$)، وطول المنبع، والتغليف أو التعبئة، وآثار توزيع تركيب القسطر وثخانته، وموقعه داخل الوعاء، وتركيب الوعاء. كانت منابع بيتا $^{32}P$ و $^{90}Y$ / $^{90}Sr$ تعد من المنابع المرجعية للمعطيات المنشورة. أنجزت الحسابات باستخدام النسخة 4A من MCNP مع رقعة أدمجت كي تصحح ماوقع في الأشياء الصنعية لانتشار الطاقة والتي أشار إليها باحثون سابقون [10, 37]. إن الرقعة التي وصفها هيوغز Hughes وآخرون [12] قد اندمجت منذئذ في الكود MCNP 4B. يبين الشكل 19 جرعة كتابع للبعد من أجل منبع نقطي $^{32}P$ حسبت باستخدام MCNP. وقد بينا حسابات مونتي كارلو لعدة دراسات سابقة من أجل المقارنة. الاتفاق جيد على وجه العموم مع ظهور اختلافات فقط ضمن المليمتر الأول. وتجدر الإشارة إلى أن حسابات بريستويتش Prestwitch وآخرين. كانت قد أنجزت بواسطة ETRAN التي تختبر بشكل غير صحيح توزع الطاقة في غير نظام [93]. يبين الشكل 20 مقارنات مماثلة لمنبع $^{90}Y$ نقطي. وفيما بعد صُمِّم منبع $^{90}Y$ / $^{90}Sr$ وصُنِّع من قبل المؤلفين. وقد دلت مقارنة حسابات MCNP مع القياس على توافق ممتاز (الشكل 21).

وصف لي وآخرون استخدام الكود MCNP في الحصول على معطيات مجراعية من أجل إشتِنْت stent (واقية شريانية) (والإستنت - أي الواقية الشريانية - نبيطة ميكانيكية تستخدم لمنع الشرايين من الانهيار عقب إجراءات تصوير الأوعية الدموية) [92]. تم تشكيل المنبع برجم واقية شريانية تجارية ببروتونات طاقتها 8.5 MeV من سيكلوترون منشأة العلاج UCLA (UCLA Neutron Therapy Facility cyclotron). يمتص الـ $^{48}Ti$ الموجود في الإشتِنْت (الواقية) (بتركيب 45.2%) بروتوناً ليشكل $^{48}V$. أما النظير $^{48}V$ الناتج فيتفكك بإصدار بوزترون وأسر إلكترون بعمر نصف يبلغ 16 يوماً. تبلغ طاقة إصدار التفكك الأولي

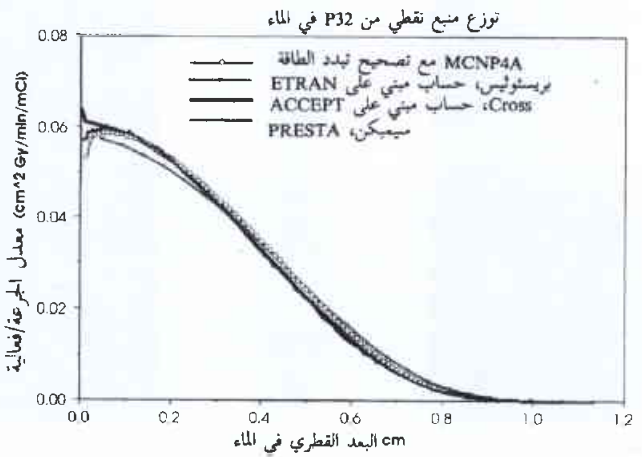
**الجدول 7**- حسابات مونتي كارلو من أجل بذرة $^{125}I$ Io Gold بالمقارنة مع القياس. مأخوذ من وايزنيكي وآخرين [89].

| مسافة عرضية (cm) | بذرة نموذج 6711 مقيس | عامل اللاتناحي بذرة نموذج 6702 مقيس | بذرة Io Gold مقيس | Io Gold MCNP |
|---|---|---|---|---|
| 0.5 | | | | 0.975 |
| 0.75 | | | | 0.955 |
| 1.0 | 0.944 | 0.968 | 0.885 | 0.946 |
| 1.5 | | | | 0.951 |
| 2.0 | 0.936 | 0.928 | 0.847 | 0.945 |
| 3.0 | 0.893 | 0.897 | 0.926 | 0.947 |
| 4.0 | 0.887 | 0.942 | 0.853 | 0.951 |
| 5.0 | 0.884 | 0.959 | 0.936 | 0.952 |
| Anisotropy Constant | 0.93 | 0.95 | 0.90 | 0.95 |

[1] Nath *et al.* [87];
[2] Wallace and Fan [107].



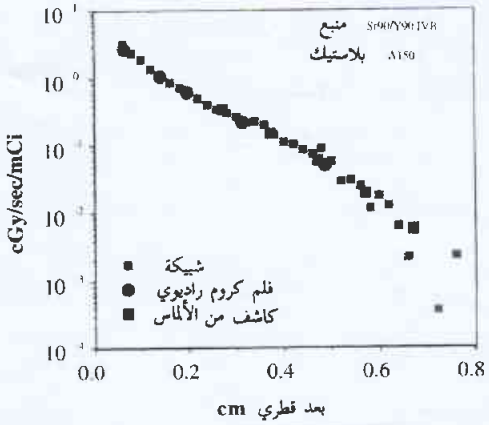

**الشكل 19**- جانبية الجرعة مع البعد في الماء من أجل منبع نقطي من $^{32}P$. حسابات EGS4 من سيمبكن وآخرين، 1990 [109]؛ حسابات ETRAN من بريستويتش وآخرين، 1995 [93]؛ حسابات ITS من كروس وآخرين، 1992 [108]. مأخوذ من فيسيندن وآخرين [82].




**الشكل 20**- جانبية الجرعة مع البعد في الماء من أجل منبع نقطي من $^{90}Y$. حسابات EGS4 من سيمبكين وآخرين، 1990 [109]؛ حسابات ETRAN من بريستويتس وآخرين، 1995 [93]؛ حسابات ITS من كروس وآخرين، 1992 [108]. مأخوذ من فيسيندن... إلخ.



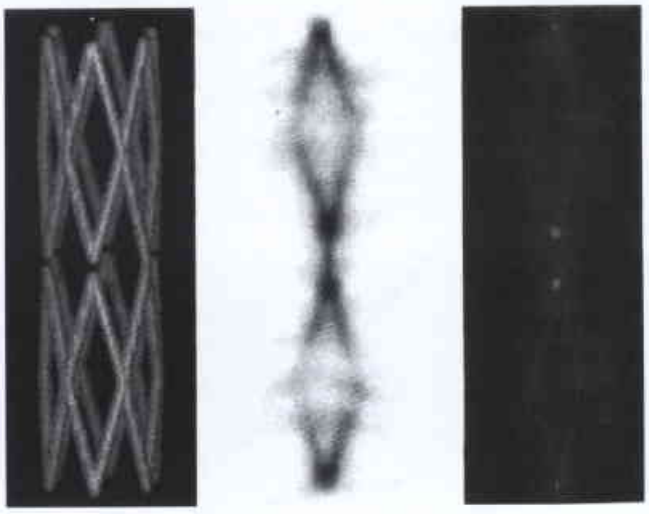
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



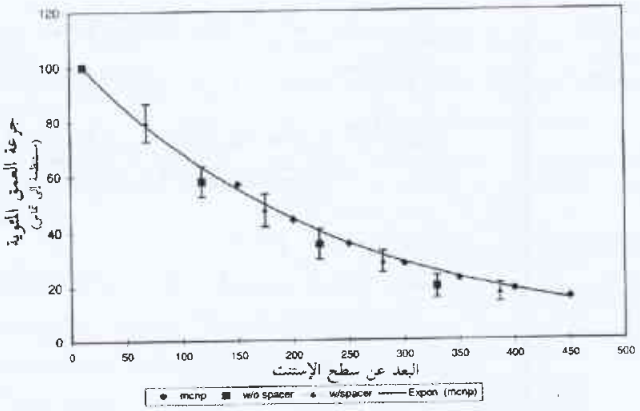

**الشكل 21**– معدل الجرعة بوحدة الفعالية من منبع علاج قصير ضمن وعائي $^{90}Y$ / $^{90}Sr$ قيس في شبح صلب وحسب باستخدام MCNP. مأخوذ من فيسيندن وآخرين [82].

0.696 MeV عظمى للبوزترون، و 511 keV لفوتونات الفناء و إشعاعات غاما أخرى عديدة تقع طاقاتها في المجال 0.944 MeV و 2.241 MeV.

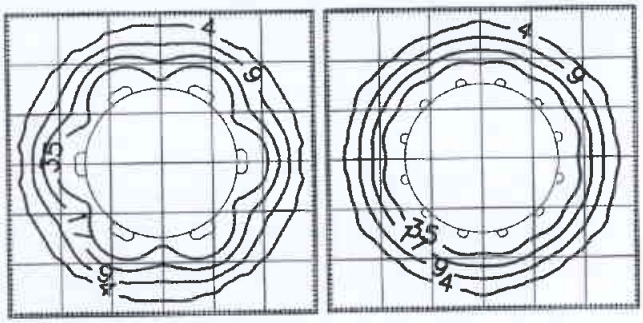
ونظراً للهندسة المعقدة للواقية الشريانية (الإستِنْت) (الشكل 22)، فقد تمت نمذجة محاكيات مونتي كارلو لعناصر إفرادية (قوائم انضغاط struts) باستخدام الكود MCNP من أجل إعادة تنظيم الفصل عن الخط (أو الانترنيت) offline. تم تعيين توزع الجرعة للواقية الشريانية بأكملها بضم توزع الجرعة لقائم انضغاط منفصل حسب هندسة الواقية. قورنت الحسابات مع الحسابات التالية المنجزة باستخدام فلم كرومي GAF في جسم وهمي من البولي ستيرين أنشيء خصيصاً. يبين الشكل 23 مقارنة جرعة عمق بسيطة. ويبين الشكل 24 توزعي جرعة ثنائية البعد مأخوذين عند سويتين مختلفتين على الواقية الشريانية.



**الشكل 22**– واقية شريانية (إستِنْت) تجارية (إلى اليسار) نُشّطت بحزمة من البروتونات. أنجزت حسابات MCNP من أجل عنصر داعم وحيد و توزع جرعة تم الحصول عليه لكل الواقية الشريانية بتراكب العناصر الفردية (إلى اليمين). قورنت الحسابات مع القياس المنجز باستخدام فلم GAF من الكروم (في الوسط). مأخوذ من لي وآخرين [92].




**الشكل 23**– جرعة العمق المحسوبة والمقيسة لواقية شريانية تجارية ($^{48}V$) منشّطة. استنظمت المعطيات إلى "التماس contact". مأخوذ من لي وآخرين [92].



**الشكل 24**– جانبيات جرعة المقطع العرضي الثنائي البعد المحسوبة، في جرعة زمن الحياة (Gy) بواحدة الفعالية (μ Ci))، عند موضعين مختلفين من أجل إستنت تجاري ($^{48}V$) منشّط. مأخوذة من لي وآخرين [92].

## تطبيقات أخرى للعلاج القصير

### Cf - 252

استخدم دي ماركو وآخرون الكود MCNP لحساب توزعات الجرعات من نترونات المنبع وفوتوناته بالإضافة إلى أسر أشعة غاما من $^{252}Cf$ اقترحت بمثابة منبع علاج قصير [94]. تم نمذجة تغليف منبع $^{252}Cf$ بالرغم من أن المقاطع العرضية الحقيقية للنترونات لم تكن متوفرة لكل المواد. لقد أخذت نترونات المنبع وأشعة غاما الأسر في محاكاة واحدة، بينما عوملت فوتونات المنبع في محاكاة منفصلة. جرى ترقيم توزع الجرعة القطري باستخدام أسطوانات متمركزة. استخدم ترقيم كيرما (f6) لتسجيل توزع الجرعات من جسيمات المنبع، بينما سجلت الجرعة من أسر غاما مباشرة (f8*). قورنت المعطيات المحسوبة مع القياس ومع الحسابات السابقة. حُسب معدلا جرعة النترونات والفوتونات فكانا على التوالي 2.02 c و 1.25 c Gy / hr / μg على بعد 1cm من المنبع من أجل المنبع المقترح.

### U - 235

اقترح ليو Liu وآخرون تقنية للعلاج بضم العلاج القصير و علاج الأسر باستخدام $^{235}U$ [69]. والفكرة في العمل هي أن بذور $^{235}U$ المغروزة كمنابع علاج قصير مؤقت تشنشط بإشعاع من حزمة خارجية من

النترونات منتجة أشعة غاما أسر ونترونات سريعة ثانوية بالإضافة إلى جسيمات ألفا منبعثة من $^{235}U$ نفسه. استخدم الكود MCNP لتقدير مدى ملاءمة التقنية بدلالة توزع الجرعات ومعدل الجرعة. ولقد جرت دراسة حوادث انشطار $^{235}U$ كمتابعة لهذا العمل [95].

## الطب الإشعاعي التشخيصي

### التصوير الطبقي المقطعي المحوسب computed tomography

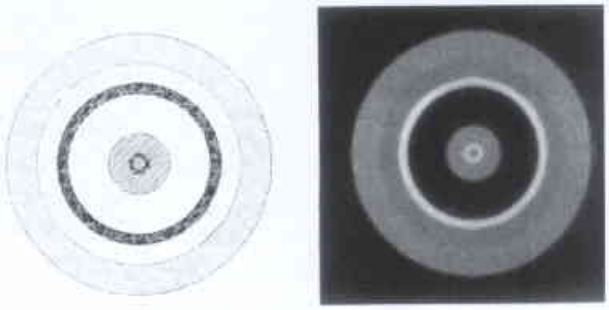
ربما كان مجال الطب الإشعاعي التشخيصي أحد أكثر المجالات في استخدام حسابات مونتي كارلو في مقياسية الجرعة الطبية. ورغم كل هذا، فإن تقنيات مونتي كارلو تبقى إمكانية مهمة للأبحاث التي تغطي مجالاً واسعاً من التطبيقات التشخيصية، بدءاً من تعرّض المريض للإشعاع والجرعة إلى تباين الصور والفصل (المَيْز). كان بروكهوف وآخرون من أوائل المجموعات التي تطبق الكود MCNP على مسألة إعادة بناء صور التصوير الطبقي المقطعي [96]. فقد عملوا محاكاة لأول جيل من ماسحات CT (التصوير الطبقي المقطعي المحوسب) الناقلة / الدوارة translate / rotate CT scanner. وضع منبع فوتونات أحادية الطاقة ذو خطوط متوازية مقابل صفيف من كتل الكواشف. وُضع شبح تشريحي MIRD بين المنبع وصفيف الكواشف. دُوِّر الشبح وجرى الحصول على الجانبيات profiles بفاصل زاويّ قدره درجتان من 180 درجة كاملة. تم إنجاز إعادة البناء والشبكة مفصولة. أعيدت الإجراءات باستخدام طيف طاقة تشخيصي ومع نموذج حقيقي لمريض أُخذ من مسح CT سابق خضع لمعاينة فرعية من مصفوفة 64 X 64 لإنقاص أزمنة التشغيل. نتج عن كلتا المحاكاتين تمثيلات معقولة للمعطيات الأصلية. وأخيراً فإن إنجاز ما يزيد على 90 دورة تشغيل للحصول على الجانبيات اللازمة لإنشاء شريحة واحدة يعد بلا جدوى أبداً. وعلى كل حال برهن المؤلفون أن كود مونتي كارلو يمكن أن يكون أداة فعالة لتقدير العمليات الفيزيائية الكائنة خلف إعادة بناء الصور المأخوذة بالتصوير الطبقي.

إن معرفة عدم الكفايات الموجودة في طرائق بروكهوف وآخرين، والحاجة إلى تمثيل كامل لكل من الماسح CT والجسم الذي سيتم تصويره، جعلت كاغنون Cagnon وآخرين يأخذون على عواتقهم مشروعاً طموحاً لنمذجة إعادة بناء صور التصوير الطبقي باستخدام الكود MCNP وتمثيل دقيق للماسح CT [97]. ويمكن في الوقت الراهن لطيف فوتونات أحادي أو متعدد الطاقة أن يؤخذ كعينات عشوائية من حزمة مروحية تنشأ من هدف. من أجل أطياف متعددة الطاقة، أنشئت دالة توزع تراكمي من أطياف إشعاع الكبح CT المقيسة أو المحاكاة. عُدِّل الكود ليقدم نموذج فضاء طوري لمنبع أشعة X، معرّفاً مواقع موضعية x، y، z وأشعة اتجاه u، v، w وطاقة (انظر أيضاً [20, 23]). يمكن تغيير الفضاء الطوري من قبل المستخدم ليعطي وسطاء أمثال عرض المروحة، وثخن الشريحة المحوري، والموضع الدوراني حول المبدأ. توضع مجموعة من عناصر كاشفة مرتبة وفق قوس مقابل الحزمة المروحية. يُرتب المستخدم بسهولة عدد الكواشف وحجمها ومواقعها ليتيح الوصول إلى الحالة المثلى في الضجيج أو الميز (الفصل) حسب الرغبة. عرّف نموذج يحاكي أنسجة المريض: ماء، عضلة، دهن وهواء كسلسلة من حلقات متمركزة متناظرة قطرياً حول المركز. يبين الشكل 25 النموذج والصورة المعاد إنشاؤها. كما درست عوامل أخرى مثل طاقة الفوتون، وتبعثر الفوتون، وتقنية الحزمة.

إن مسألة الجرعة التي يتلقاها المرضى الذين يخضعون للتشخيص ولإجراءات أشعة X المتخلّلة هي قيد النظر بمراقبة متزايدة ضمن مجال فيزياء الصحة الطبية medical health physics. ويعد تزايد التعقيد (ومن ثم الزمن والتعرّض) في الإجراءات الاجتياحية بصورة أصغرية واحداً من هذه الأسباب يوجهه في ذلك التنظير بالتفلور وتصوير الأوعية الدموية. لقد استعمل جانسون وآخرون Jansen تقنيات مونتي كارلو لحساب جرعات الأعضاء و الجرعات الفعالة من إجراءات CT [98]. يعرف دليل جرعة التصوير المقطعي المحوسب (CTDI) بالجرعة المتكاملة على خط يوازي المحور Z لماسح CT مقسوماً على ثخن الشريحة. يقاس CTDI بسهولة باستخدام حجرة تأيّن خاصة. تمت نمذجة الماسح CT، من أجل حسابات مونتي كارلو، بتصميم منبع حلقي خاص special annular source باستخدام الروتين الثانوي للمنبع. جمعت عينات لاتجاهات الفوتون من الجانبيات المحسوبة أو المقيسة من أجل زاوية المروحة وبصورة منتظمة عبر زاوية صغيرة للحصول على الثخن الجيد المناسب عند المحور المركزي. تم اختيار طيف الحزمة من معطيات منشورة مبنية على الـ kV الاسمي و HVL المقيس. صممت أشباح تشريحية ذكرية وأنثوية وحسبت جرعات الأعضاء باستخدام تقدير طول الأثر معدَّل بعوامل تحويل معدل الدفق إلى جرعة مستنظمة إلى CTDI المقيسة.

## الطب النووي

استخدم كرامرKramer وإيو Yiu الكود MCNP لدراسة كفاية كواشف NaI من أجل مرضى عديدين ومميزات الكواشف في المعالجة باليود $^{125}I$ للغدة الدرقية [99]. تمت نمذجة الرقبة والغدة الدرقية بناء على تعاريف ICRP و ICRU مستخدمين الهندسة التوافيقية النموذجية للكود MCNP. عينت الكفاية في العدّ بناء على عدد الجسيمات المتأثرة مع الكاشف. وبناء على النتائج، استنتج المؤلفون بأن كفاية العد كانت تعتمد على حجم الكاشف (أكبر كفاية تقابل أكبر الكواشف) وعلى ثخن النسيج الغطاء (الكفاية الأكبر تقابل أقل نسيج مغطٍّ).



**الشكل 25**– صورة بالتصوير الطبقي معاد إنشاؤها (إلى اليمين) من جانبيات مونتي كارلو المحسوبة للنموذج على اليسار. المواد مرتّبة بدءاً من الحلقة الخارجية: ماء، دهن، عظم، هواء، ماء، عظم، ماء. مأخوذ من كاغنون وآخرين [97].



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

## التدريع والوقاية من الإشعاع

ربما يكون مجال حجب الإشعاع radiation shielding واحداً من أكثر المجالات التي تستخدم حسابات مونتي كارلو في مقياسية الجرعة الطبية. ففي عام 1993 نشر ميتزجر Metzger وآخرون عن تصميم التدريع (الحجب) لقاعات أشعة X المستخدمة في التشخيص باستخدام MCNP [100]. فقد جرى نمذجة الخواص الفيزيائية لقاعات أشعة X بما فيها تركيب وبناء الجدران، والأرضيات والأسقف (لوح جداري من الجبصين، والرصاص والإسمنت). كما نُمذج مستقبِل الصورة image receptor (حامل (كاسيت) الفلم) والمريض، ودُرسا في حسابات التوهين. أخذت أطياف أشعة X تتراوح مابين 45 و 150 kVp من معطيات منشورة. وضعت كواشف حلقية (مولدات الحدث التالي لـ MCNP) عند مواضع متعددة وخارج الغرفة. استنظمت الحسابات بالنسبة للموضع 100 سنتيمتر من المنبع على المحور المركزي، ثم ضربت في الخرج المتراكم المحسوب calculated collective output لتعطي كِرما الهواء. قورنت النتائج الموجودة في التقرير رقم 49 لـ NCRP. قام المؤلفون بالحساب فوجدوا أن تقرير NCPR يغالي في تقدير التدريع اللازم في غرف أشعة X المعدة للتشخيص. وفي النتيجة اقترحوا أن معظم المنشآت الموجودة ستكون قادرة على الاستجابة والإذعان لحد الجرعة اللامهنية المختزل بدون الحاجة إلى مواد تدريع إضافية.

يمكن إنتاج النترونات في غرفة العلاج الإشعاعي كلما كانت الطاقات المستخدمة فوق عتبة التفاعل $(\gamma,n)$. لقد اقترح أغوستيو Agosteo وآخرون [101] وصفاً تحليلياً لتدفق النترونات المكاني في غرف العلاج الإشعاعي. ولقد استخدم الكود MCNP لتحقيق نتائج الصيغ التحليلية.

استخدم إيفانز Evans وبلو Blue الكود MCNP في تصميم تدريع غرف المعالجة (المعاينة) من أجل العلاج بأسر النترونات [102]. نمذجت أبعاد الغرفة حسب أبعاد ميتزجر وآخرين، ولكن استخدمت أيضاً مجموعات مختلفة بصورة طبيعية من مواد التدريع والإنشاء، بما فيها البولي إيتيلين المبورق (المشبّع بحمض البوريك)، والجدران المختلفة، وثخانات الأسقف والأرضيات. نمذجت الحزمة المشكّلة فقط من النترونات كمنبع نقطي متناح. ونمذج طيف الطاقة كأربع بنّات bin منفصلة، من 4eV إلى 1 MeV. وضعت كواشف نقطية للنترونات والفوتونات عند مواضع مختلفة داخل وخارج غرفة المعالجة. ولتحسين الإنجاز وإنقاص التغير الإحصائي، سُمح لانشطار الجسيمات كما أغلق التبعثر المترابط. أنشيء منحني النفوذ trasmission curve من معطيات الكاشف النقطي. قرر المؤلفون من هذا أن الإضافة 5% من البولي إيتيلين المبورق بين المنبع والجدران الإسمنتية يمكن أن يقلل حجم الإسمنت اللازم بمقدار 27% بينما يحافظ على الجرعة اللامهنية عند الحدود المقبولة.

استخدم العفان Al - Affan كود MCNP الذي كان مستخدماً لحساب طيف الفوتونات المبعثرة والطاقة الوسطى عند مواضع مختلفة داخل غرف المعالجة بالعلاج الإشعاعي وخارجها [103]. وباستعمال هذه المعلومات، تم تحقيق تقييم للجرعات المتسربة خارج الشبكة. كانت نتائج الحسابات على اتفاق جيد مع القياسات المنشورة من قبل. أنجز ماك جِنْلي McGinley وآخرون دراسة مماثلة لكنهم فَصَلوا المساهمات العائدة للجرعة إلى أشعة غاما الأسر، وتسرب أشعة X ومنابع التبعثر [104].

## النتيجة

يعد كود مونتي كارلو للجسيمات المعتدلة (MCNP) ملائماً بشكل مثالي لتطبيقات في مقياسية جرعة الإشعاع الطبي. إن كود MCNP موثّق بشكل جيد من خلال الأدبيات العلمية المنشورة ومن خلال العدد المتزايد بسرعة من المواقع على الإنترنت. لقد حاولنا في هذه المخطوطة أن نلخص الجزء الأساسي من العمل مطبقين كود MCNP على مقياسية جرعة الإشعاع الطبي، وذلك لإعلام الباحثين الآخرين في هذا المجال ولتشجيع استخدامات أخرى لهذا الكود والعمل على تطويره. وفي الوقت الذي نسعى فيه للكمال قدر الإمكان، لاشك أن هناك عدد آخر من المراجع لم يرد ذكره. ويلاحظ بوضوح فيما يتعلق بالتطبيقات في الفيزياء الطبية العلاجية أنها تعكس صورة لاهتمامات المؤلفين الخاصة وتحيزاتهم.

## المراجع REFERENCES


[1] Briesmeister, J. F.: MCNP - A general Monte Carlo N - Particle transport code, version 4A. Loa Alamos National Laboratory report LA - 12625 (1993).

[2] Berger, M. J.: Monte Carlo calculations of the penetration and diffusion of fast charged particles. In: Methods in Computational Physics, Vol. 1, Alder, B., Fernbach, S., Rotenberg, M., eds. Academic Press, New York (1963).

[3] Berger, M. J., Seltzer, S. M.: ETRAN Monte Carlo code system for electron and photon transport through extended media. Radiation Shielding Information Center report CCC - 107 (1968).

[4] Fitzgerald, J. J., Brownell, G. L., Mahoney, F. J.: Mathematical theory of radiation dosimetry. Gordon and Breach Science Publishers, Inc., New York (1967).

[5] Mo97: Mohan, R.: Why Monte Carlo. In: Proceedings of the XIIth International Conference on the Use of Computers in Radiation Therapy. Leavitt, D. D., Starkschall, G., eds. Medical Physics Publishing (1997).

[6] Briesmeister, j. F.: MCNP - A general Monte Carlo N - Particle transport code, version 4B. Los Alamos National Laboratory report LA- 12625 - M (1997).

[7] Hendricks, J. S., Briesmeister, J. F.: Recent MCNP enhancements. Los Alamos National Laboratory report LA - UR - 91 - 3456 (1991).

[8] Hendricks, J. S.: MCNP4C. Los Alamos National Laboratory communication X - 5: JSH - 2000 - 30 (2000).

[9] Andreo, P.: Monte Carlo techniques in medical radiation physics. Phys. Med. Biol. 36, 961 - 920 (1991),

[10] Rogers, D. W. O., Bielajew, A. F.: Differences in electron depthdose curves calculated with EGS and ETRAN and




http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

improved energy - range relationships. Med. Phys. 13 (5). 687 - 694 (1986).

[11] Seltzer, S. M.: An overvew of ETRAN Monte Carlo methods. In: Monte Carlo Transport of Electrons and Photons. Jenkins, T. M., Nelson. W R., Rindi, A., eds. Plenum Press (1988).

[12] Hughes. H. G : Treating Electron Transport in MCNP. Unpublished Los Alamos National Laboratory report (1997).

[13] West, J. T.: SABRINA: An interactive three - dimensional geometrymodeling program for MCNP, Los Alamos National Laboratory report LA - 10688 - M (1986).

[14] DeMarco, J. J., Solberg, T. D., Wallace, R. E., Smathers, J. B.; A verification of the Monte Carlo code MCNP for thick target bremsstrahlung calculations. Med. Phys. 22(1), 11 - 16 (1995).

[15] Hal blieb, J. A., Mehlhorn, T. A.: ITS: The integrated TIGER series of coupled electron / photon Monte Carlo transport codes. Sandia National Laboratory Report SAND 84 - 0573 (1984).

[16] Faddegon, B. A., Ross, C. K., Rogers, D. W. O.: Forward - directed bremsstrahlung of 10 - 30 MeV electrons incident on thick targets of AL and Pb. Medical Physics 18, 773 - 785 (1990).

[17] Faddegon, B. A., Ross, C. K., Rogers, D. W. O.: Angular distribution of bremesstrahlung from 15 - MeV electron beams incident on thick targets of Be, AL, and Pb. Med. Phys. 17, 727 - 739 (1991).

[18] Siebers, J. V., Keall, P L., Libby, B., Mohan, R.: Comparison of EGS4 and MCNP4b Monte Carlo codes for generation of photon phase space distributions for a Varian 2100C. Phys. Med. Biol. 44 (12), 3009 - 3026 (1999).

[19] DeMarco, J. J., Solberg, T. D., Smathers, J. B.: A CT - based Monte Carlo Simulation Tool for Dosimetry Planning and Analysis. Med. Phys. 25 (1), 1 - 11 (1998).

[20] Chetty, I., DeMarco, J. J., Solberg, T. D.: A virtual source model for Monte Carlo modeling of arbitrary intensity distributions. Med. Phys. 27 (1), 166 - 172 (2000).

[21] Lewis, R. D., Ryde, S. J., Hancock, D. A., Evans, C. J.: An MCNP - based model of a linear accelerator X - ray beam. Phys. Med. Biol. 44 (5), 1219 - 1230 (1999).

[22] Arellano, A. R., DeMarco, J. J., Solberg, T. D.: Spectral Characteristics of a Linear Accelerator Dedicated for Radiosurgery. Med. Phys. 23 (8), 1492 (1996).

[23] Chetty, I. C., Solberg, T. D., DeMarco, J. J., Arellano, A. R., Fogg, R.: A phase - space model for simulating arbitrary intensity distributions for shaped radiosurgery beams using the Monte Carlo method. In: Radiosurgery 1999. Kondziolka, D., ed. S. Karger AG, Basel, pp. 41 - 52 (2000).

[24] Mackie, T. R., Battista. J. J.: A macroscopic Monte Carlo method for electron beam dose calculations: a proposal. In: The Use of Computers in Radiation Therapy. Proceedings of the Eighth ICCR, Toronto, Canada (1984).

[25] Hartmann - Siantar, C. L., Chandler, W. P., Weaver, K. A., Al - bright, N. W., Verhey, L. J., Hornstein, S. M., Cox, L. J., Rathkopf, A., Svatos, M. M.: Validation and Performance Assessment of the Peregrine All - Particle Monte Carlo, Code for Photon Beam Therapy. Med. Phys. 23, 1128 (1996).

[26] Lovelock, D. M. J., Chui, C. S., Moban, R.: A Monte Carlo model of photon beams used in radiation therapy. Med. Phys. 22, 1387 - 1394 (1995).

[27] Mackie, T. R.: The Ottawa - Madison Electron Gamma Algorithm (OMEGA) project: feasibility of two Monte Carlo techniques. In: The Use of Computers in Radiation Therapy. Proceedings of the Tenth ICCR, Lucknow, India (1990).

[28] Ma, C. M., Mok, E., Kapur, A., Brain, S., Findley, D., Boyer, A.: Clinical implementation of a Monte Carlo Treatment Planning System. Med, Phys. 25, A128 (1998).

[29] Neuenschwande, H., Macker, T. R., Reckwerdt, P. J.; MMC - a high performance Monte Carlo code for electron beam treatment planning. Phys. Med. Biol. 40, 543 - 574 (1995).

[30] Rogers, D. W. O., Bielajew, A. F., Mackie, T. R., Kubsad, S. S.: The OMEGA Project: Treatment planning for electron - beam radiotherapy using Monte Carlo techniques. Phys. Med. Biol. 35, 285 (1990).

[31] Rogers, D. W. O., Faddegon, B. A., Ding, G. X., Ma, W. M., We, J., Mackie, T. R.: BEAM: A Monte Carlo code to simulate radiotherapy treatment units. Med. Phys. 22, 503 - 524 (1995).

[32] Wallace, S., Allen, B. J.: CT based 3D Monte Carlo radiation therapy treatment planning. Australasian Physical and Engineering Sciences in Medicine 21 (2), 41 - 50 (1998).

[33] Solberg, T. D., Holly, F. E., DeSalles, A. A. F., Smathers, J. B.: Implications of Tissue Heterogeneity for Radiosurgery in Head and Neck Tumors. Int. J. Radiation Onc. Biol. Physics 32 (1), 235 - 239 (1995).

[34] Love, P. A., Lewis, D. G., Al - Affan, I. A., Smith, C. W.: Comparison of EGS4 and MCNP Monte Carlo codes when calculating radiotherapy depth doses. Phys. Med. Biol. 43 (5), 1351 - 1357 (1998).

[35] Ma, C. - M., Jiang, S. B.: Monte Carlo modeling of electron beams from medical accelerators. Phys. Med. Biol. 44 (12), R157 - R189 (1999).



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

[36] Jeraj, R., Keall, P. J., Ostwald, P. M.: Comparisons between MCNP, EGS4 and experiment for clinical electron beams, Phys. Med. Biol. 44(3), 705 - 717 (1999).

[37] Andreo, P., Brahme, A.: Mean energy in electron beams. Med. Phys. 8, 682 - 687 (1981).

[38] Halbleib, J. A.: Integrated TIGER series of coupled electronphoton Monte Carlo transport codes, ITS version 3. o. Sandia National Laboratories report SAND91 - 1634 (1992).

[39] Gierga, D. p., Adams, K. J.: Electron photon verification calculations using MCNP4B. Los Alamos National Laboratory report LA - 13440, (1999).

[40] Jenkins, T. M., Nelson, W. R., Rindi, A. (eds.): Monte Carlo transport of electrons and photons. Plenum Press, New York, (1988).

[41] Zamenhof, R., Redmond, E., Solartes, G., Katz, D., Riley, K., Kiger, S., Harling, O.: Monte Carlo - based treatment planning for boron neutron capture therapy using custom designed models automatically generated from CT data. Int J. Radiation Onc. Biol. Physics. 35 (2), 383 - 397 (1996).

[42] Chen, H. C., Asau, Y.: On generating random variates from an empirical distribution. AIIE Trans. 6, 163 (1974).

[43] Woodcock, E. R., Murphy, T., Hemmings, P. J., Longworth, S. C.: Techniques used in the GEM code for Monte Carlo neutronics calculations in reactors and other systems of complex geometries. In: Proc. Of the Conf. Applications of Computing Methods to Reactor Problems. Argonne National Laboratory Report ANL - 7050, p. 557 (1965).

[44] Gudowska, I., Brahme, A., Andreo, P., Gudowski, W., kierkegaard, J.: Calculation of absorbed dose and biological effectiveness from photonuclear reactions in a bremsstrahlung beam of end point 50 MeV. Phys. Med. Biol. 44 (9), 2099 - 2125 (1999).

[45] Solberg, T. D., DeMarco, J. J., Smathers, J. B., Holly, F. E., DeSalles, A. A. F: Monte Carlo Treatment Planning for Stereotactic Radiosurgery. Radiotherapy and Oncology 49, 73 - 84 (1998).

[46] Medin, P. M., Solberg, T. D., DeMarco, J. J., Cagnon, C. H., Chetty, I. C.: A dosimetric comparison of film measurements with three calculation methods for traditional SRS radiation fields in extracranial target volumes. Proceedings of the 4th International Stereotactic Radiosurgery Society Congress, p. 55 (1999).

[47] Medin, P. M., DeSalles, A. A. F., DeMarco, J. J., Selch, M. T., Vassilev, V., Smathers, J. B., Solberg, T. D.: Radiosurgery for spinal lesions: dosimetric considerations. Med. Phys. 23 (6), 1165 (1996).

[48] Mello, R. S., Callison, H., Winter. J, Kagan, A. R., Norman, A.: Radiation dose enhancement in tumors with iodine. Med. Phys. 10, 75 - 78 (1983).

[49] Iwamoto, K. S., Cochran, S. T., Winter, J., Holburt, E., Higashida, R.T., Norman, A..: Radiation dose enhancement therapy with iodine in rabbit VSX - 2 brain tumors. Radiotherapy and Oncology 8, 161 - 170 (1987).

[50] Iwamoto, K. S., Norman, A., Kagan, A. R., Wollin, M., Olch, A., Bellotti, J., Ingram, M., Skillen, R.: The CT scanner as a therapy machine. Radiotherapy and Oncology 19, 337 - 343 (1990).

[51] Norman, A., Ingram, M., Skillen, R. G., Freshwater, D. B., Iwamoto, K. A., Solberg, T. D.: X - ray phototherapy for canine brain masses. Radiat. Oncol. Invest. 5, 8 - 14 (1997).

[52] Norman, A., Ingram, M., Cochran, S. T., Solberg, T. D., Ford, J. M.: X - ray phototherapy for Solid Tumors. Academic Radiology 5, 177 - 179 (1998).

[53] Rose, J. H., Norman, A., Ingram, M., Aoki, C., Solberg, T. D., Mesa, A.: First experience with radiation therapy of human metastatic brain tumors delivered by a computerized tomographic scanner (CTRx). Int. J. Radiation Onc. Biol. Physics 45 (5), 1127 - 1132 (1999).

[54] Solberg, T. D., Norman, A., Iwamoto, K. S.: Radiation Dose Enhancement Therapy for Brain Tumors. Phys. Med. Biol. 37 (2), 439 - 443 (1992).

[55] Mesa, A. V., Norman, A., Solberg, T. D., DeMarco, J. J., Smathers, J. B.: Dose distributions using kilovoltge X - rays and Dose Enhancement from Iodine Contrast Agents. Phys. Med. Biol. 44, 1955 - 1968 (1999).

[56] Yanch, J. C., Zhou, X. L., Brownell, G. L.: A Monte Carlo investigation of the dosimetric properties of monoenergetic neutron beams for neutron capture therapy. Radiation Research. 126 (1), 1 - 20 (1991).

[57] Yanch, J. C., Kim, J. K., Wilson, M. J.: Design of a californiumbased epithermal neutron beam for neutron capture therapy. Phys. Med. Biol. 38 (8), 1145 - 1155 (1993).

[58] Gupta, N., Niemkiewicz, J., Blue, T. E., Gahbauer, R., Qu, T. X.: Effect of head phantom size on 10B and 1 H [n, γ] 2H dose distributions for a broad field accelerator epithemal neutron source for BNCT. Med. Phys. 20 (2), 395 - 404 (1993),

[59] Pettersson, O. A., Chiangmai, S. N., Grusell, E., Larsson, B.: A facility for biomedical experiments with thermal neutrons. Phys. Med. Biol. 38 (8). 1081 - 1088 (1993).

[60] Konijnenberg, M. W., Mijnheer, B. J., Raaijmakers, C. P., Stecher - Rasmussen, F., Watkins, P. R.: An investigation of the possibilities of BNCT treatment planning with the



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

Monte Carlo method. Strahlentherapie und Onkologie. 169 (1), 25 - 28 (1993).

[61] Konijnenberg, M. W., Dewit, L. G., Mijnheer, B. J., Raaijmakers, C. P., Watkins, P. R.: Dose homogeneity in boron neutron capture therapy using an epithermal neutron beam. Radiation Research. 142 (3), 327 - 339 (1995).

[62] Wallace, S. A., Allen, B. J., Mathur, J. N.: Monte Carlo calculations of epithermal boron neutron capture therapy with heavy water, Phys. Med. Biol. 40 (10), 1599 - 1608 (1995).

[63] Pignol, J. P., Cuendet, P., Brassart, N., Fares, G., Colomb, F., M'Bake Diop, C., Sabattier, R., Hachem, A., Prevot, G.: Combined use of FLUKA nod MCNP - 4A for the Monte Carlo simulation of the dosimetry of 1OB neutron capture enhancement of fast neutron irradiations. Med. Phys. 25(6), 885 - 891 (1998).

[64] Pignol, J. P., Paquis, P., Cuendet, P., Gibon, D., Diop, C. M., Sabattier, R.: Beam collimation and bolusing material optimizations for 1O boron neutron capture enhancement of fur neutron (BNCEFN): definition of the optimum irradiation technique. Int. J. Radiation Onc. Biol. Physics. 43 (5), 1151 - 1159 (1999).

[65] Bleuel, D. L., Donahue, R. J., Ludewigt, B. A., Vujic, J.: Designing accelerator - based epithermal neutron beams for boron neutron capture therapy. Med. Phys. 25 (9), 1725 - 1734 (1998).

[66] Brugger, R. M., Herleth, W. H:. Intermediate energy neutron beams from the MURR. Basic Life Sciences. 54, 153 - 166 (1990).

[67] Wessol, D. E., Babcock, R. S., Esty, N., Frandsen, M., Harkin., Starkey, D., Voss, L., Wheeler, F. J.: BNCT - RTPE: BNCT radiation treatment planning environment. In: INEEL BNCT Research Program Annual Report 1996. Venhuizen, J. R., ed. INEEL / EXT - 97 - 00319 (1997).

[68] Shih, J. L., Brugger, R. M.: Gadolinium as a neutron capture therapy agent. Med. Phys. 19 (3), 733 - 744 (1992).

[69] Liu, H. B., Brugger, R. M., Shih, J. L.: Neutron capture therapy with 235 U seeds. Med. Phys. 19 (3), 705 - 708 (1992).

[70] Liu, H. B., Burgger, R: M., Rorer, D. C., Tichler, P. R., Hu, J. P.: Design of a high - flux epithermal neutron beam using $^{235}U$ fission plates at the Brookhaven Medical Research Reactor. Med. Phys. 21 (10), 1627 - 1631 (1994).

[71] Kleck, J. H.: Applications of positron emitting tissue activation products in high energy particle and photon therapy. Doctoral Dissertation, University of California, Los Angeles (1991).

[72] Bohm, T. D., Deluca, P. M. Jr., Cox, L. J., Maughan, R. L., Jones, D. T., Lennox, A.: Monte Carlo calculations to characterize the source for neutron therapy facilities. Med. Phys. 26 (5). 783 - 792 (1999).

[73] Dale, R. G.: A Monte Carlo derivation of parameters for use in the tissue dosimetry of medium and low energy nuclides. Br. J. Radiol. 55 (658), 748 - 757 (1982).

[74] Burns, G. S., Raeside, D. E.: Monte Carlo estimates of specific absorbed fractions for an I - 125 point source in water. Med. Phys. 10 (2), 197 - 198 (1983).

[75] Williamson, J. F., Morin, R. L., Khan, F. M.: Monte Carlo evaluation of the Sievert integral for brachytherapy dosimetry. Phys. Med. Biol. 28 (9), 1021 - 1032 (1983).

[76] Williamson, J. F.: Monte Carlo evaluation of specific dose constants in water for 125I seeds. Med. Phys. 15 (5), 686 - 694 (1988).

[77] Williamson, J. F; and Quintero, F. J.:Theoretical evaluation of dose distributions in water about models 6711 and 6702 1251 seeds. Med. Phys. 15 (6), 891 - 897 (1988).

[78] Mason, D., Battista, J., Barnett, R., Porter, A.: Ytterblum - 169: Calculated physical properties of a new radiation source for brachytherapy. Med. Phys. 19, 695 - 703 (1992).

[79] MacPherson, M. S., Battista, J. J.: Dose distributions and dose rate constants for new ytterbium - 169 brachytherapy seedts. Med. Phys. 22 (1), 89 - 96 (1995).

[80] DeMarco, J. J., Smathers, J. B., Burnison, C. M., Ncube, Q. K., Solberg, T. D.: CT-based dosimetry calculations for 125I prostate implants. Int. J. Radiation Onc. Biol. Physics 45 (5), 1347 - 1353 (1999).

[81] Wuu, C. S., Kliauga, P., Zaider, M., Amols, H. I.; Microdosimetric evaluation of relative biological effectiveness for 103Pd. 125I, 241 Am, and 192Ir brachytherapy sources. Int. J. Radiation Onc. Biol. Physics. 36 (3), 689 - 697 (1996).

[82] Fessenden, K. K., DeMarco, J. J., Solberg, T. D., Smathers, J. B., Wright, A. E., Kleck, J. H:. Measured and calculated dosimetry for the VariSource HDR source. Med. Phys. 23 (6), 1149 (1996).

[83] Wallace, S., Wong, T., Fernando, W.: Monte Carlo dosimetry of the microselectron HDR 192Ir brachytherapy source using MCNP4A. Australasian Physical and Engineering Sciences in Medicine. 21 (1), 11 - 17 (1998).

[84] Watanabe, Y., Roy, J. N., Harrington, P. J., Anderson, L. L: Experimental and Monte Carlo dosimetry of the Henschke applicator for high dose - rate 192Ir remote afterloading. Med. Phys. 25 (5), 736 - 745 (1998).

[85] Watanabe, Y., Roy, J. N., Harrington, P. J., Anderson, L. L.: Threedimensional lookup tables for Henschke



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

applicator cervix treatment by HDR 192IR remote afterloading. Int. J. Radiation Onc. Biol. Physics. 41 (5), 1201 - 1207 (1998).

[86] Williarmson,, J. F., Li, Z.: Monte Carlo aided dosimetry of the Microselectron pulsed and high dose - rate 192Ir sources. Med. Phys. 22 (6), 809 - 819 (1995).

[87] Nath, R., Anderson, L. L., Luxton, G., Weaver, K. A., Williamson, J. F., Meigooni, A. S.: Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: Recommendations of the AAPM Radition Therapy Committee Task Group No. 43. Med. Phys. 22, 209 - 234 (1995).

[88] Williamson,, J. F.: Comparison of measured and calculated dose rates in water near I - 125 and Ir - 192 seeds. Med. Phys. 18, 776 - 786 (1991).

[89] Wierzbicki, J. G., Rivard, M. J., Waid, D. S., Arterbery, V. E.: Calculated dosimetric parameters of the IO Gold 1251 source model 3631 - A. Med. Phys. 25 (11), 2197 - 2199 (1998).

[90] Wong, T., Wallace, S., Fernando, W., Schumer, W., Quong, G.: Dose errors in the near field of an HDR brachytherapy stepping source. Phys. Med. Biol. 44 (2), 357 - 363 (1999),

[91] Fessenden, K. K., De Marco, J. J., Solberg, T. D., Rege, S., Razavi, M., Smathers, J. B., Almond, P. R., Xu, Z.: Monte Carlo dosimetry for beta source selection and design for endovascular irradiation. Int. J. Radiation Onc. Biol. Physics 36 (1-suppl), 401 (1996).

[92] Li, A. N., Eigler, N. L., Litvack, F., Whiting, J. S.: Characterisation of a positron emitting V48 nitinol stent for intracoronary brachytherapy. Med. Phys. 25 (1), 20 - 28 (1998).

[93] Prestwich, W. V., Kennett, T. J., Kus, F. W.: The dose distribution produced by a 32P - coated stent. Med. Phys. 22: 313 - 320 (1995).

[94] DeMarco, J. J., Solberg, T. D., Smathers, J. B. Martin, R.: Monte Carlo Dosimetry Analysis for a new Cf- 252 Brachytherapy Source. Med. Phys. 23 (8), 1486 (1996).

[95] Liu, H. B., Bragger, R. M., Laster, B. H., Greenberg, D. D., Gordon, C. R., Warkentien, L. S.: Physical nod biological doses produced from neutron capture in a 235U foil. Med. Phys. 22(5), 591 - 595 (1995).

[96] Brockhoff, R. C., Estes, G. P., Hills, C. R., DeMarco, J. J., Solberg, T. D.: the Application of MCNPTM to Computed Tomography in Medicine. Los Alamos National Laboratory Report, LAUR - 96 - 135 (1996).

[97] Cagnon, C. H., McNitt - Gray, M., DeMarco, J. J.: Simulation of CT scanner geometry and physics using Monte Carlo methods. Med. Phys. 26 (6), 1063 - 1064 (1999).

[98] Jansen, J. T., Geleijns, J., Zweers, D., Schultz, F. W., Zoetelief, J.: Calculation of computed tomography dose index to effective dose conversion factors based on measurement of the dose profile along the fan shaped beam. Br. J. Radiol. 69 (817), 33 - 41 (1996).

[99] Kramer, G. H., Yiu, S.: Examination of the effect of counting geometry on 1251 monitoring using MCNP. Health Physics, 72 (3), 465 - 470 (1997).

[100] Metzger, R., Richardson, R., Van Riper, K. A.: A Monte Carlo model for retrospective analysis of shield design in a diagnostic X - ray room. Health Physics 65 (2), 164-171 (1993).

[101] Agosteo, S., Foglio Para, A., Maggioni, B.: Neutron fluxes in radiotherapy rooms. Med. Phys. 20 (2), 407 - 414 (1993).

[102] Evans, J. F., Blue, T. E.: Shielding design of a treatment room for an accelerator - based epithermal neutron irradiation facility for BNCT. Health Physics. 71 (5), 692 - 699 (1996).

[103] Al - Affan, I. A. M.: Estimation of the dose at the maze entrance for X-rays from radiotherapy linear accelerators. Med. Phys. 27 (1), 231 - 238 (2000).

[104] McGinley, P. H., Dhaba'an, A. H., Reft, C. S.: Evaluation of the contribution of capture gamma rays, X - ray leakage, and scatter to photon dose at the maze door for a high energy medical electron accelerator using a Monte Carlo particle transport code. Med. Phys. 27 (1), 225 - 230 (2000).

[105] Ling, C. C., Li, W. X., Anderson, L. L.: The relative biological effectiveness of I - 125 and Pd - 103. Int. J. Radiation Onc. Biol. Physics. 32, 373 - 378 (1995).

[106] Zellmer, D. L., Shadley, J. D., Gillin, M. T.: Comparisons of measured biological response and predictions from microdosimetric data applicable to brachytherapy. Radiat. Prot, Dosim. 52, 395 - 403 (1994).

[107] Wallace, R. E., Fan, J. J.: Evaluation of new brachytherapy 125I source by AAPM TG - 53 formalism. Med. Phys. 25, 2190 - 2196 (1998).

[108] Cross, W. G, Freedman, N. O., Wong, P. Y: Beta - ray dose distributions from point sources in an infinite water medium. Health Physics. 63 (2), 160 - 171 (1992).

[109] Simpkin, D. J., Mackie, T. R.: FGS4 Monte Carlo determination of the beta dose kernel in water. Med. Phys. 17, 179 - 186 (1990).■

☆ ★ ☆



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# معالجة السرطان باستخدام النظيرين Bi-213 و Ac-225 في مداواة مناعية إشعاعية★

ك. أبوستوليدس، ر. كارلوس ماركيز، و. يانسنز، ر. مولينت، ت. ميكولا، علي عوضي
معهد عناصر ما بعد اليورانيوم - قسم الكيمياء النووية - كارلسروه - ألمانيا.

ملخص

**تُعدّ المداواة المناعية الإشعاعية علاجاً مبتكراً للسرطان يجري فيه ربط شحنة مشعة مع حامل نوعي لخلية سرطانية بهدف إحداث قتل انتقائي لخلايا ورمية مستهدفة.**

**الكلمات المفتاحية: مداواة مناعية إشعاعية، مداواة مناعية بأشعة ألفا، مصدرات ألفا، جسم ضدي أحادي النسيلة، مولد النظير Bi-213، مرافق مشع، النظير Bi-213، النظير Ac-225، أورام نقيلية مكرورية، متمخلبات، سرطانات صفاقية، النظير Ra-224، التهاب الفقار الرثياني**

منذ سنوات عديدة والتشعيع يستخدم في معالجة السرطان سواء بتبئير حزمة خارجية بشكل مباشر فوق الخلايات السرطانية أو بجلب نظائر مشعة (كاليود - 131) إلى منطقة وجود الخلايا السرطانية المراد التخلص منها، كالغدة الدرقية. وفي أوائل الثمانينيات، اكتسبت الطريقة الأخيرة مزيداً من الاهتمام مع تطوير مواد تقترن انتقائياً مع مستقبلات خلوية (متتاليات بروتينية مميزة يعبَّر عنها من قبل الخلايا) يجري التعبير، أو الإفراط بالتعبير، عنها بواسطة خلايا سرطانية فقط - مع أنه يُلجأ في بعض الحالات إلى استهداف المجموعة الخلوية بكاملها والتي قد تشمل خلايا سليمة.

إن المبدأ التشغيلي لهذا العلاج مشابه لطريقة أداء وظيفة الجهاز المناعي الذي تُصنَّع فيه الأجسام الضدية من أجل تحديد هوية "الجسيمات" (التي تتنوع ما بين جزيئات صغيرة و بكتيريا ومواد أخرى تشتمل على خلايا غريبة) والتي تعد بدورها غزاة دخيلة في جسم الإنسان.

ونظراً لأن الخلايا السرطانية لا تستطيع تنبيه الجهاز المناعي للمريض، يجري حقن الخلايا السرطانية للإنسان إلى داخل ثدييات أخرى (الفئران عادةً) حيث يتم تنبيه الجهاز المناعي. ويجري حصاد الخلايا البيضاء البائية B - white cells المسؤولة عن تصنيع الجسم الضدي؛ ويحوي الحوض الخلوي الناجم عن ذلك عدة أنواع مختلفة من الأجسام الضدية [ توجد خمسة أصناف من الأجسام الضدية -IgM، IgG، IgE، IgD، IgA- تشكل عائلة البروتين المعروفة باسم "غلوبولين مناعي" immunoglobulin (Ig)] قبالة مستقبلات مختلفة على الخلايا السرطانية.

تُنمّى الخلايا المحصودة في الزجاج، وتقسم عدة مرات إلى مجموعات فرعية sub populations إلى أن يتم عزل مجموعة فرعية منها تصنع نوعاً واحداً فقط من الجسم الضدي (جسم ضدي أحادي النسيلة monoclonal antibody) قبالة جزء نوعي على مستقبِل الخلية السرطانية. وحيث أن البروتينات (الأجسام الضدية) المأخوذة من ثدييات أخرى تنبه أيضاً النظام المناعي لدى الإنسان، لذلك يُلجأ، لمرات عديدة، إلى هندسة الأجزاء غير الحرجة للأجسام الضدية بطرائق تقانة حيوية كي تنسجم مع بنية الجسم الضدي البشري. وهناك عامل حيوي في المداواة المناعية الإشعاعية، وهو العلاج الجديد للسرطان، يجري تشكيله بواسطة أجسام ضدية أحادية النسيلة بالاشتراك مع بروتينات نوعية للخلية السرطانية أخف وزناً [مثل البيتيدات أو شُدَف الجسم الضدي التي يطلق عليها Fab- و F(ab·)2-، والتي تعد أجزاء نوعية للجسم الضدي مشتملة على سلاسل بروتينية تقوم بالتعرف على مستضد ما (مستقبل)].

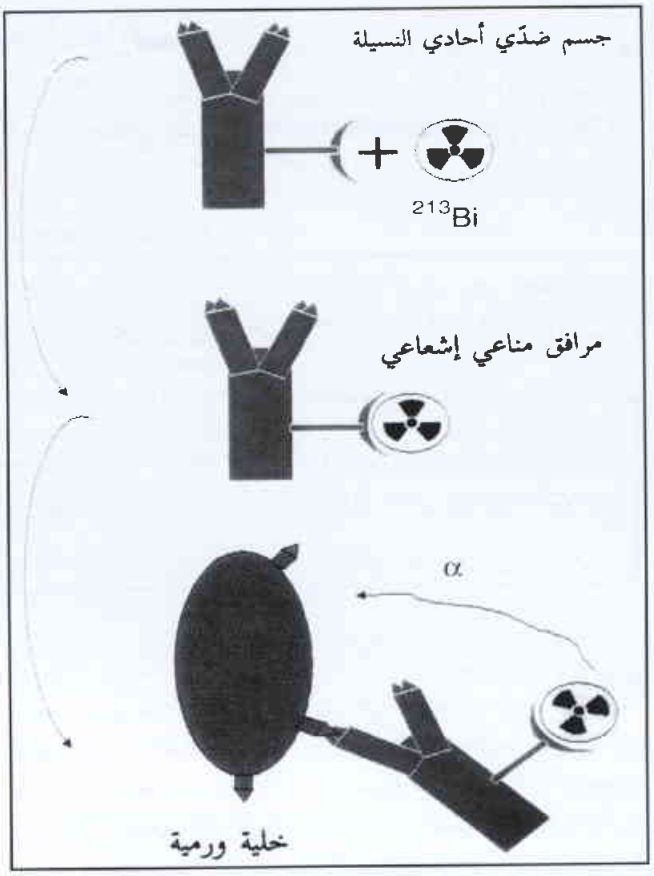
وتعد المداواة المناعية الإشعاعية علاجاً مبتكراً للسرطان يجري فيها ربط شحنة مشعة (رصاصة) مع حامل نوعي لخلية سرطانية (مثل جسم ضدي أحادي النسيلة) من أجل تحقيق قتل انتقائي للخلايا الورمية المستهدفة (انظر الشكل 1). وخلال الاضمحلال الإشعاعي للنظير المحقون قد يصدر فوتون (جسيم ضوئي) أو حتى جسيم أثقل وزناً، مثل نواة الهليوم (جسيم ألفا)، يقوم بصدم الخلية السرطانية. وتبعاً لحجم طاقة الجسيم الصادم، سيتولد، على طول مساره، تخريب خلوي لاعكوسي - يزيد أو ينقص. ولهذا، نجد، في الحالة المثالية، أن الخلايا السليمة لاتتأثر بالتخريب الناجم عن الاضمحلال الإشعاعي الآنف الذكر.

وجنباً إلى جنب مع اكتشاف الأجسام الضدية الأحادية النسيلة والبيتيدات كحوامل سرطانية نوعية نموذجية، ظهرت المداواة المناعية الإشعاعية قبل حوالي 15 عاماً مستخدمة نكليدات مشعة مصدرة لجسيمات بيتا. ويتمتع هذا النوع من النكليدات بنقل خطي للطاقة (LET) منخفض نسبياً، الأمر الذي يعني أن طاقة اضمحلالها ستتوضع بشكل جزئي فقط فوق الخلايا السرطانية المستهدفة؛ أما الجزء المتبقي من هذه الطاقة فسوف يؤثر في الخلايا السليمة (مفعول تقاطع النيران cross-fire effect). ولحل هذه المشكلة، انزاحت بؤرة أبحاث

★ نشر هذا المقال في مجلة *Nuclear News*, December 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية




**الشكل 1**- مبدأ التشغيل للمداواة المناعية بأشعة ألفا: ترافق ومزاوجة مرافق مناعي إشعاعي مصدر لأشعة ألفا.

المداواة المناعية الإشعاعية إلى نكليدات تصدر إما إلكترونات أوجيه Auger-electrons أو جسيمات ألفا. ويتمتع نوعا الجسيمات كلاهما بقيم LET عالية، كما تتوضع طاقتاهما فوق عدد قليل من الأقطار الخلوية؛ لكن استخدام إلكترونات أوجيه يبقى محدوداً إذ لابد أن يجري تسديدها إلى موضع قريب جداً من الدنا (DNA) في نواة الخلية السرطانية، وبالتالي تتطلب الطريقة عدداً كبيراً من الاضمحلالات كي تكون مؤثرة وفعالة.

وبالمقارنة، تكون مصدرات ألفا فعالة جداً في تحريض ظاهرة الموت الخلوي المبرمج apoptosis داخل الخلية السرطانية وتستطيع ذلك حتى من خلال اضمحلال مفرد واحد. لهذا، يُعتقد أن مصدرات ألفا المرتبطة بحوامل نوعية للورم ستكون جذّابة وبخاصة في علاج السرطانات المحمولة بالدم وكذلك الأورام النقيلية المكروية micrometastatic tumors (وأعني بذلك تلك الحالات التي تكون فيها الخلايا السرطانية موجودة نموذجياً في أرجاء الجسم كافة ولو بكميات صغيرة نسبياً) حيث لا يكون مجدياً فيهما العلاج بالجراحة أو التشعيع الخارجي. ويُتوقع أن يكون مفضلاً استخدام المداواة المناعية الإشعاعية بجسيمات ألفا في حالة الأمراض المتبقية الأصغرية minimum residual diseases (كما هو الحالة بعد جرعة عالية من المعالجة الكيميائية) أو بعد الجراحة التي يتبقى فيها كميات صغيرة من الخلايا السرطانية منتشرة إما موضعياً أو في أرجاء الجسم كافة.

## اختيار مصدر ألفا

اقترحت عدة نظائر مصدرة لألفا من أجل استخدامها في المداواة المناعية الإشعاعية، كما تم إجراء بعض الدراسات عليها خلال السنوات الأخيرة الماضية (انظر الجدول 1)، ونذكر منها ما يلي: البزموت -212، و Bi-213، والأكتينيوم -225 (وهو النكليد الأم للنظير Bi-213)، والأستاتين -211، والراديوم -223 و Ra-224، والتربيوم -149. ومهما يكن من أمر، مازالت هذه النظائر كافة عرضة لبعض العوائق، وهي لهذا السبب لم يُبدأ بعد باستخدامها على نطاق واسع.

وكأمثلة على المشاكل التي ووجهت أثناء تطوير المداواة المناعية الإشعاعية بمصدرات ألفا نذكر ما يلي: التراكم اللانوعي وغير المرغوب، في أعضاء وأنسجة محددة، لمرافق مشع radioactive conjugate، (مركّب نظير مشع مع حامل متمخلب carrier-chelate-radioisotope construct) أو التحرر في الحي لنكليد مشع، أو انبعاث غاز الرادون أو نظائر مصدرة لأشعة غاما عالية الطاقة عند تصنيع واضمحلال سلسلة النكليدات المشعة.

وتبين فيما بعد أن النظير Bi-213 (بعمر نصف قدره 45 دقيقة) هو الأكثر جاذبية وسحراً بين النكليدات المشعة المصدرة لألفا؛ حيث يوجد، ضمن سلسلة اضمحلال هذا النظير، جزء صغير فقط من النكليدات الوليدة المصدرة لإشعاعات غاما القاسية، كما يتمتع هذا النظير بكيمياء سهلة (أي من الممكن بسهولة فصله عن النكليد الأم ومزاوجته مع

الجدول 1- مصدرات ألفا من أجل المداواة المناعية الإشعاعية.

| النكليد | عمر النصف | طاقة جسيم α | ملاحظات | إنتاج (مولد =cow) |
|---|---|---|---|---|
| $^{213}$Bi | 45.6 min | 6 MeV | النكليد الأم $^{225}$Ac | $^{225}$Ac/$^{213}$Bi-cow |
| $^{225}$Ac | 10 d | 6 MeV | النظائر الوليدة<br>$^{221}$Fr (4.9 min; 6 Mev),<br>$^{217}$At (32.3 ms; 7 MeV),<br>$^{213}$Bi (see $^{213}$Bi) | $^{226}$Ra (p,2n)$^{225}$Ac<br>$^{229}$Th/$^{225}$Ac-cow |
| $^{212}$Bi | 1.0 h | 6 MeV/9 MeV | النكليد الأم $^{212}$Pb | $^{228}$Th-$^{224}$Ra decay |
| $^{212}$Pb | 10.6 h | مصدر - β | مولد في الحي للنظير $^{212}$Bi | |
| $^{224}$Ra | 3.6 d | | النظائر الوليدة<br>$^{220}$Rn (55.6 s; 6 MeV),<br>$^{216}$Po (0.15 s; 7 MeV),<br>$^{212}$Pb (See $^{212}$Pb and $^{213}$Bi) | |
| $^{223}$Ra | 11.4 d | 6 MeV | النظائر الوليدة<br>$^{219}$Rn (4s; 7 MeV),<br>$^{215}$Po (1.8 ms; 7 MeV),<br>$^{211}$Pb (36.1 min; β-emitter),<br>$^{211}$Bi (2.1 min; 7 MeV) | $^{227}$Ac/$^{224}$Ra-cow |
| $^{211}$At | 7.2 h | 6 MeV/7.5 MeV | | $^{207}$Bi(α,2n)$^{211}$At |
| $^{149}$Tb | 4.15 h | 4 MeV | من الاضمحلالات تصدر جسيمات α %17 | تشظية بروتونات نتال |
| $^{255}$Fm | 20.1 h | 7.0 MeV | النكليد الأم $^{255}$Es | أسر نتروني متعدد للكوريوم |

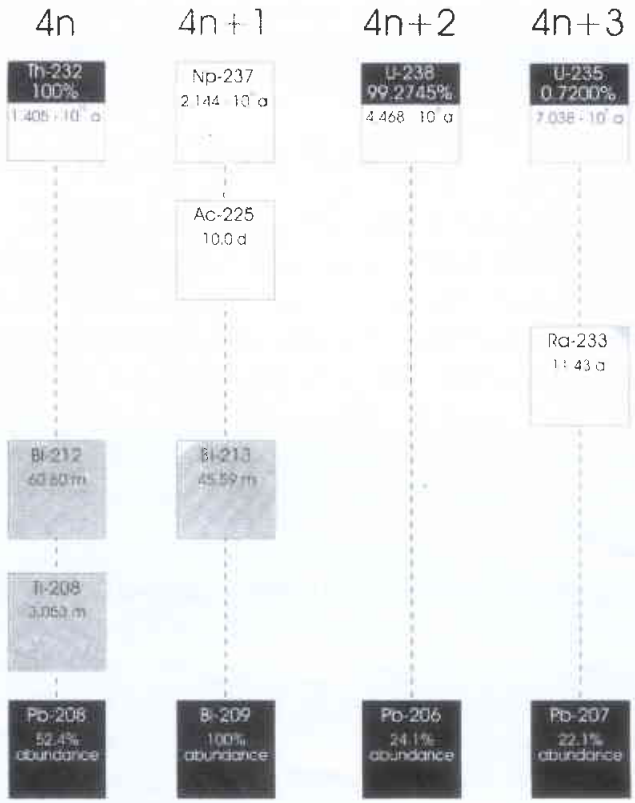


هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

الحوامل)، كذلك بالإمكان توفيره ييسر للمشافي ضمن مولّد نكليد مشع وبرفقة نكليده السلف Ac-225 (بعمر نصف قدره 10 أيام) وبشكل لا يظهر معه أي وجود للرادون ضمن مخطط اضمحلاله. على أية حال، كان غياب المقدرة على إنتاج كافي ونظيف من النظير Ac-225 عائقاً هاماً في استثمار النظير Bi-213.

وبالفعل، ينتمي النظير Ac-225 إلى سلسلة اضمحلال ألفا منقرضة - بمعنى أنها غير متاحة بعد الآن في الطبيعة (انظر الشكل 2)- جرى إحياؤها فقط بسبب برامج نووية عسكرية أمكن خلالها مصادفة كميات صغيرة جداً من الثوريوم - 229، وهو النكليد الأم للنظير Ac-225، ضمن النفاية النووية. والكميات المتاحة من الـ Th-229 محددة جداً لأنه يُعدّ النكليد الوليد لليورانيوم -233 (وهو نظير اليورانيوم الذي تم تصنيفه أساساً عبر برامج التسلح النووي). وبسبب مجازفات خطرة، فإنه من الصعب جداً التعامل مع الـ U-233 بكميات كبيرة وفي حالة سائلة. وأحد العوامل الأخرى المحددة هو أن الـ Th، بعد فصله مباشرة من اليورانيوم، لابد من تخزينه لمدة 10-20 سنة، ذلك لأن الـ Th-228 موجود أيضاً ضمن مخزونات اليورانيوم -233 وله سلسلة اضمحلال تتضمن نكليدات مشعة مصدرة لإشعاعات غاما عالية الطاقة.

وفي معهد عناصر ما بعد اليورانيوم (ITU)، في مدينة كارلسروه بألمانيا، تمّ عزل 215 ملّيغرام من الـ Th-229 والتي يمكن أن يستخلص منها تحت شروط التوازن حوالي 37 mCi من النظير Ac-225. وقد كان ممكناً، خلال عدة سنوات، فصل النظير Ac-225 من مصدر Th-229 على فترات ما بين شهر واحد وشهرين وبنسبة استرداد تزيد على 95% من




**الشكل 2**- سلاسل اضمحلال طبيعية (خريطة كارلسروه للنكليدات، 1995).

النشاط النظري[1]. وحتى عندما يجري جمع الكمية الآنفة الذكر مع ضآلة مقدارها من مصدر مماثل متوفر لدى "مختبر أوك ريدج الوطني"، فإنها ستكون، إلى حد بعيد، غير كافية لتغطية الطلب الفعلي على كل من النظيرين Ac-225 ، Bi-213.

## إنتاج مصدرات ألفا

عالج الباحثون لدى ITU المشكلة المذكورة آنفاً حول الإتاحية المحدودة للنظير من خلال تطوير وتسجيل براءة اختراع أساليب مختلفة لإنتاج Ac-225. وتبين أن أكثر الطرائق نجاحاً وموثوقية هي تشعيع الراديوم -226 بالبروتونات داخل السيكلوترون، حيث ينتج Ac-225 عبر التفاعل p,2n، بمعنى أن Ra-226 يُصدِر، عند امتصاصه بروتوناً، نترونين لينتج Ac-225. كذلك، ينتج عبر التفاعل p,pn مقدار صغير من الـ: Ra-225 والذي يصبح بعد ذلك Ac-225 بواسطة اضمحلال بيتا.

واعتماداً على تشعيع 30 mCi للنظير Ra-226 داخل السيكلوترون، أمكن بالحساب استنتاج أن تشعيع 1Ci لـ: Ra-226 سيزوّد، تحت شروط مناسبة وخلال فترة يومين اثنين، ما يزيد على 1Ci من النظير Ac-225. ويتوفر حالياً لدى ITU ما يزيد على 100 Ci من النظير Ra-226، ويتوقع من المقدرة الإنتاجية الناجمة (والتي يمكن في حدها الأعلى أن تبلغ 1200 مولدة Bi-213 تُولّد كل منها 50 mCi/ سنة من Ac-225 باستخدام سيكلوترون واحد فقط) أن يتم بسهولة توفير المقدار المطلوب من النظير Ac-225 واللازم لأي تجارب سريرية واسعة النطاق ولأي استخدامات مستقبلية.

ولتحقيق الهدف المذكور " آنفاً تمّ بالتعاون مع قسم السيكلوترون التابع لمركز أبحاث كارلسروه" (وهو واحد من مراكز الأبحاث الوطنية الألمانية) بناء تجهيزات ذات وظيفة خاصة يمكنها أن تشعع حتى غاية 1غ من الـ Ra-226 مرة كل أسبوعين. تتألف هذه التجهيزات من قاعة منفصلة تُؤوي خط حزمة سيكلوترونية مُجّهز بصندوق قفازي ذي تصميم خاص، وبتدريع حيوي ثقيل، إضافة إلى آلية بالهواء المضغوط للتعامل مع الهدف، وآلية مؤتمتة لكشف التسرب (انظر الشكل 3).

إن استخدام حاويات نقل ذات وظيفة خاصة يُتيح عملية النقل من وإلى الخلية الحارة للراديوم الموجودة لدى ITU. وقد جرى بناء خط متكامل لنقل العينة وجلب الأكتينيوم الذي تم فصله إلى داخل صندوق قفازي مُدرَّع، وذلك بهدف مراقبة الجودة (مطافية ألفا وغاما) قبل تكييف المولد النهائي للنكليد المشع وتهيئته للشحن إلى المشافي.

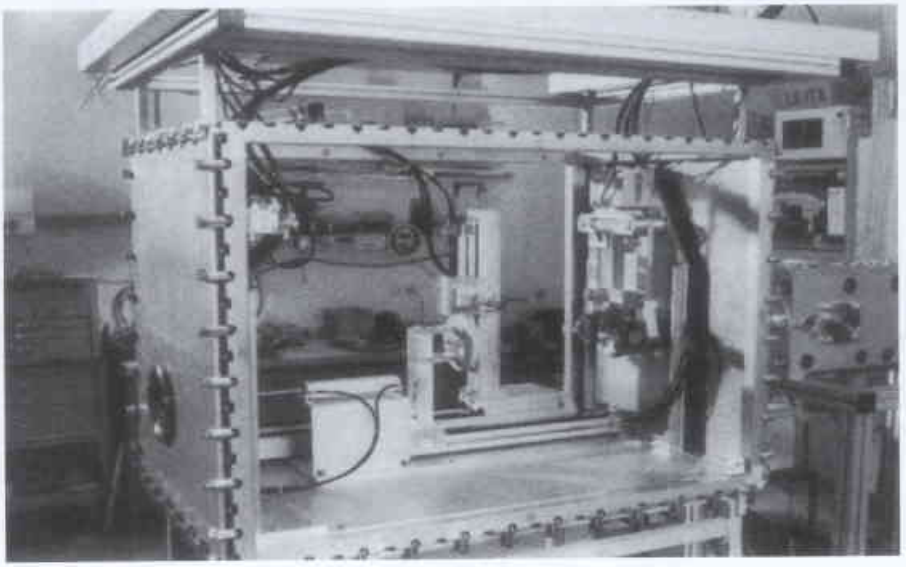
## تطوير مُولّد Bi-213

لم يقتصر النشاط البحثي لـ: ITU على إنتاج النظائر فقط بل تعداه ليشمل أيضاً تطوير التعامل الأمين والمعول عليه والفعال مع هذه النظائر داخل المشافي. وكان تحسين كل من عمليات الفصل الكيميائي وتقنيات تحميل المولّد واستراتيجيات الغسل (وأعني بذلك طريقة الحصول على الـ Bi-213 من مبادل أيوني) باعثاً على إيجاد مولد نكليد مشع ودود للمشافي وعالي الجودة (انظر الشكل 4).

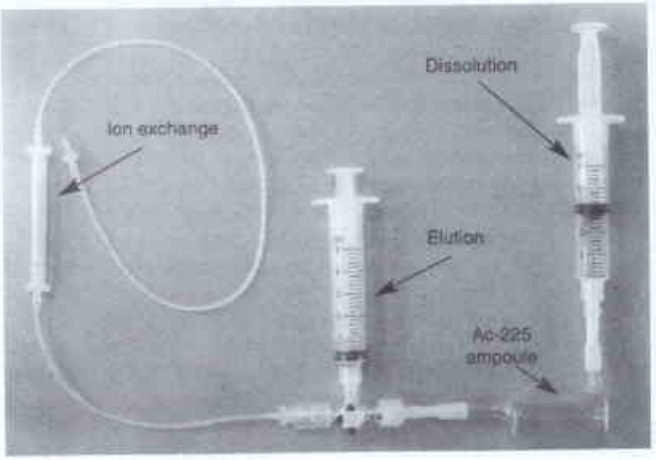
والنافذ النموذجي للأكتينيوم -225 [كمية Ac-225 في البزموت -213 المغسول (الناتج النهائي)] المستخدم في تجارب متلاحقة هو أقل من 0.0005% من النشاط الاشعاعي للبزموت -213. وفيما مضى، عندما



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



**الشكل 3**– صندوق القفاز الذي تم بناؤه من أجل تشعيع أهداف Ra-226 (بدون تدريع).




**الشكل 4**– مولد Bi-213، كما صنّعه معهد عناصر ما بعد اليورانيوم (ITU)، والمعدّ للشحن إلى مشافي الولايات المتحدة وأوربة.

كان يجري تخزين المولد عدة أيام (كما يحصل أثناء نقله بالطائرة) دون إجراء عملية الغسل، كان يزداد معنوياً نافذ الأكتينيوم -225 بفعل التحليل الاشعاعي. لقد أمكن حالياً حل هذه المشكلة بإيجاد طريقة تحضير جديدة للمولد تتيح إجراء توزع للنظير Ac-225 أكثر تجانساً عبر حجم عمود المبادل الأيوني. وفي المشفى، يمكن لمردود Bi-213 من مولد التكليد المشع أن يحقق استرداداً يقدر في حدود 80-95% من النشاط الإشعاعي المحسوب للأكتينيوم -225 خلال عدة أسابيع.

## اختيار المتمخلب والحامل

تتطلب معالجة نوع محدد من السرطان، إلى جانب إتاحية النظير، اختياراً مناسباً للحامل النوعي specific carrier (الجسم الضدي أحادي النسيلة، أو الببتيد، أو أحد الجزيئات الحيوية الأخرى) وللمتمخلبة chelate (الجزيء العضوي الذي يؤمّن الارتباط بين النظير والحامل).

وفي الوقت الراهن، تستخدم غالبية التجارب السريرية التي يدخل فيها البزموت -213 كمادة متمخلبة، إما مزكب CHX-A-DTPA الذي قامت بتطويره المعاهد الوطنية للصحة في مدينة واشنطن د. س. أو أحد مشتقات - 1,4,7,10) tetraazacyclodecane-1,4,7,10 - DOTA (tetraacetic acid. ولازالت أعمال التطوير مستمرة لإيجاد متمخلبات أخرى (وبخاصة من أجل استخدام مباشر للأكتينيوم – 225). واعتماداً على نماذج عددية، فإن أكثر المركبات الواعدة هي التي يجري اصطناعها واختيارها بالتعاون ما بين ITU وشركة فرنسية تدعى شيلاتك Chelatec في مدينة Nantes. والاختيار النهائي للمتمخلب يعتمد أيضاً على الحامل الأكثر مواءمة. وتُعد الأجسام الضدية الأحادية النسيلة أو الببتيدات الحوامل الأكثر استخداماً حتى تاريخه.

لكن الاهتمام آخذ في الاتجاه نحو استخدام شُدَف Fab- للجسم الضدي أو سلسلة مفردة للأجسام الضدية، أو نحو استخدام أجسام ضدية ثنائية أو ثلاثية أو رباعية، وذلك حسب التصور المرغوب فيه سواء أكان استهدافاً مباشراً (أي حقن، داخل الوريد للنظير المقترن بحامل نوعي للسرطان أو توجهاً متعدد المراحل (بداية، يتاح فيه لجزيء نوعي للسرطان أن يتراكم فوق الخلايات السرطانية كما تجري تصفية الجزيء غير المرتبط من الأعضاء غير المستهدفة، ومن ثم حقن الجزيء الصغير مع النظير المشع والذي يتعرف على الجزيء النوعي للسرطان). ومعروف أن الاستهداف ذا المرحلتين المذكور آنفاً يعمل على زيادة الانتقائية وسرعة الاستهداف كلتيهما، ولهذا فإنه جذاب خصوصاً من أجل استخدام البزموت -213.

## تجارب سريرية في الولايات المتحدة وأوربة

أجريت أول دراسة سريرية، خاصة بالطور I لحالة ابيضاض الدم leukemia استخدم فيها ضدي موسوم بالنظير Bi-213، لدى مركز أبحاث السرطان في مدينة نيويورك والمعروف باسم Memorial Sloan - Kettering Cancer Center (MSKCC)؛ وقد نُفّذت هذه الدراسة خلال الفترة ما بين 1996– 1999 وتضمنت 19 مريضاً. وأعطيت أعلى جرعة (50 MBq/kg) للمرضى المعانين من ابيضاض نقوي منتكس أو حرون relapsed or refractory myeloid leukemia حيث تبين أنها لاتزال دون سوية أعلى جرعة يمكن تحملها.

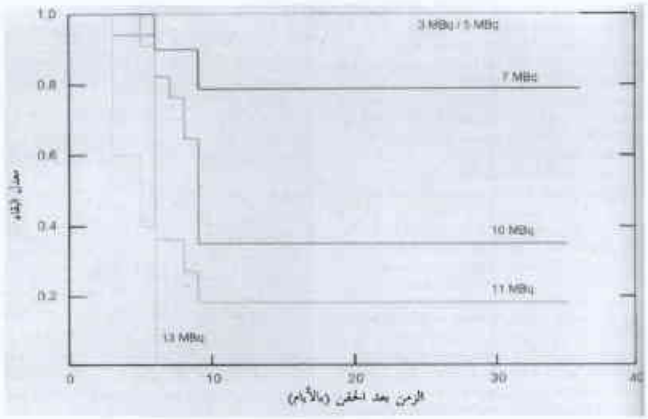
وكانت النتائج الرئيسة من دراسة الطور I هي أن التركيبة Hu M195- CHXA-DTPA-Bi-213 تعد تركيبة آمنة، وأن نسبة الجرعة الممتصة ماين وزن كل من النُقي والكبد والطحال وكامل الجسم تكون أعظم بمقدار ألف ضعف عن تلك التي لوحظت عند استخدام نكليدات مشعة مصدرة لجسيمات بيتا [2]. وفي حزيران 2001، بدأت في مركز أبحاث السرطان MSKCC دراسة جديدة للطور II استخدمت فيها التركيبة Bi-213 -Hu M-195؛ وكان هدف هذه التجربة الجديدة دراسة نجاعة التركيبة Bi-213 لدى مرضى سبق لهم أن تعرضوا لمعالجة كيميائية معيارية.

وقد قدّم الباحث دافيد شاينبرغ (M.D., Ph. D.)، وهو الذي ترأس التجارب المجراة لدى MSKCC، وجهة نظره بشأن مستقبل المداواة المناعية بأشعة ألفا فاستطرد قائلاً: "لقد اجتازت، حالياً، المداواة بجسيمات ألفا المستهدفة الاختبار الأولي لإثبات الفكرة، حيث أظهر هذا الاختبار أنه بالإمكان عملياً تصنيع أجسام أحادية النسيلة، موسومة إشعاعياً بذرات مصدرة لجسيمات ألفا، وضمان إيصالها إلى خلايا سرطانية بشرية موجودة داخل المرضى المصابين بها. وإني أتوقع في السنوات الخمس القادمة حدوث توسع سريع لهذا الأسلوب في المعالجة بحيث يشمل عدداً من أنواع الأورام الأخرى وحالات مرضية غير خبيثة. وسوف تشمل مجالات النمو السريع تلك الأنواع من الأورام التي أضحى يتوفر لها، وبشكل مؤكد، منظومات للمستضد والجسم الضدي antigen antibody systems، والتي ينطوي تحت لوائها أجسام ضدية لكل من اللمفومات lymphomas، وسرطان الموثة(البروستات)، وربما أيضاً سرطان الثدي وسرطان القولون. إضافة لما سبق، من الممكن أيضاً إجراء اختبار لاستخدام جسيمات ألفا في الانسان من أجل قتل خلايا مصابة بالفيروس، كما هو الحال في خلايا مصابة بالفيروس HIV (نقص المناعة المكتسب). وفي هذه المرحلة، يبدو أنه أمكن، إلى حد كبير، التغلب على عوائق أساسية ( كالإمداد المحدود للنظير أو للمتمخلبات غير الموائمة) حالت دون استخدام واسع للمعالجة بجسيمات ألفا. ولاشك بأن الجهود المستمرة لإنتاج كميات كبيرة من النظير ذي التكلفة المنخفضة ستكون المفتاح لتحقيق أعظم انتشار سريع لطريقة العلاج هذه".

وتم إجراء أول معالجة لمريض بالمداواة المناعية بأشعة ألفا في نيسان من عام 2000 في مدينة بازل بسويسرة وذلك بحقن موضعي لتركيبة Bi-213/DOTA/peptide في مريضين يعانيان من ورم الأرومة الدبقية glioblastoma (ورم دماغي خبيث). وقد شجعت النتائج الأولى على توسيع التجربة لتشمل عشرة مرضى، لكن التنظيم الجديد للأمان الإشعاعي في سويسرة أدى إلى تأخير التنفيذ.

وبتمويل من المفوضية الأوربية، بدأت في آذار 2001 الدراسات السريرية للطور I من لمفوم اللا - هودجكن non- Hodgkin's lymphoma (NHL) في المركز الألماني لأبحاث السرطان (DKFZ) في مدينة هايدلبرغ بالتعاون مع ITU والمشافي الجامعية لكل من مدينتي هايدلبرغ ودوسلدورف (في ألمانيا) ومدينتي غنت وهاسلت (في بلجيكا). وتم إجراء العمل ما قبل السريري في المعاهد المذكورة آنفاً، بينما ساهم ITU في تطوير واختبار المتمخلبات لمزاوجة Bi مع الأجسام الضدية وفي إثبات فعالية التركيبة الموسومة بالنظير Bi-213 فوق الخطوط الخلوية ذات الصلة.

وفي مركز أبحاث DKFZ، تمّ اختبار الثبات، في الحي، للمرافقين المناعيين الإشعاعيين: Bi-213-CHX-A"-CD19 و Bi-213-CHX-A"-CD20، كما تم تقييم سميتهما في الفئران (انظر الشكل 5). وقد أشارت البيانات إلى أنه من المتوقع أن يكون المترافقان المذكوران كلاهما آمنين وفعالين جداً وذلك بسبب القدرة العالية لمصدرات ألفا على قتل الخلايا. وفي الوقت نفسه، عولج تسعة مرضى بداء NHL، لدى ثلاثة مشاف ألمانية مختلفة، بثلاث سويات للجرعة الإشعاعية (15mCi، و 30mCi، و 45mCi، من Bi-213). هذا، وسوف تستخدم في المستقبل سوية جرعة أعلى مما سبق ذكره، كما سيُخطط




**الشكل 5**– تقييم سمية المرافق المناعي الإشعاعي Bi-213-CD20 في الفئران.

للتوسع في الاستخدام الآنف ذكره ليشمل مراكز أخرى، كمشفى الجامعة في مدينة غنت Ghent (بلجيكا).

وبالتعاون مع قسم الطب النووي في جامعة غوتنغن - جورج - أوغست (ألمانيا)، تمّ ، في عام 2000، إنهاء مشروع الاختبار ما قبل السريري لتطبيق المعالجة بأشعة ألفا على سرطان القولون مع استخدام بتيدات بطريقة استهداف مباشر. وقد بين المشروع المذكور أن لبتيد DTPA-(D-Glu1)minigastrin [وهو بتيد صنعي يتعرف على مستقبلات الكوليسيستوكينين -B- غسترين CCK-B-gastrin receptors التي يجري فرط التعبير عنها في أنواع سرطانية محددة، كما هو الحال في سرطان القولون] امتصاصاً سريعاً ونوعياً داخل أنسجة "مستقبل -CCK-β"، كما أن له ثباتاً في الحي أعلى من مشتقاته التقليدية. وقد تمّ التأكيد على أن مصدرات (أوجيه و α) تكون، من الناحية العلاجية، أعظم فعالية من مصدرات β التقليدية عند استخدام شدف Fab والجسم الضدي IgG، وأن فعاليتها هذه قد تكون أعظم حتى بمقدار ضعفين إلى ثلاثة أضعاف في حال استخدام بتيد المينيغاسترين [3].

ويجري حالياً، بالمشاركة مع معهد INSERM (Institut National de la Sante et de la Recherche Medicale)، وهي مؤسسة بحثية وطنية حكومية ذات توجه طبي) في مدينة نانت (فرنسة)، تنفيذ مشروع حول فعالية العلاج المناعي بأشعة ألفا الثنائي المرحلة باستخدام طريقة الاستهداف المسبق ( طريقة المراحل المتعددة التي تم شرحها أعلاه). وكان هدف المشروع دراسة فعالية هذه الطريقة – والتي قد تكون، على سبيل المثال، لمستضد CEA– معبّر عن أورام شبيهة بسرطان الدرقية اللبي النقيلي metastatic medullary thyroid cancer. أما الهابتن hapten (جزيء عضوي صغير يتعرف على الحامل النوعي) المستنبط حديثاً فهو ببتيد – LM موسوم بالنظير Bi-213 يمكن اصطناعه باستخدام تقنيات تم تطويرها مؤخراً لتعطي نقاوة كيميائية إشعاعية وتفاعلية مناعية تراوح ما بين 85 و 90% (وهذا يعني، أنه بعد مزاوجة النظير بالببتيد، ستُصان إلى حد كبير قدرة المستضد في التعرف على الببتيد). وقدمت دراسات التوزع الحيوي على الفئران العارية - والتي قورنت فيها تقنية الاستهداف المباشر باستخدام الجسم الضدي F6-Bz-DTPA-Bi-213 مع تقنية الاستهداف المسبق باستخدام الجسم الضدي الثنائي النوعية F6-739- نتائج واعدة فيما يتعلق بطريقة الاستهداف المسبق [4].



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

وتجري حالياً - لدى مشفى الطب النووي التابع لجامعة ميونخ التقنية (ألمانيا) - اختبارات قبل - سريرية باستخدام جسم ضدي أحادي النسيلة موسوم بالنظير 213-Bi يمكنه التعرف على جزيء الالتصاق الخلوي المطفر (أي حدث له تغيير في سلسلة أحماضه الأمينية) المعروف باسم "E-cadherin" (جزيء على سطح الخلية يقوم بربط الخلايا ببعضها البعض). ويُعدّ جزيء E-cadherin مطفراً في حوالي 50% من نوع منتشر لسرطان المعدة يتميز بانتشار الورم داخل الصفاق (وأعني بذلك سرطان معدة مع خلايا سرطانية ضمن السائل المحيط بالمعدة). وارتفع، في الفئران، معدل البقاء على قيد الحياة ليبلغ 108 أيام بالمقارنة مع 30 يوماً في مجموعة الشاهد غير المعالجة، وذلك بعد حقن المجوعة التجريبية بجرعة من الجسم الضدي الموسوم بالنظير 213-Bi قدرها 22 MBq. هذا، وتناقصت قيم الخلايا البيضاء في دم الفئران بعد ثلاثة أيام من المعالجة، بينما حدث استرداد لقيم ما قبل المعالجة في اليوم 25 بعد الحقن. وتشير النتائج إلى إمكانية واعدة للجسم الضدي النوعيّ الورم الموسوم بالنظير 213-Bi من أجل معالجة السرطانات الصفاقية، وذلك بعد الحقن موضوعياً في منطقة الاصابة.

## تعزيز وتشجيع المداواة المناعية بأشعة ألفا

قام معهد ITU في مدينة كارلسروه، في كل من عامي 1997 و 2000، بتنظيم ندوة علمية للمداواة المناعية بأشعة ألفا تهدف إلى تبادل الخبرة وتعزيز هذه الطريقة الجديدة في معالجة السرطان. وقد حضر الندوتين المذكورتين ما يزيد على 50 مشاركاً عالمياً (من الولايات المتحدة، وكندا، وأستراليا، وبلدان أخرى)، ممن يعملون في قطاع الطب النووي ومعالجة الأورام وناقشوا فيهما الوضع الحالي، ومدى التقدم الحاصل، وكذلك خطط التطوير المستقبلية لطريقة المداواة المنوه بها. وتمّ التخطيط لندوة علمية ثالثة تعقد في معهد ITU في أوائل عام 2002 بحيث تشتمل على مشاركة من شركات الصيدلانيات الإشعاعية التي ستساهم مستقبلاً في تطوير واستثمار طريقة المداواة الجديدة هذه.

## التوقعات المستقبلية للمداواة المناعية الإشعاعية

من الممكن تحقيق المزيد من قدرات المداواة المناعية بأشعة ألفا وذلك عن طريق استخدام: حوامل متقدمة (كالببتيدات)، ومنظومات وصل جديدة (كالاستهداف الثنائي أو الثلاثي المرحلة)، والاستخدام المختلط (كوكتيلات) لنكليدات مشعة مصدرة لجسيمات ألفا أو بيتا أو لإلكترونات أوجيه. والهدف هو إيجاد تركيبة مثالية من السلوك الحيوي والفيزيو-كيميائي للمرافقات المناعية الإشعاعية radioimmunoconjugates.

وقد أشارت دراسات أجريت لدى MSKCC إلى كون الجسيمات الضدية الأحادية النسيلة (m Abs) الموسومة بالنظير 225-Ac ثابتة في الحي، وإلى أنها تكون فعالة ومؤثرة سواء ضد الأورام الصلبة المتمكنة أو ضد السرطان المنتشر بسويات دون السامة. و كان مخطّطاً أن تُجرى، في عام 2002 أول تجارب سريرية تستخدم mAb موسومة بالنظير 225-Ac.

وبسبب النجاحات التي أمكن إحرازها، تزداد أيضاً الأهمية بالنسبة لنظائر أخرى مصدرة لأشعة ألفا كالراديوم (Ra)، على سبيل المثال. ورغم أنه لا يتوفر، حتى تاريخه، متمخلب جيد لاستخدام الراديوم في المعالجة المناعية، تجدر الملاحظة أنه، اعتباراً من كانون الثاني (يناير) من عام 2000، تمّت المصادقة، في أوربة، على استخدام كلوريد 224-Ra في معالجة المرضى بالتهاب الفقار الرثياني ankylosing spondylitis؛ كما يتوقع، قريباً ، في النرويج إجراء تجربة سريرية تستخدم كلوريد 223-Ra في علاج حالات الاصابة بنقائل العظم bone metastases (بشكل أساسي من أجل تخفيف الألم).

## المراجع REFERENCES


[1] C. Apostolidis, M. Betti, R. Carlos-Marquez, W. Janssens, R. Molinet, T. Nikula, and A. Ouadi, "Production of carrier free actinium-225/bismuth-213 from thorium-229 for alphaimmunotherapy." J. Labelled Cpd. Radiopharm. 44 Suppl. 1(2001): 806-808.

[2] G. Sgouros, A. M. Ballangrund, J. G. Jurcic, M. R. McDevitt, J. L. Humm, Y. E. Erdi, B. M. Mehta, R. D. Finn, S. M. Larson, D. A. Scheinberg, "Pharmacokinetics and dosimetry of an α-particle emitter labeled antibody: $^{213}$Bi-HUM195 (anti-CD33) in patients with leukemia." Journal of Nuclear Medicine 40 (1999): 1935-1946.

[3] T. M. Behr, M. Behe, M. G. Stabin, E. Wehrmann, C. Apostolidis, R. Molinet, F. Strutz, A. Fayyazi, E. Wieland, S. Gratz, L. Koch, D. M. Goldenberg, W. Becker, "High-linear energy transfer (LET) α versus low-LET B emitters in radioimmunotherapy of solid tumors: therapeutic efficacy and dose-limiting toxicity of $^{213}$Bi-versus $^{90}$Y-labeled CO17-1A Fab' fragments in a human colonic cancer model." Cancer Res. 59 (1999): 2635-2643.

[4] O. Couturier, A. Faivre-Chauvet, I. V. Filip-povich, P. Thedrez, C. Sai-Maurel, M. Bardies, A. K. Mishra, M. Gauvrit, G. Blain, C. Apostolidis, R. Molinet, J. C. Abbe, R. Bataille, J. Wijdenes, J. F. Cherel, "Validation of $^{213}$Bi radioimmunotherapy for multiple myeloma." Clin. Cancer Res. 5(10 Suppl)(1999): 3165s-3170s.

[5] R. Senekowitch-Schmidtke, C. Schuhmacher, K.F. Becker, T. K. Nikula, C. Seidel, I. Becker, M. Mieder, C. Apostolidis, C. Adam, R. Huber, E. Kremmer, K. Fischer, and M. Schwaiger, "Highly specific tumor binding of a $^{213}$Bi-labeled monoclonal antibody against mutant E-Cadherin suggests its usefulness for locoregional α-radioimmunotherapy of diffuse-type gastric cancer." Cancer Res. 61 (2001): 2804-2808.■




http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# تناول جذاذة سليكون يومياً: هل سيبعد عنا الطبيب؟*

**ليغ كانهام: مدير بحوث**
**روجر آستون: مدير تنفيذي**
لدى شركة سليكون p مديكا المحدودة، وورسيسترشاير، المملكة المتحدة.

**ملخص**

**يمكن تطوير السليكون، وهو المادة الأولية في صناعة الإلكترونيات المكروية، إلى مادة ملائمة وقابلة للتحلّل حيوياً بحيث تفضي إلى غرسات implants أصغر وأذكى وأكثر تأثراً في الجسم البشري.**

**الكلمات المفتاحية: جذاذة، الإنسان البيوني، غرسة، سليكون مسامي، إلكترونيات مكروية، ملائم حيوياً، قابل للتحلّل حيوياً، مادة حيوية، مضغوطات مغلّفة، أنودة، تنميش.**

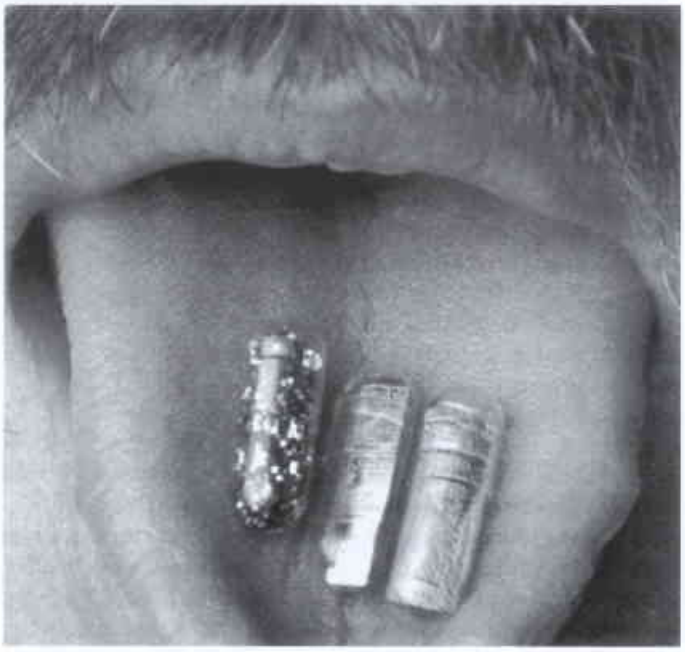
"يمكننا إعادة بناء الإنسان البيوني[1] Bionic man ولدينا لذلك التقانة والقدرة على صنع أول إنسان بيوني عالمي". هكذا كانت تبدأ في السبعينيات كل حلقة من حلقات المسلسل التلفزيوني "رجل الستة ملايين دولار"، بينما كان يحاول الجرّاحون إعادة بناء أحد ضحايا حادث سقوط طائرة ستيف أوستن وذلك بتجهيزه بأطراف "بيونية" ملائمة وبرؤية حادة. وكما برهنت شعبية المسلسل فإنّ فكرة دمج الإنسان بالآلة قد أذكت تخيلاتنا لمدة طويلة، وشكّلت أيضاً موضوع الكثير من أفلام ومسلسلات الخيال العلمي الأخرى التي تتضمن "المرأة البيونية وروبوكوب Robocop والمفتش كادجت Inspector Gadget".

على الرغم من مشاهد هوليود المفرطة إلى حدٍّ ما فقد تنامت بهدوء خلال الثلاثين سنة الماضية قدرتنا على تطوير نبائط منمنمة يمكن اغتراسها في الجسم. ويمكننا الآن إنتاج نبائط إلكترونية مهندسة بدقة ومضبوطة مثل ناظمات ضربات القلب التي أطالت أعمار الآلاف من المرضى. إنّ الكثير من التقدّم الذي تمّ، يرجع إلى استثمار الصناعة الإلكترونية الهائل لتقانة السليكون الذي قاد إلى تطوير العديد من النبائط "الذكية" لحماية البشر من الأمراض.

فقد كانت الغرسات القوقعية (في الأذن) مثلاً، أول ربط مباشر بين جذاذات السليكون والدماغ البشري. فعندما تُقرن الغرسة بالتحريض مع مكروفون خارجي فإنّها تحوّل الأصوات الخارجية إلى إشارات كهربائية تُغذي صفيفاً من الإلكترودات المكروية الموصولة مع الأعصاب في الأذن الداخلية. وتمر النبضات بعد ذلك بالعصب السمعي إلى الدماغ الذي يترجمها كأصوات. والغرسات القوقعية هي الآن صغيرة جداً لدرجة أنّها غُرست في الأطفال الصُم حيث كان لكل واحد منهم الفرصة لا لتنمية حاسة السمع العادية فحسب وإنّما لتنمية عملية التكلّم العادي أيضاً. وقد تمّ أيضاً تقدّم مطرّد في تطوير نبائط تعتمد على السليكون يمكن أن تعالج الشلل والعمى واضطرابات التنكّس العصبي neuro-degenerative.

## جذاذات صحية

ومع ذلك، فقد اتخذ دور السليكون حديثاً في الطب اتجاهاً آخر. فالبحث، الذي أجراه مؤلفو هذا المقال خلال السنوات الخمس الأخيرة في وكالة ديرا Defence Evaluation Research Agency (DERA) في



يمكن أن يغيّر السليكون الحيوي توزيع العقّار تغييراً جذرياً وذلك بالعمل على تصنيع مضغوطات "ذكية" تطلق العقاقير في زمن ومكان الحاجة إليها.

* نشر هذا المقال في مجلة *Physics World*, July 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.
[1] الإنسان البيوني هو الإنسان الذي تتحسّن قدرته البيولوجية العادية بنبائط إلكترونية أو ميكانيكية إلكترونية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

المملكة المتحدة، حدّد أشكالاً من السليكون لا تكون ذات قيمة من الناحية الإلكترونية فقط كأنصاف نواقل وإنّما أيضاً كمادة حيوية "biomaterial" من الناحية الطبية. لقد وجدنا بصورة خاصة أنّ ما يسمّى بالسليكون "المسامي" (سيليكون كتلي مثقّب عن قصد بثقوب مقاسها من رتبة النانومتر) يمكن أن يكون قابلاً للتلاؤم الحيوي biocompatible وكذلك للتحلّل الحيوي biodegradable.

وهكذا بدلاً من أن نحمي نبيطة معتمدة على السليكون من أنسجة الجسم وجريان الدم كما كانت عليه الحال من قبل من الناحية التاريخية فمن الممكن الآن نظرياً بناء نبائط معتمدة على السليكون تكون في الواقع "فعّالة حيوياً bioactive". ومن الممكن أن يُصمّم سطح الحذاذة بحيث يتآثر بفعّالية مع الأنسجة الحيّة بهدف الحصول على بعض الاستجابات الفيزيولوجية المرغوبة. ويمكن أن تُحفّز جذاذات السليكون مثلاً الخلايا المرسّبة للعظام في الجسم لتغطية الجذاذة بالكولاجين collagen والهدروكسي أباتيت hydroxyapatite (المركّب اللاعضوي للعظام)، وهكذا تعطيها تمويهاً طبيعياً وتجعلها تلتحم مع العظم المجاور. وتتضمن الإمكانيات الأخرى مضغوطات tablets تحتوي على خليط من العقاقير المخبأة في خزانات صغيرة جداً تطلقها في مواعيد مختلفة.

في محاولة لتسويق هذا البحث أنشأنا مع زملائنا في وكالة "ديرا" شركة سُمّيت باسم سليكون p مديكا pSiMedica في كانون الأول من العام 2000 باستثمار قدره مليون جنيه من الشركة الأسترالية سليكون p فيدا pSiVida مع مؤازرين من المملكة المتحدة.

وكان هدفنا تصنيع نبائط طبية بدمج السليكون المسامي وأشكاله المختلفة. كانت شركة "pSi مديكا" أول مغامرة مشتركة لوكالة "ديرا" في قطاع حماية البشر من الأمراض.

## السليكون ذو البنية النانوية Nanaostructuring

كيف يمكن أن نحوّل كتلة من السليكون الصافي إلى سليكون مسامي ملائم حيوياً؟ إنّ إحدى التقانات الشائعة تكون في تنميش Etching سطح رقاقة من السليكون بثقوب بمقاس نانومتري باستخدام محاليل أساسها حمض الهدروفلوريك (الشكل 1). ويمكن إحداث مسام ماكروية macropores (قطر السّم > 50 نانومتر) ومسام متوسطة الحجم mesopores (قطر السّم 2-50 نانومتر) أو حتى مسام مكروية micropores (قطر السّم < 2 نانومتر) وذلك اعتماداً على اختيار خاص لمقاومية الرقاقة وتركيب الإلكتروليت وكثافة التيار المطبّق. وقد يتغيّر الجزء من الحجم الكلّي الذي يصبح فارغاً -أي المتسامية- من 1% إلى 95%.

يظل السليكون العالي المسامية الذي صُنّع بهذه الطريقة نقياً ولكنه يسلك سلوكاً مختلفاً اختلافاً كبيراً عن السليكون الكتلي غير المسامي. ففرجته العُصابية، أي الفرجة الطاقية بين عُصابات النقل والتكافؤ، يمكن أن تكون أكبر من ضعف مثيلتها في السليكون الكتلي، وهذا ما يزيد من تفاعليته الكيميائية ويتيح له بصورة مدهشة أن يصدر ضوءاً مرئياً. في الواقع، إنّ خاصية السليكون المسامي في إصدار الضوء قد لفتت انتباه معظم الفيزيائيين حتى الآن، هذا الانتباه الذي وصل إلى القمة في التقارير الحديثة المتعلقة بالكسب الضوئي والإصدار المحثوث (انظر المراجع الإضافية).

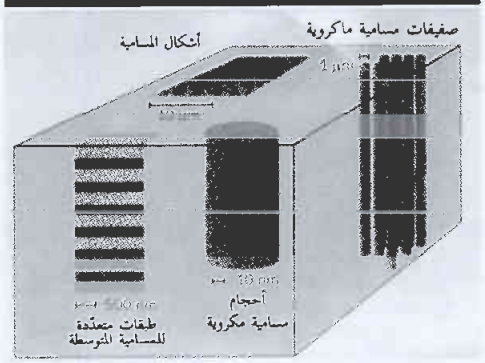
مع الأسف، تشكّل التفاعلية المتزايدة للسليكون ذي البنية المسامية النانوية مشكلة في الكثير من تطبيقات الإلكترونيات الضوئية. وبصورة خاصة، إنّ تنميش السليكون بالحمض يؤدّي إلى روابط سليكون / هدروجين غير مستقرة في نهاية هيكل السليكون. وتتأكسد هذه الروابط تدريجياً في الهواء مؤدّية إلى تغيّر في خواص السليكون مع مرور الزمن، فهو يصبح مثلاً أعلى مقاومة من الناحية الكهربائية.

ونتيجة لذلك حاولت مجموعات، يقودها مايك سيلور M. Sailor من جامعة كاليفورنية في سان دييغو وجيليان بورياك J. Buriak من جامعة بيوردو في إنديانة وجون-نويل شزالفييل J-N Chazalviel من مدرسة البوليتكنيك في باليزو، فرنسة، تحوير سطح البنية النانوية للسليكون. أدّى عملهم إلى أشكال "مشتقة derivatized" من السليكون المسامي حيث حلّت محل روابط السليكون - هدروجين روابط السليكون - كربون التي لاتتأكسد. وهذه الإجراءات يمكن أن تسمح لمجالٍ واسع من الجزيئات العضوية والبيولوجية أن ترتبط تشاركياً مع السطح وهذا ما يعطي السليكون المسامي مجالاً واسعاً من الخواص المتنوّعة. فهو ،بصورة انتقائية، يمكّن من ربط الأضداد antibodies المرتبطة على سبيل المثال بجزيئات مستهدفة (المستضدات antigens) التي تجول عبر جهاز دوران الدم.

## الفعّالية الحيوية وقابلية التحلّل الحيوي

نُفّذت في عام 1995 أولى الاختبارات لرؤية سلوكية سطوح السليكون ذي البنية النانوية في البيئة البيولوجية. فقد بيّنت مجموعتنا لدى وكالة "ديرا" أنه يمكن لبعض أنماط السليكون المسامي، وكذلك السليكون "متعدد التبلور polycrystalline، أن يحرّض ويجهّز دعامة بنيوية لنمو

**١ صنع سليكون مسامي**

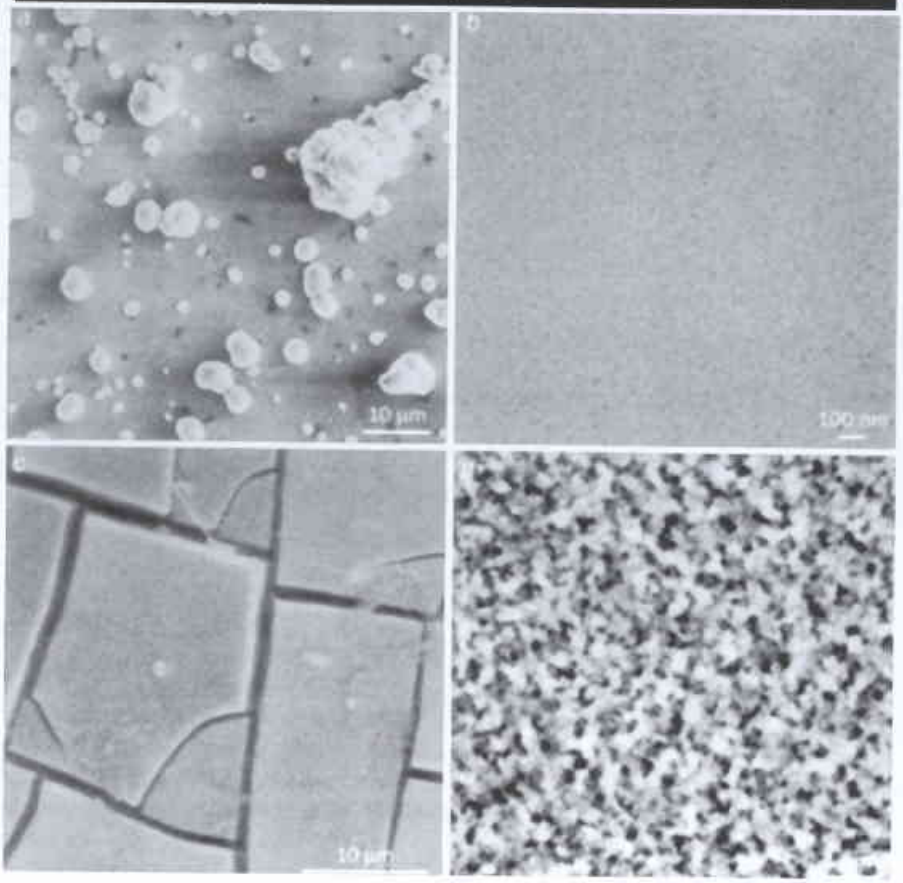



يمكن أن ينقلب السليكون الكتلي "اللامسامي" إلى سليكون "مسامي" بتنميشه بالحمض (وهي عملية تُعرف بالأنوَدة أو التنميش الملوّن Stain etching). يبيّن الشكل الأنماط المتنوعة للسليكون المسامي التي يمكن أن تُحدث عن طريق الأنوَدة في محاليل أساسها هدروجين - فلوريد. واعتماداً على الاختيار الخاص لمقاومية الرقاقة وتركيب الإلكتروليت وكثافة التيار المطبّق يمكن إحداث ثقوب ماكروية (عرض الثقب > 50 نانومتر). وثقوب متوسطة (عرض الثقب 2-50 نانومتر) وحتى ثقوب مكروية (عرض الثقب < 2 نانومتر). ويمكن للمسامية (الجزء المفرّغ من الحجم الكلّي) أن تختلف من 1% إلى 95%. وبخلاف أية مواد حيوية أخرى يمكن أن تتولّد أشكال المسامية جانبياً بعملية الطباعة الحجرية الضوئية photolithography وشاقولياً بتغيير كثافة التيار المطبّق.



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

## 2 السليكون المسامي – الفعّال حيوياً والقابل أيضاً للتحلّل الحيوي




تبيّن هذه الأشكال الأربعة المأخوذة بالمجهر الإلكتروني الماسح كيف يتأثر السليكون المسامي مع موائع الجسم المتنوعة. ففي كل حالة يُحضن السليكون في درجة حرارة 37°C.

(a) بعد أسبوعين في بلاسما محاكية لبلاسما البشر بدأ السطح لأن يصبح معطّى بمرحلة لاعضوية من العظم.

(b) بعد 67 ساعة في مائع معدي يتوضّح وجود مسام متفرّدة رغم أنّ سوية التآكل في حدودها الدنيا.

(c) بعد ست ساعات في مائع معوي أفضى التآكل إلى تشقّقات تظهر بعد الإزالة.

(d) بعد أسبوعين في مائع دماغي شوكي يوجد مرة ثانية دليل على التآكل. ونظراً لأنّ التآكل يحدث في كل مائع بمعزل عن العصارات المعدية يمكن القول إنّ السليكون المسامي هو مادة مقبولة قابلة للتحلّل الحيوي.

مركّب العظم اللاعضوي (هدروكسي أباتيت). أُجريت الاختبارات في "بلاسما" (الجزء السائل من مائع الجسم، الشكل a2) محاكاة بيولوجية. وهذه الاختبارات التي طوّرها في الأصل تاداشي كوكيوبو T. Kokubo من جامعة كيوتو في اليابان تُستخدم الآن من قِبَل الكثير من الباحثين الذين يعملون في المواد الحيوية لمعرفة فيما إذا كان الخزف ceramics يمكنه أن يرتبط مع العظم في الجسم البشري.

توصّلنا (مؤلفو هذا المقال) أثناء مثل هذه الأبحاث إلى ملاحظات مثيرة، إذ لاحظنا أنّ الطبقات الرقيقة من السليكون العالي المسامية قابلة لأن تنحل بالفعل من الرقاقة اللامسامية الموجودة تحتها في يوم أو نحو ذلك. وبتعبير آخر، أظهر السليكون ذو البنية النانوية أنّه قابل للتحلّل الحيوي في الزجاج in vitro. وهذه النتيجة كانت مذهلة للغاية، فهي تعني أنّ الجسم البشري نفسه يكون قادراً على حلّ السليكون وإفرازه. وإذا كان الأمر كذلك فإن اسم السليكون سيُضاف إذاً إلى قائمة المواد القابلة للتحلُّل حيوياً. وهذه المواد لها أهمية متزايدة في الطب لأنها لاتبقى في الجسم إلى الأبد وبذلك تُقلل خطر الخمج والرفض بجهازنا المناعي. وبتعبير آخر، تساعد المواد القابلة للتحلُّل الجسم ليَشفي نفسه.

لقد حُدّدت في الوقت الحاضر أيضاً أهمية السليكون المسامي في البيئات المحاكية للجسم في الزجاج التي تتضمن العصارات المعدية في المعدة والمائع المعوي والمائع الدماغي الشوكي الذي يجاور الدماغ والنخاع الشوكي (الأشكال d-b 2)، وكانت النتائج واعدة. ففي كل الحالات تقريباً يتحلّل بسرعة نسبياً السليكون المسامي غير المتحوّل إلى مشتق underivatized والاستثناء الوحيد هو العصارة المعدية التي تكون حامضية جداً وتحفّص بصورة مثيرة معدّل قابلية التحلّل. ويمكن أن يقود هذا العمل إلى "مضغوطات ذكية" التي حالما يتم بلعها تعطي عقاقير قوية للقولون.

ورغم أنّ الآلاف من الاختبارات التي تمّت في الزجاج وأجراها العلماء السريريون لتطوير وفهم المواد الحيوية التي يستخدمها الجرّاحون، صدرت بعض الأبحاث المنشورة بصورة تثير الدهشة على السليكون اللامسامي، ولم تصدر أبداً حتى الآن نشرات عن أشكال البنية النانوية من هذه المادة. إنّ غياب المعلومات المنشورة عن قابلية التلاؤم الحيوي للسليكون جعلنا نتحرّى هذا المظهر وذلك بإجراء دراسة أساسية لمدة ستة أشهر لكل من السليكون المسامي واللامسامي على الخنازير الهندية cobaye. فقد أُجريت بحسب مقاييس "إيزو ISO" في قسم العلوم الطبية الحيوية لدى وكالة "ديرا" حيث وجد أن لكلا شكلي نصف الناقل قابلية تلاؤم نسيجية جيدة تماماً مثل التيتانيوم الذي هو مادة حيوية مجرّبة ومختبرة. فبينما السليكون اللامسامي والتيتانيوم لايتآكلان إلاّ بصعوبة أثناء كل فترة ستة أشهر من الاغتراس فإنّ أقراص السليكون المسامي بصورة جزئية يتناقص وزنها باستمرار وتصبح متآكلة بالتدريج مع مرور الزمن. وهذا الأمر كان دليلاً على أنّ نصف الناقل يمكن أن يكون من الناحية الحيوية متلائماً وقابلاً للتحلّل في الوقت نفسه.

فما هي الاستخدامات الممكنة للسليكون القابل للتحلّل مع الأخذ بالحسبان المدى الواسع من البوليميرات والمعادن والخزفيات والمركّبات التي تكون متاحة للصناعات الطبية والصيدلانية؟ إنّ الصفات الأساسية التي تميّز السليكون عن المواد الحيوية الأخرى هي إمكانية صنع الآلات المكروية وكونه نصف ناقل بالإضافة إلى شكله البلوري الخامل. يُضاف إلى هذه



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

القائمة حقيقة أن السليكون المسامي قابل للتلاؤم والتحلّل من الناحية الحيوية مع النسيج البشري وأنّه مادة متعددة الاستخدامات إلى أبعد الحدود حيث يمكن أن تُبنى منه نبائط ذكية وقابلة للاغتراس.

إنّ قابليته للتصنيع المكروي تسمح أيضاً بإنتاج كمية من أشكال معقدة دقيقة بمقياس مكروني. وفي الوقت نفسه تتيح خاصيته كنصف ناقل أن يشكّل السليكون المسامي جزءاً من منظومة كهربائية متراصة مكروية مع محسّنات ومحفّزات ومجموعة الدارات التي يمكن أن تراقب الفعالية البيولوجية وعملية المعطيات الداخلة وترحيل تلك المعلومات إلى العالم الخارجي عن طريق قياس بيولوجي من بُعد. وبالإضافة إلى ذلك يمكن التحكّم بسوية المسامية متيحاً بذلك استخدام السليكون المسامي في تنوّع واسع من المجالات السريرية المختلفة.

وفي علم التشخيص، يمكن أن تُستخدم على سبيل المثال مرايا السليكون المسامي المتحوّل إلى مشتق derivatized موضوعة مباشرة تحت الجلد في مراقبة بصرية مندسة بحدود دنيا لمؤشرات بيوكيميائية للسرطان. وفي الارتشاح الحيوي يمكن أن تحمي صناديق من السليكون المسامي الخلايا المفرزة للأنسولين من نظام المناعة لمرضى الداء السكّري. فقد تُصنع مسامها كبيرة بصورة كافية لدخول المواد المغذية إلى الداخل وخروج الأنسولين ولكنها تكون صغيرة بما يكفي لإيقاف خلايا المريض من مهاجمة الخلايا الغريبة داخل الصندوق. ومع ذلك تركّز شركة "سليكون p مديكا" تقانتها على مجالين أساسيين اثنين: توزيع مراقب للعقار وهندسة أنسجة العظام وجراحتها.

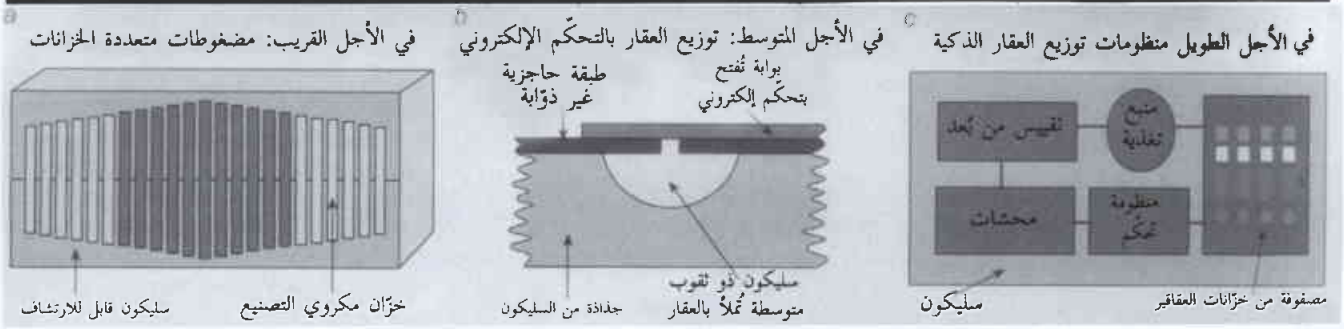
## توزيع العقار الذكي والخامل

في شكله الأبسط يعمل الشكل ذو البنية النانوية من السليكون المسامي "كسقالة (مِنَصّة) scaffold" قابلة للتحلّل من الناحية الحيوية تغلف عقّاراً محدّداً. ويمكن للعقار الذي هو بشكل سائل مناسب في البداية أن يدخل إلى ثقوب الجذاذة بفعل الخاصية الشعرية. وعندما تدخل الجذاذة إلى الجسم يتآكل السطح الخارجي لسقالة السليكون وينطلق العقّار بالتدريج. والمزية المدهشة للسليكون هي إمكانية تصنيعه في كل الأشكال التي تُستخدم عادة لإعطاء الجرعات الدوائية. فيمكن أن يُصنّع من أجل المضغوطات المعدّة للبلع أو "لصقات patches" توزع العقار عبر الجلد أو جسيمات مكروية للحقن أو "أسطوانات" تُطلق العقار ببطء بعد حقنها في دهن ما تحت الجلد.

ينشأ تنامي عدد وسائل توزيع العقاقير في الجسم من الرغبة المتزايدة من أجل إعطاء العقاقير بجرعات صحيحة تماماً وإلى الجزء المناسب من الجسم فقط. تعمل عقاقير المداواة الكيميائية لمعالجة السرطان بتأثيرات جانبية غير مقبولة على مجال ضيق من التركيز في الجسم. وهكذا دمج جيف كوفر J. Coffer من جامعة كريستيان تكساس في الولايات المتحدة الأمريكية أمثال هذه العقاقير (cis-platin و carbo-platin) في غلاف الهدروكسي أباتيت لجذاذات السليكون المسامي، كمحاولة منه لتحسين توزعها في أورام العظم. ويمكن التحكّم بنسبة انطلاق العقّار من السليكون المسامي بتغيير سوية المسامية في السليكون. فالسليكون ذو المسامية العالية النسبة يتحلّل بسرعة أكبر من السليكون ذي المسامية الأقل، وهكذا ينطلق العقّار بصورة أسرع. وبتعبير آخر، إنّ نسبة انطلاق عقّار فعّال من جذاذة سليكون مسامي مشرّب بالعقّار يمكن ضبطها باختيار البنية المكروية الصحيحة. وهناك إمكانية أخرى وهي المضغوطة ذات الخزانات المتعددة التي يمكنها إطلاق خليط من العقاقير في أوقات محدّدة مسبقاً (الشكل 3a).

ويمكن أيضاً التحكّم بنسبة إطلاق العقاقير بعملية اشتقاق سطح السليكون المسامي وبتعبير آخر استبدال مجموعات أخرى، مثل الحموض الأمينية أو السلاسل المحبة للماء من ذرّات الكربون، بذرّات الهدروجين عند نهايات هيكل السليكون، وهذا ربما يكون الخطوة الأولى نحو

### 3 مضغوطات مغلّفة




ماتزال منظومات توزيع العقاقير المعتمد على جذاذات السليكون في أيامها الأولى ولكن من المتوقّع أن تتطوّر تطوّراً مهمّاً.

(a) سيتم في المرحلة الأولى استثمار قابلية تصنيع السليكون المسامي المكروي وقابلية تحلّله الحيوي فقط. وتتمتع هذه المضغوطة مثلاً بخزّانات ذات تصنيع مكروي مملوءة بالعقاقير. كما تتمتّع الأغلفة المؤلّفة من السليكون القابل للتحلّل الحيوي على كل خزّان بثخانات مختلفة وبذلك تحتاج إلى أزمنة مختلفة لتنحلّ حتى تُطلق الخزّانات ما تحويه من عقاقير. يمكن أن يُستخدم مثل هذه المضغوطة لتحرير خليط من العقاقير (الملوّن باللونين الأحمر والأصفر) في تسلسل محدّد مسبقاً.

(b) في الأجل المتوسّط سيصبح بالإمكان التحكّم الإلكتروني بتوزيع العقاقير. إذ تتمتّع هذه النبيطة بخزّان من السليكون المسامي مُملأ بالعقار ويُغطّى "بغطاء (بوابة) gate" يذوب انحياز كهربائي أنودي anodic electrical bias وهكذا يمكن للعقار أن ينطلق في زمن مبرمج من قبل عن طريق ميقت clock في الجذاذة. فهي بتعبير آخر "مضغوطة مغلّفة".

(c) أما منظومات توزيع العقار الذكية فتشكّل البحث الصعب. فهذه المنظومة من "التحكّم الآلي closed-loop" تطلق العقار عند الحاجة إليه عبر محسّ مدمج بالجذاذة نفسها. ومثل أجسامنا فهي تتمتع بآلية تحكّم بتغذية راجعة حيوية biofeedback control mechanism.



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

التحكّم "الذكي" لإطلاق العقّار. ويمكن أن نتصوّر مثلاً ذرّات العقار مرتبطة إلى "سقالة" السليكون القابل للتحلّل بروابط تكون حسّاسة إلى أنزيم محدّد. فالسليكون سيطلق عقاره فقط عندما يجتمع مع تلك الجذاذة، ويكون للغرسة عندئذ وظيفة "قياس واستجابة" غير معقدة مطلقة سلسلة من الأحداث الكيميائية الحيوية التي تحافظ على متطلّبات العقّار الفيزيولوجية. لقد بيّن توماس لوريل Th. Laurell ومجموعته في جامعة لند في السويد، الذين يستخدمون مساحة السطح الداخلي الواسعة من السليكون المسامي لصنع مفاعلات حيوية bioreactors (نبائط تركّب فيها المتعضيات وبصورة خاصة البكتيريا، مواد مفيدة) في الزجاج in vitro، أنّ الأنزيمات يمكن أن تعمل بصورة جيدة ضمن السليكون المسامي.

بالتأكيد لاتستخدم البُنى المذكورة القيمة الكلية وإمكانيات تقانة السليكون الحيوية. ومع الاستمرار بنمنة المركّبات الإلكترونية المتضمّنة منابع التغذية بالكهرباء والمحوّلات transducers والمحسّات، تصبح القضية قضية وقت فقط قبل أن يصبح بالإمكان إجراء ضبط أكثر دقة مع هذه المادة الحيوية الجديدة. وتتضمن الإمكانيات "المضغوطات المغلّفة ticking tablets التي تُطلق ما تختزنه من عقّار في وقت محدّد (الشكل 3b). والبحث الصعب هو الربط في الحي in vivo بين انطلاق العقار والنبائط التشخيصية وتجميع المعطيات المحوسَبة computerized (الشكل 3c). وعندها سيكون الأطباء قادرين على إدارة المرض إدارة محكمة وبدقة مع تقديم مساعدات أساسية للمرضى.

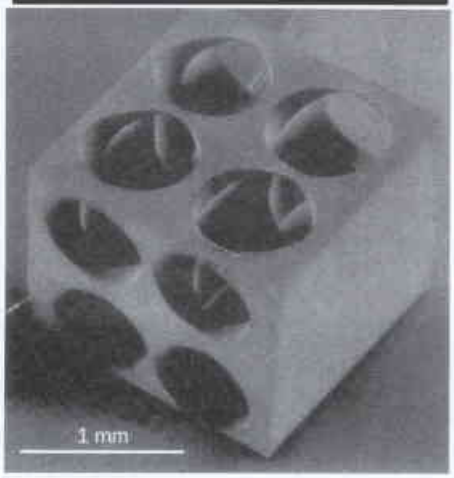
## تقويم العظام وهندسة نسيجها

والمجال الأساسي الآخر لاهتمام شركة "سليكون p مديكا" هو تقويم العظام وهندسة نسيجها. في الواقع، إنّ تطبيقاً من التطبيقات الأولى للمواد الصناعية في الجسم البشري يختص في إعادة البناء الداخلي للعظم المصاب باستخدام المعادن. وتتضمن المواد المفضّلة في الوقت الحاضر الفولاذ والتيتانيوم والبولي إيثيلين والسيراميك وأشابات الكوبالت والكروم بالإضافة إلى الزجاج الحيوي والمركّبات. ومع ذلك يوجد عدد من القيود الأساسية لاستخدام غرسات التيتانيوم أو الفولاذ مثلاً. أولاً لأنها غالباً ما تُنزع بعد أن تكون قد استنفدت مهمتها. ثانياً ينمو النسيج العظمي بفعّالية ويعيد بنيته وهذا يعني أن المعدن لايثبت تماماً باستمرار على العظم. وهناك مشكلة أخرى هي أنّ المعدن يلتصق بصورة ضعيفة على العظم في كل الحالات. ولذلك هناك حاجة إلى أنواع لاصقة من الملاط cements لغرسات الركبة والورك.

يتمتع السليكون الرابط للعظام، كمادة محتملة مقومة للعظام، ببعض الخاصيات الموثوقة إلى جانب العيوب. فهو يتمتع بقوة شد أفضل من الفولاذ ولكنه، بخلاف المعادن، هش ومعرّض إلى التلف بالصدم. ومع ذلك يمكن أن يُنظّم مُعامل مرونته بحسب مُعامل يونغ Young وذلك بتغيير مستوى المسامية ليتلاءم إمّا مع العظم القشري، أي العظم الصلب، وإمّا مع العظم الإسفنجي. وهذا أمر مهم لتجنب مشكلة التدريع الإجهادي stress shielding الذي يحدث غالباً عندما تكون المواد المعدنية البديلة بتماس مباشر مع العظم. (العظم هو بصورة أساسية نسيج ينمو بقوة مع الإجهاد الذي يعني أنّ أية غرسة تتحمّل كل العبء ستسبّب موت العظم السليم المجاور.

ربّما تشكّل قابلية التحلّل الحيوي للسليكون المسامي المزيّة الأهم لهذه المادة. فقد شرع في الوقت الحاضر مهندسو النُسج المشهورون ومنهم جوزيف فاكانتي J. Vacanti من مدرسة الطب في هارفارد بالولايات المتحدة، في استخدام قوالب مكروية مصنّعة آلياً من السليكون كطبعات templates لإحداث هياكل (تضاريس topographies) دقيقة ثلاثية الأبعاد في بوليميرات قابلة للتحلّل حيوياً. وهكذا، لماذا لانحاول تصنيع بُنى ثلاثية الأبعاد من السليكون نفسه القابل للتحلّل حيوياً؟ يمكن أن تُحفر بتأنٍّ مثلاً بنية السليكون المسامي لإعطاء خلايا بانية للعظم مع "سقالة" تمكّنها من اختراقها والتثبّت عليها (الشكل 4). فعندما يترسّب النسيج العظمي على السقالة فإن السليكون المسامي سينحلّ ببطء ويترك في النهاية عظماً جديداً تماماً. أمّا المزية الأخرى للسليكون المسامي فهي نقله للكهرباء، بخلاف السيراميك القابل للتحلّل أو السقالات البوليميرية. (فالعظم نفسه كهرضغطي piezoelectric وهذا الذي مهّد السبيل للتقانات الكهربائية لترميم العظام المكسورة التي فشلت الطرائق الأخرى في شفائها.

**4 تطبيقات على تقويم العظام**




يمكن أن يقوم السليكون القابل للتحلّل بمهمة "سقالة" في بنية نسيج تقويم العظام. هذه البنية تُصنّع في البداية مكروياً لإحداث فجوات كبيرة (ثقوب ماكروية) تُتيح للخلايا العظمية ولتشكيل الأوعية اللاحق، وهي الشبكة الشعرية للدم، من اختراق "السقالة". وبعد ذلك تُعرّض الكتلة إلى الأنزيمات حيث تتحلّل حيوياً في الجسم. وكلّما ترسّب النسيج العظمي على "السقالة" ينحل السليكون المسامي يبطء ويتلاشى تاركاً مكانه العظم الجديد.

## قابلية التلاؤم الحيوي والتصنيع

إنّ حقيقة كون السليكون المسامي يتآكل بوجود الموائع الحيوية لاتكفي حتى يوصف أنّه "مادة حيوية biomaterial حقيقية. وللحصول على هذه التسمية يجب أن نكون متأكدين أنّه غير سام وقابل للتلاؤم من الناحية الحيوية. ويجب أيضاً أن نعلم أن المنتجات التي يتحلّل إليها هي مواد آمنة وأنها تُفرز من الجسم بصورة كاملة. ولحسن الحظ، يتآكل السليكون المسامي بصورة رئيسة إلى حمض السليسيك الأحادي الشكل $Si(OH)_4$ الذي يظهر بالمصادفة أنّه شكل السليكون الطبيعي الأكثر وجوداً في البيئة. (في الواقع، يمثّل حمض السليسيك 95% من السليكون الذي يمرّ عبر دورة الأنهار والمحيطات ويكون موجوداً في الكثير من المواد الغذائية والمشروبات). وبالإضافة إلى ذلك فإن الاختبارات التي استخدمت مشروبات حمض السليسيك الموسوم بمادة مشعة والتي أُعطيت إلى متطوعين من البشر أفضت إلى أنّ تركيز الحمض في جهاز الدوران يرتفع لمدة قصيرة جداً فقط



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

فوق القيم النموذجية بمقدار $1mg\ l^{-1}$ ~. ويكون الإفراز البولي لحمض السليسيك فعّالاً إلى حدٍ كبير ويطرد كل السليكون غير المهضوم. في الواقع، يحتاج الجسم البشري بالفعل إلى السليكون في هذا الشكل كمادة أثر trace غذائية أساسية. وتحاول مجموعات مثل المجموعة التي يقودها جوناثان باول J. Powell من مستشفى سانت توماس في لندن، إيجاد سبب ذلك.

وهناك الآن مجال واسع من الاختبارات في الزجاج في طريقها لكشف وتحديد أية مصادر ممكنة من السُمّية لأنماط مختلفة من الخلايا النامية مباشرة على هذه المادة. إنّنا نعرف على سبيل المثال أنّ الطبقات المتآكلة حديثاً من السليكون المسامي يمكن أن تُصدر، نتيجة للحلمهة، غاز السيلان silane gas بتركيز عدة أجزاء من المليون وأنّ الطبقات الأكثر فعالية يمكن أن تجعل المائع المجاور فوق مشبع بالسليكون. لقد وجدنا أيضاً أنّ بكتيريا مثل E - Coli يمكنها استعمار جذاذات السليكون تماماً كما تستعمر خلايا الثدييات. وهكذا، إنّنا نطور طرقاً لتعقيم السليكون المسامي بحيث لاتتغير خواصّه وتقلّل أي خطر يخمج الجسم إلى حدّه الأدنى.

ماذا عن تطبيقات تصنيع منتجات السليكون المسامي؟ إنّنا نعرف الآن الكثير عن كيفية معالجة السليكون بفضل دوره الرئيس في صناعة الإلكترونيات المكروية. فقد أعطت هذه الخبرة العملية، التي تنامت على مرّ السنوات الخمسين الأخيرة، للسليكون مزية أساسية كمادة ممكنة جديدة للحماية ضد الأمراض. ورغم ذلك يتم إنتاج السليكون بنقاوة ربّما تكون موضع حسد معظم الشركات الصيدلانية. وربّما مثل هذه النقاوة لايحتاجها الكثير من التطبيقات الطبية، ولكن ما سيشجّع بدون شك على إسهامه في الطب، حقيقة أنّ السليكون يُصنّع عادة في شروط من النظافة الفائقة بالإضافة إلى وجود الكثير من تقانات المعالجة المقامة.

ويهدف، في الواقع، مصنع يُبنى لهذه الغاية في اليابان (مصنع تاكاوه يونيهارا التابع لشركة كانون) إلى أنودة anodization عشرة آلاف رقاقة wafers في الشهر كسبيل لتزويد رقاقات من السليكون على عازل silicon-on-insulator (SOI) لاستخدامها من أجل تطبيقات جذاذية متخصصة. ففي هذه التقانة، تترسّب بصورة تنضدية طبقات من السليكون النقي على الطبقة المسامية الأعلى من رقاقة السليكون. وبعد ذلك تُربط الرقاقة إلى رقاقة أخرى بسطح من أكسيد السليكون العازل وبذلك ينتهي السليكون التنضدي لأن يصبح محصوراً في الوسط. ينحل السليكون المسامي بصورة انتقائية ليترك منتج السليكون على العازل المرغوب (SOI): السليكون التنضدي فوق طبقة من أكسيد وهذه فوق رقاقة السليكون. والتشابه يكون واضحاً: فشركة كانون تستخدم السليكون المسامي كطبقة أنود ذوّابة sacrificial layer خارج الجسم في حين نحاول نحن في شركة سليكون p مديكا استخدامه ضمن الجسم. بيّنت مؤسسة كانون أنّ رقاقات السليكون ذي البنية النانوية يمكن أن تستجيب بهذه الطريقة إلى متطلّبات التصنيع من حيث زيادة التلاؤم وانخفاض التكلفة والمردود والنظافة الفائقة.

## المزيد من البيونية في المستقبل؟

نحن على بعد خطوات قليلة من المرور إلى تصنيع آلات التي تُعدّ أفضل صديق لمساعدة للإنسان. بالطبع إن المداواة التداخلية interventional والقابلة للغرس implantable شائعة الآن. ويتمتع قادة السوق الرئيسون مثل شركة ميدترونيك في الولايات المتحدة بدخل يُقدّر بحوالي 3 بليون دولار وقائمة واسعة من منتجات قابلة للغرس تتضمن ناظمات للقلب وقثاطير catheters ومنظومات ترؤية (للدم) ونبائط لتوزيع العقاقير ومنظومات للمساعدة العصبية والنخاعية. إن مثل هذه المنظومات تعتمد بصورة رئيسة على نبائط إلكترونية تكون معزولة تماماً عن المنظومات البيولوجية التي تغذّيها.

وأحد التحديات على وجه الخصوص، ولكنه يستحق المجازفة بقوة، مجال البحث الذي يتابعه عدد من المجموعات البحثية والمتمثل باستخدام تقانة الغرس الإلكتروني المكروي لإعادة البصر إلى المكفوفين. وبصورة مشابهة، يلقى التحريض الكهربائي الوظيفي لإعادة الحركة إلى المرضى المشلولين مزيداً من الاهتمام. وبكل وضوح، إن تطبيق الذكاء الإلكتروني على الكثير من النبائط كان مثمراً من الناحية التجارية وحسّن نوعية حياة الكثير من المرضى.

وهكذا إلى أين سنصل بعد ذلك؟ سوف تبدأ شركة سليكون p مديكا، لتلبية الضغوط التجارية، بتطوير نبائط بسيطة موزّعة للعقاقير غير ذكية نسبياً. وعلى المدى الأطول نريد تطوير منظومات غرس تحوي مركّبات تقانية وبيولوجية على السواء مثل جذاذات التآثر الداخلي البيولوجية السليكونية المسامية البسيطة التي يمكنها توزيع العقاقير فقط عندما يحتاجها الجسم. ومع ذلك سوف تتطلّب آليات مثل هذه المنظومات من الغرس سنوات كثيرة من البحث والتطوير قبل أن تصل إلى السوق.

بقدر ما تؤخذ قبولية المريض بالاعتبار، نكون قد دخلنا بالفعل حقبة من الزمن يكون الناس فيها مرتاحين بصورة عامة لفكرة الغرسات التي يمكنها أن تُنظّم نشاطات فيزيولوجية حيوية مثل ناظمات لضبط ضربات القلب البطيئة أو غير المنتظمة. ويكون توزيع العقاقير المحسّن الذي يستخدم نبائط جديدة شائعاً، رغم أنّ معظم النبائط في السوق لاتلفت النظر ولاتتطلّب إلكترونيات عند هذه المرحلة. وربّما سيأتي التحدّي الأخلاقي الأكبر مع إدخال نبائط المراقبة الإلكترونية المكروية التي ستُعلِم الأطباء بصورة دائمة عن حالة المريض أو كيف تعمل أدويتهم التي وصفوها له. ومع ذلك توجد بالفعل منتجات ناجحة متعددة في هذا المجال "مسجّلاً بدارة مغلقة loop recorder الذي أطلقته شركة ميدترونيك عام 1998 لتسجيل ضربات قلب المرضى ونَظْمه بدون توقّف لمدة سنة. ومن المحتمل أن يكون هذا الجهاز رائداً لسلسلة من النبائط الجراحية المنمنمة من أجل مراقبة وضعية المرضى. وربّما يكون التشخيص المبكّر لحدوث السرطان أحد هذه المجالات.

إنّ الطبيعة لاتُحدث سطوحاً مستوية فائقة النعومة مثل سطوح الرقاقات المصقولة التي تحتل خطوط السكب foundry السليكونية. فالمواد الحية في جسمنا تعوّل على المسامية لتعمل بصورة مناسبة، من المسام النانوية لكل غشاء خلوي، إلى البنيات التي تحكم التغيرات المتبادلة في النسج والأعضاء. هل السليكون المسامي مادة حيوية واضحة تربط بين الحاجة الأساسية لمادة متلائمة حيوياً وقابلة للتحلّل الحيوي وبين مجال نشاط النبائط الإلكترونية التي تمت إقامتها بشكل جيد؟ سيكشف الزمن بدون شك وسيحسم فيما إذا ستستبعد الجذاذات ليس فقط "الموت" وإنّما أيضاً الأطباء.■



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# أخبار علميّة

# 1- التوجه نحو الذهب*

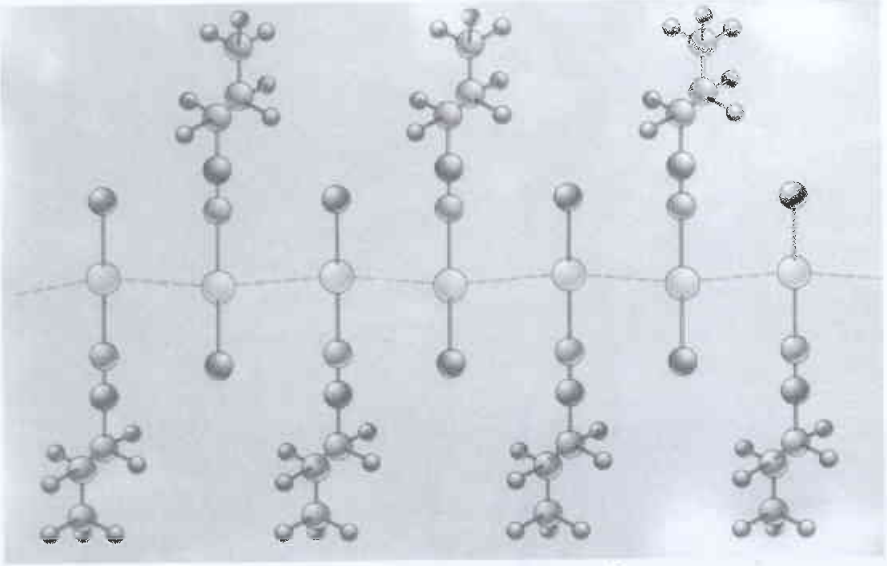
لا يتوقع للجزيئات المحتوية على الذهب أن تُشكّل روابط معدنية؛ لكن هنالك دليلاً متنامياً على وجود تأثرات بين ذرّات الذهب التي تتشابه في القوة مع روابط الهدروجين.

عندما يُشكّل الذهب رابطة مع ذرّة أخرى، لا بد له ببساطة أن يمنح إلكتروناً واحداً كي يحقق حالة إلكترونية شديدة الاستقرار. وتقول الحكمة التقليدية أنه لا يجوز للذرّات، في مثل هذه الحالة، التورط في أي ربط خارجي آخر. لكن أدلة تجريبية تراكمية [1]، إضافة إلى أحدث ما وصلت إليه حسابات كيميائية - كمومية [2]، تُشير إلى وجود تأثرات معدنية - معدنية قوية بصورة عجيبة بين ذرّات الذهب ضمن معقّدات جزيئية. وتبدو هذه التأثرات مماثلة في القوة لروابط الهدروجين، وقد بدأ الكيميائيون باستخدامها لتصميم بُنى جديدة ذات خواص فيزيائية غير عادية. فعلى سبيل المثال، أفاد باكمان Bachman وزملاؤه [3]، في مجلة الجمعية الكيميائية الأمريكية، عن بناء "أطوار دوّارة" مثيرة من معقّدات الذهب تعتمد بشكل كلّي على تأثراتها المعدنية - المعدنية. ويبدو أن هناك إمكانية لتعديل سلوك الذهب في هذه الأطوار الدوّارة من أجل تصنيع بُنى مفيدة، مثل البلورات السائلة ذات الأساس المعدني أو مواد ذات تألق ضوئي.

إن لمعظم مركبات الذهب بنية خطّية شبيهة بالعصا. وبعد أن تمّ في الثمانينيات والتسعينيات، اكتشاف المزيد والمزيد من البُنى البلّورية المحتوية على مثل هذه العناصر البنيوية العصوية الشكل، فُوجِىء الكيميائيون بالتكدس المحكم للمكوّنات والتي بدت تعمل دائماً على تقصير المسافات بين ذرّات الذهب إلى حدها الأدنى. ويبدو أن الذهب ينجّر أو ينجذب دائماً نحو الذهب وأن المصطلح "مُحب للذهب aurophilic" قد تمّت صياغته كي يصف هذه الظاهرة الجديدة في الكيمياء البنيوية.

ولتشكيل روابط كيميائية، لا بدّ للذرّات أن تمنح أو تكتسب إلكترونات أو تتقاسم الإلكترونات مع غيرها من الذرّات. وكعنصر نقي، فإن كل ذرة من الذهب تمتلك إلكتروناً واحداً في الطبقة ($6s^1$) زيادة عما تكون عليه تشكيلة الطبقة المغلقة ($5d^{10}$)، ويجري تقاسم هذا الإلكترون مع ذرات الذهب المجاورة ضمن الكتلة المعدنية للذهب. وعندما يُمنح هذا الإلكترون بشكل كامل إلى شريكه كي يتشكل مركب في تفاعل أكسدة، يبقى الذهب في حالة طبقة مغلقة، $5d^{10}$ (التي تُعرف بحالة الأكسدة +1)؛ وبالتالي لن يُتوقع بعد ذلك لهذا الذهب أن يخضع لتأثرات معدنية - معدنية. ومع ذلك، هناك دليل قاطع على وجود ربط محب للذهب غالباً ما يتحكم بتنظيم مركبات الذهب كما أنه يلعب دوراً هاماً في العمليات التقانية. فعلى سبيل المثال، يُعدّ $[Au(CN)_2]^-$ أنيوناً عصوي الشكل خماسي الذرّة يتكدس بإحكام عندما يُمتص فوق سطح الكربون المنشّط، الأمر الذي يجعل استخلاص سيانيد الذهب من محاليل النض المالحة أكثر كفاءة [1]. ولقد كانت الحسابات الكيميائية - الكمومية، التي تأخذ بعين الاعتبار التأثيرات النسبوية والترابطية، ذات تأثير فاعل في حساب الهندسة المفضلة لهذه التكدسات وطاقاتها النسبية [2].

ولا تستطيع التأثرات الضعيفة، كالربطين الهدروجيني والمحب للذهب، أن تملي طبيعة البُنى الجزيئية بالأسلوب الذي تمليه الروابط التشاركية القوية، لكن لها بعض التأثير في ترتيب مجموعات الجزيئات - أو ما يسمى بالبنية فوق - الجزيئية. وقد عمل الكيميائيون لسنوات عديدة من أجل التحكم بالبنية الجزيئية، لكنهم أهملوا البنية فوق الجزيئية وتركوها للصدفة؛ وفي العقود القليلة الأخيرة فقط، بدأوا بمعالجة المسألة الصعبة، ألا وهي تصميم مواد ذات بُنى فوق - جزيئية مفيدة. وهنا يأتي الدور الهام لما سبق أن تحقق من معرفة في مجال الربط الهدروجيني، وبخاصة ما تمّ تحقيقه مؤخراً من معارف في كيمياء الذهب ذات علاقة بالربط المحب للذهب.



**الشكل 1-** بنية فوق - جزيئية متشكّلة بواسطة ربط بين ذرات الذهب. بيّن باكمان وزملاؤه [3] أن الربط المحب للذهب بين ذرّات الذهب ضمن معقّدات خطية لكلوريد الذهب ($C_3H_7CAuCl$) يجعلها تصطف باتجاهات متعاكسة في سلسلة متعرجة طويلة. (تظهر في الشكل ذرّات كل من الكربون باللون البني، والهدروجين باللون الأحمر والآزوت باللون الأزرق، والذهب باللون الأصفر، والكلور باللون الأخضر). وتتكدس معاً عدة سلاسل متعرجة لتُكوّن بنية ثنائية الطبقة تشابه الطبقات الثنائية المتشكّلة بواسطة سلاسل الكحولات المرتبطة بالهدروجين. باستخدام سلاسل ألكيل أطول، يجري تشكّل أطوار دوّارة عند درجة حرارة فوق درجة حرارة التحول.

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 413, 6 September 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

في ورقة بحث لباكمان وزملائه [3]، دُرِست معقّدات n-alkylisocyanide لكلوريد الذهب من النموذج (R=NC)AuCl [حيث $R=C_n H_{2n+1}$، و n=1-11]. وتعمد الصفيفة الخطية للذرّات N-C-Au-Cl ضمن المعقد المعدني إلى جعل الجزيئات تسلك سلوك السلاسل الهدروكربونية المرنة والتي لها مجموعة طرفية عصوية الشكل تحتوي على ذرّة الذهب المحبّة للذهب. وعند التبلّور، يتبع ترتيب الجزيئات نمطاً يؤدي إلى جلب ذرّات الذهب في الجزيئات المتجاورة لتصبح متقاربة مع بعضها (تفصل بينها مسافة تقدر بحوالي 3.5Å) بحيث تكون الجزيئات المتاخمة مصّطفة في اتجاهات متعاكسة (الشكل 1). وهذه السلاسل المتعرجة تتراص لتُشكّل ما يُعرف ببنية فقار سمك الرنكة والتي تُشاهد في هدروكربونات أخرى ذات سلاسل طويلة حاملة لمجموعات وظيفية. ويجري صنع بُنى مشابهة لها تكرارية ثنائية الطبقة واضحة المعالم بواسطة كحولات لا متفرعة ($C_n H_{2n+1} OH$)، لكن السلاسل، في هذه الحالة، تكون متصلة مع بعضها البعض عبر روابط هدروجينية بين مجموعات الهدروكسيل (OH) [9].

وتُعدّ المضاهاة البنيوية بين الأطوار المنخفضة درجة الحرارة للكحولات ومعقّدات كلوريد الذهب (إيزوسيانيد) إثباتاً إضافياً للفكرة بأن الربط الهدروجيني والربط المحب للذهب متماثلان بطاقتي ربطيهما وتوجّهيهما [6]. وعند السوية فوق - الجزيئية، تستطيع البُنى المتشكّلة بواسطة سلاسل الكحولات غير المتفرعة أن تُشكّل أطواراً دوّارة تمثل حالة متوسطة بين البلّورة المرتبة والصهير المتناحي (غير المرتب). وفي هذا الطور، تتمتع الجزيئات بحرية إضافية للحركة الدوّارة والتي يمكن أن تُفسّر من وجهة نظر تفيد بأنه كلما امتدت السلاسل - غير الملتوية والشبيهة بنابض مرن - أصبحت الشبيكة الجزيئية أقل تماسكاً وصلادة. وعموماً، تقود مثل هذه السمات البنيوية الفريدة إلى تمدد حراري كبير شاذ وانضغاطية متساوية درجة الحرارة وسعة حرارية.

أدى وجود أطوار دوّارة في الكحولات إلى تحريض باكمان وزملائه على تقصي ما إذا كان ممكناً لجزيئات (R-NC)AuCl أن تُشكّل أطواراً دوّارة مماثلة [10]. فوجدوا أنه، فوق درجة حرارة تقع في حدود 50°C، يكون لمعقّدات كلوريد الذهب (إيزوسيانيد) خواص فيزيائية مميزة للأطوار الدوّارة؛ وهذا، في حدّ ذاته، يمثل أول ملاحظة عن أطوار كهذه يجري تحريضها بواسطة أي نوع مباشر من الربط المعدني - المعدني. وقد تبيّن بواسطة المجهرية المستقطبة، أن المواد، عند درجة حرارة فوق درجة حرارة التحوّل، تكون على حالة متبلورة (حيث يكون للجزيئات الفردية مساحات مقطع فعّال مماثلة تماماً لتلك الخاصة بسلاسل الألكيل (Alkyl chains)، ولو أن ضغطاً ميكانيكياً طفيفاً قد يؤدي إلى تشوّهها. وتُعدّ الأطوار الدوّارة التي تعتمد الذهب كأساس أطواراً فريدة النوع، ذلك لأنها تتمتع بخواص وسطية المنشأ mesogenic (سائلة - بلّورية) تتحرض حتى في غياب وحدات تقليدية وسطية المنشأ، كالحلقات الأروماتية. ويبقى الأمل معقوداً فيما إذا كانت هذه الخواص ستعود إلى تطبيقات مفيدة قد تتحقق في مجالات تتعلق بتقانة المحسّات والمواد البلّورية - السائلة.

## المراجع REFERENCES


[1] Schmidbaur, H. (ed) Gold: Progress in Chemistry, Biochemistry and Technology (Wiley, Chichester, 1999).

[2] Pyykko, P. Chem. Rev. 97, 579-636 (1997).

[3] Bachman, R. E., Fioritto, M. S., Fetics, S. K. & Cocker, T. M. J. Am. Chem. Soc. 123, 5376-5377 (2001).

[4] Schmidbaur, H. Chem. Soc. Rev. 24, 391-401 (1995).

[5] Schmidbaur, H. Gold Bull 23, 11-21 (1990).

[6] Schmidbaur, H. Gold. Bull 33, 3-9 (2000).

[7] Braga, D., Grepioni, F. & Desiraju, G. R. Chem. Rev. 98, 1375-1390 (1998).

[8] Schneider, W., Bauer, A. & Schmidbaur, H. Organometallics 15, 5445-5447 (1996).

[9] Wang, J. -L. et al. J. Am. Chem. Soc. 116,1192-1197 (1994).

[10] Sirota, E. B. & Wu, X. Z. J. Chem. Phys. 105, 7763-7773 (1996).■


## 2- القوة الشديدة بازدياد*

البروتونات والنترونات هي أجسام مركبة تتألف من كواركات تربطها قوة شديدة. فالكواركات الحرة والغلوونات، التي تربطها مع بعضها البعض، لا تُلاحظ في الطبيعة لأن قوة الاقتران بين الكواركات تصبح أكبر عندما تزداد المسافة فيما بينها. فالنظرية التي تصف هذه القوة الشديدة يُطلق عليها اسم التحريك اللوني الكمومي (QCD). ومع ذلك تبدو معادلات التحريك اللوني الكمومي معقّدة جداً بحيث يصعب حلّها بالتقنيات المألوفة. والطريقة الحديثة لمعالجتها تكون من خلال استخدام حواسيب ضخمة.

لكي يقوم الحاسب بحلّ النظرية، يجري تقريب المكان والزمان بصندوق محدود ينقسم إلى مجموعة منفصلة من النقاط، هي الشبيكة. وهذا يحوّل المسألة إلى جملة محدودة من معادلات مقترنة يمكن حلّها بتقنيات مونتي كارلو Monte Carlo المعيارية. وفي المستقبل، يأمل النظريون في إزالة هذا التقريب من خلال تقليل التباعد الشبيكي إلى الصفر وزيادة حجم الصندوق إلى اللانهاية (انظر مجلة Physics World, pp. 35-40, August 2000).

إن الكواركات غير المرتبطة هي وحدها التي تُقدّم تفسيراً لبضعة أجزاء بالمئة من كتلة البروتون أو النترون، أما ما تبقّى من الكتلة فهو ناجم عن طاقة ارتباط الكواركات والغلوونات. وثمة هدف رئيسي في QCD

* نشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, December 2001. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

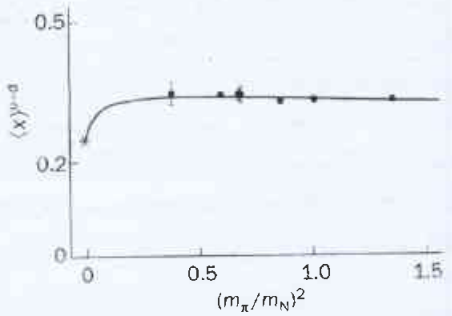
يتمثّل في فهم كيف تزود الكواركات والغلوونات طاقة الارتباط هذه، وكيف تساهم أيضاً في سبين النكلونات (الاسم الجماعي للبروتونات والنترونات). إن التقدم المستمر في قدرة الحوسبة والتطورات النظرية الحديثة أدّيا إلى إعادة التحريك اللوني الكمومي الشبيكي إلى النقطة التي تصبح فيها الحسابات البدئية ممكنة بالنسبة لمجموعة الهدرونات التي يمكن ملاحظتها.

على أي حال، تُعدّ النظرية، حتى الآن، أقل نجاحاً فيما يتعلق بالتنبؤ بجزء من اندفاع البروتون أو النترون الذي تحمله الكواركات. وتُقدم الحسابات الحديثة التي قام بها طوني توماس T. Thomas وزملاؤه في جامعة Adelaide في أستراليا ومختبر جيفرسون ومعهد ماساتشوستس للتقانة، وكلاهما في الولايات المتحدة، حلاً ممكناً للتعارض الذي دام طويلاً بين التحريك اللوني الكمومي الشبيكي والتجارب.

في التحريك اللوني الكمومي الشبيكي، ينبغي أن يكون الصندوق الذي يُقرّب الزمان - المكان كبيراً إلى حدٍّ يكفي للتلاؤم مع النكلون والسحابة المحيطة من البيونات "الافتراضية" التي تُصدرها وتمتصها باستمرار. إن البيونات الافتراضية، التي تتشكّل من الكواركات والغلوونات، تتطاير باستمرار حيث تختفي تارةً وتظهر تارةً أخرى، حسب ما يفرضه مبدأ الشك. وبما أن النكلون يتفاعل بشدة مع هذه البيونات، فإنها يمكن أن تقوم بدور هام في حسابات التحريك اللوني الكمومي الشبيكي. في الوقت ذاته يمكن أن تكون الشبيكة دقيقة إلى حدٍّ يكفي كي تقوم بحل البنية الداخلية للنكلون. ويتعيّن على النظريين استخدام كتل كواركية صغيرة في الحسابات بحيث يمكن استكمالها استقرائياً بأمان إلى قيم فيزيائية. ومع ذلك، تتزايد كلفة الحوسبة عكساً مع كتلة الكوارك مرفوعة إلى أس ما، مما يجعل الحسابات الحالية تقتصر على كتل كواركية أكبر من 50 MeV؛ بينما تكون الكتلة الفيزيائية للكواركات الخفيفة 5-10 MeV.

هنالك معلومات وافرة عن بنية النكلون تتضمنها توابع توزع الكوارك والغلوون التي يمكن تحرّيها في تجارب التبعثر اللامرن العميقة. تُقدّم توابع التوزع هذه احتمال إيجاد كوارك أو غلوون باندفاع محدّد أو سبين، على سبيل المثال، في النكلون. وتخبرنا الحسابات الشبيكية لأدنى عزم $<x>$ لتوابع توزع الكوارك غير المستقطب عن الجزء من كتلة النكلون الذي تحمله الكواركات. وحتى الآن، وصلت هذه الحسابات إلى طريق مسدودة - فالقيمة المحسوبة لـ $<x>$ أعلى بشكلٍ بارز من القياسات التجريبية المقابلة. وبما أن العزوم المتعلقة بأخف الكواركات هي حسابات مرجعية في التحريك اللوني الكمومي الشبيكي، فإن هذا التناقض يمثل تحدياً حرجاً في فيزياء الهدرون.

ولمقارنة النتائج الشبيكية مع الأرقام التجريبية، ينبغي على المرء أن يستقرىء المعطيات من أدنى كتلة كواركية محسوبة وحتى القيمة الفيزيائية (انظر الشكل). فالاستكمال بالاستقراء الخطي البسيط يغالي في




إن الجزء من اندفاع البروتون $<x>^{u-d}$، الذي تحمله الكواركات فوق مطروحاً منه الجزء الذي تحمله الكواركات تحت تمّ تحديد موقعه بيانياً مقابل $(m_\pi/m_N)^2$، وهي نسبة الكتلة البيونية إلى الكتلة النكلونية مربعة. تُمثل الدوائر الحمر نتائج المحاكيات العددية التي قدّمها حاسب QCDSF اعتماداً على DESY وفريق UKQCD. والنقطة الأرجوانية ناجمة عن التمثيل الوسيطي، الذي قام به آلان مارتن A. Martin وديك روبرتس D. Roberts وجيمس سترلنغ J. Stirling، للمعطيات التجريبية الحالية. وهنالك استقراء خطي بسيط للحسابات الشبيكية ربما غالى في تقدير النقطة التجريبية بنسبة 40%، والطريقة تبنّاها توماس وزملاؤه. يصف الخط الأخضر التنبؤات الشبيكية والمعطيات التجريبية معاً.

تقدير الرقم التجريبي بنسبة 40%، ممّا يوحي بأن الفيزياء الهامة هي قيد الإلغاء. والآن بيّن توماس ومعاونوه أن السحابة البيونية للنكلون تسبب حدوداً إضافية في الكتلة الكواركية، التي يمكن أن تؤدي إلى انحراف كبير عن الخطية طالما أن كتلة الكوارك تسعى إلى الصفر - وهذا ما يسمى بالحدّ الكيرالي (اليدواني). إن الملاءمة مع المعطيات الشبيكية - التي تحافظ على السلوك السليم وتلائم القيمة التجريبية، تتوضح أيضاً في الشكل.

تنطوي هذه النتائج على مضامين هامة. ويبدو أن حسابات كتلة النكلون تتطلب تمثيل السحابة البيونية على الشبيكة بشكلٍ ملائم. ومع أن المرء لا يحتاج إلى حساب القيم التي يمكن ملاحظتها مثل $<x>$ عند كتلة البيون (الكوارك) الفيزيائية، فإن كتلة البيون ينبغي أن تكون صغيرة بما يكفي بحيث يتم جيداً تحديد بارامترات التوسع اللاخطي بالحسابات الشبيكية. وهذه الحالة تتعلق فقط بالبيونات الخفيفة جداً التي تكون كتلتها أقل من 300 MeV تقريباً.

تتطلب نظرية دقيقة للسحابة البيونية حواسيب ذات سرعات تصل إلى العديد من التيرافلوب teraflops (أي $10^{12}$ عملية في الثانية). غير أن هذا سيقدم حسابات موثوقة عن البنية الهدرونية في متناول الجيل التالي من الحواسيب. وهذه الأخيرة تتضمن الآلة APEnext التي تقوم ببنائها مجموعة مراكز مشتركة، وهي INFN في إيطالية، و DESY في ألمانية، وسيرن CERN في سويسرا. وخلال ذلك يقوم الفيزيائيون في جامعة كولومبيا، ومختبر RIKEN في اليابان، واتحاد الجامعات البريطانية بتطوير حاسب يدعى QCDOC. ومثل هذا التقدّم يبرهن على أن النظريين سيتمكنون من السيطرة على القوة الشديدة.■



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

## 3- التبديل السريع لأشعة-X.*

تمّ بنجاح استكشاف بنى البلّورات، بدءاً من المعادن وانتهاءً بالبروتينات، بواسطة أشعة - X. وثمة مُبدِّل فائق السرعة يُحسّن هذه الفكرة ويستخدم بلّورة للتحكم بتوقيت نبضات أشعة - X.

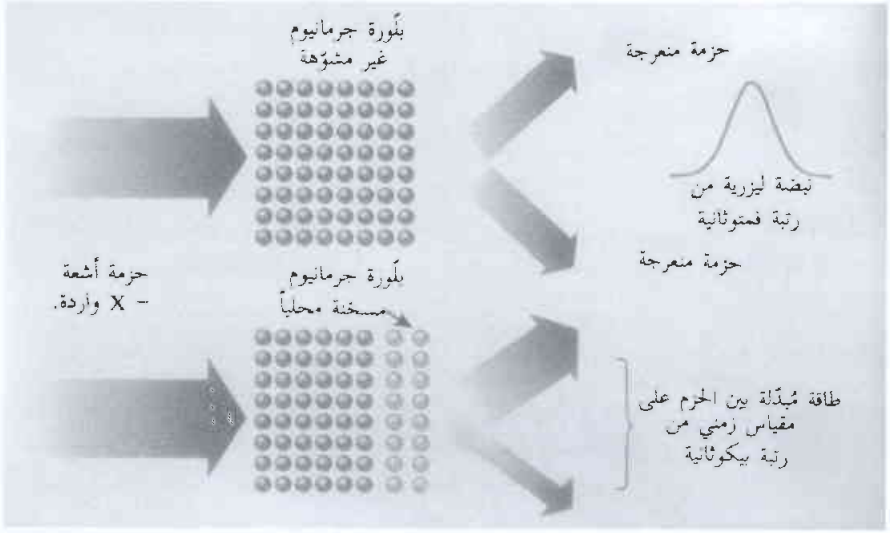
منذ أن اكتشف ويلهلم رونتجن W. Röntgen [1] أشعة - X قبل مئة عام تقريباً، وجدت هذه الأشعة لها استخدامات مهمة في المشافي، والمختبرات، وفي استكشاف الفضاء. كما أثبتت نجاعتها في تحرّي البنى المجهرية للمادة [2]. وبتبعثر أشعة - X من جزيئات صغيرة، أو من بوليميرات حيوية كبيرة، أو بلّورات ماكروسكوبية، استطاع العلماء، تحديد كيفية ترتيب الذرّات الأساسية بالنسبة إلى بعضها البعض. غير أن الحصول على معلومات أساسية حول دينامية التفاعلات الجزيئية يبدو أكثر صعوبة، لكونه يتطلب متابعة لحركة الذرّات الأساسية على مسافات بين ذرّية. لتحقيق ذلك، ينبغي فتح أشعة - X وإغلاقها خلال فترة زمنية قصيرة إلى حدٍّ يكفي "لتجميد" الحركة الذرّية، وهذا ينطوي على تحدٍّ كبير.

لقد بيّن ديكامب DeCamp وزملاؤه [3] كيفية التحكّم بنسبة أشعة - X المنقولة عبر بلّورة على مقياس زمني من رتبة بيكوثانية (1 بيكوثانية= $10^{-12}$ ثانية). وبهذه الطريقة يمكن تطوير مُبدِّل أشعة - X من رتبة ما دون البيكوثانية، الذي قد يكون سريعاً إلى حدٍّ يكفي لمتابعة التغيرات الدينامية في البنية الجزيئية أثناء التفاعلات الكيميائية والكيمياحيوية.

ومع أنه لا يمكن للتحليل البنيوي التقليدي لأشعة - X متابعة تطور التفاعلات، فإنه يُقدّم رؤية عن كيفية عمل الجزيئات، وبالتالي فهو يمثل تقنية تجريبية أساسية في العلوم الحياتية والكيميائية. ويمكن قياس مواقع التوازن للذرّات في الجزيئات المعقدة بدقة مثيرة قدرها $10^{-13}$ m (أي واحد بالألف من طول رابطة جزيئية). إن معرفة البنية المتوازنة للجزيئات تسمح للفيزيائيين والكيميائيين بالتنبؤ بالطريقة التي يمكن أن يسلكوها في الظروف المختلفة. لكن هنالك أجوبة محددّة للعديد من المسائل المهمة تتطلب الملاحظة المباشرة للدينامية الجزيئية.

إن العمليات الجزيئية، كتحطيم الروابط الكيميائية أو تشكيلها، تمت دراستها وتحرّيها مؤخراً من خلال تجارب التحري بالضخ pump-prob experiments فائقة السرعة، التي تستخدم نبضة ليزرية شديدة من رتبة فمتوثانية ($10^{-15}$ ثانية) لإحداث تفاعل أو نبضة سبر ضعيفة متأخرة زمنياً (تعمل بأطوال موجية مرئية أو أطول) لأخذ لقطات تصويرية للدينامية المتتالية [4]. غير أنه من الممكن في هذه الدراسات متابعة التغيرات في المواقع الذرّية في أبسط الجزيئات فقط. وهذا يعود إلى أن الضوء المرئي يمكنه فقط سبر الخواص الضوئية للإلكترونات الذرّية ذات الرابطة الضعيفة، ومن ذلك يمكن استنتاج المواقع الذرّية بالنسبة للجزيئات البسيطة فقط. بالمقارنة، يمكن امتصاص أو بعثرة أشعة -X "القاسية" بأطوال موجية أقصر من الضوء المرئي بـ 5000 مرة بواسطة إلكترونات "لبية" ذات رابطة قوية، بحيث تُقدّم معلومات حول مواقع النوى. لذلك، فإن التباين في امتصاص أو انعراج أشعة - X القاسية يمكن أن يرتبط بشكل لا يدعو للالتباس بالتغيرات الدينامية في البنية الجزيئية بصرف النظر عن تعقيدها.

لقد أدّت هذه التوقعات إلى بذل جهود عالمية لتطوير منابع نبضات قصيرة جداً من أشعة - X القاسية. وثمة طريقة ناجحة لنزع الإلكترونات عن الذرّات (بحيث تتشكل بلازما من الأيونات والإلكترونات) ومن ثمّ تسريع الإلكترونات إلى سرعات قريبة من سرعة الضوء باستخدام نبضة ليزرية قوية من رتبة فمتوثانية. وعندما تصطدم الإلكترونات الطاقية مرة أخرى مع القلوب الذرّية، فإنها تولد دفقة قصيرة من أشعة - X بأطوال موجية مميزة للذرّات في الهدف. ومثل هذه المنابع الموجّهة بالليزر من أشعة - X القاسية تمّ استخدامها مؤخراً في تجارب مُبرهنٌ على مبدئها في امتصاص أشعة - X السريعة جداً وقياسات الانعراج [5-7].




الشكل 1- مُبدّل سريع جداً لأشعة - X اخترعه ديكامب وزملاؤه [3] بهدف توليد نبضات قصيرة جداً من أشعة - X تستطيع اقتفاء الدينامية الجزيئية أثناء التفاعلات الكيميائية والكيميائية الحيوية. يعتمد المُبدّل على بلّورة من الجرمانيوم تنقل أشعة - X بكفاءة عالية (وهذا يعود إلى أثر بورمان). عندما تغادر حزمة أشعة - X البلّورة، تنشطر إلى حزمتين منعرجتين ذواتي شدّتين متساويتين تقريباً. يمكن تعديل بنية البلّورة على مقياس زمني من رتبة فمتوثانية باستخدام نبضة ليزرية لتسخين الشبيكة وتمديدها. ويُعدّ نقل أشعة - X حساساً للغاية تجاه التشوهات الصغيرة في الشبيكة، ممّا يسمح بتعديل شدّات الحزم المنعرجة على مقاييس زمنية سريعة جداً (من بيكو إلى فمتوثانية)، وكذلك فتحها وإغلاقها ممّا يؤدي إلى توليد نبضات قصيرة جداً.

* نُشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 413, 25 October 2001. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

ويمكن توليد أشعة – X القاسية أيضاً في مسرّع الجسيمات المعروف باسم السنكروترون بدون الحاجة إلى أي عمليات صدم. فالإشعاع السنكروتروني تُصدره إلكترونات عالية السرعة تتبع مساراً دائرياً عبر حقل مغنطيسي قوي، وتطلق نبضات تبلغ مدتها نموذجياً عشرات البيكوثانية. في العام الماضي، قام الفيزيائيون بتوليد دفقات ما دون البيكوثانية لأشعة–X القاسية في سنكروترون لأول مرة من خلال منابلة الإلكترونات المُصدرة لأشعة – X بليزر فمتوثانية ذي طاقة عالية [8].

إن العمل الذي قام به ديكامب وزملاؤه يفتح فصلاً جديداً برمّته حول التحكّم بالبنية الزمنية لأشعة – X القاسية، إذ عَدّل الباحثون نقل حزمة من أشعة – X السنكروترونية عبر بلّورة من الجرمانيوم على مقياس زمني من رتبة بيكوثانية بواسطة تغيّرات محفّزة في الشبيكة البلّورية بنبضة ليزرية قصيرة جداً. يسمح لهم "مبدّل" أشعة – X هذا بتعديل حزم أشعة – X القاسية بصرف النظر عن منبع إصدارها. وبذلك تُفتح أشعة – X وتغلق لتوليد سلاسل من النبضات أو حتى نبضات مشكّلة، على مجال واسع من الأطوال الموجية لأشعة – X القاسية.

يتألف النموذج الأولي لمُبدّل أشعة – X، الذي طوّره ديكامب وزملاؤه، من قطعة رقيقة من بلّورة الجرمانيوم المشعّة بضوء ليزري فمتوثانية شديد. وبقطع البلّورة ورصفها بالطريقة الصحيحة توصّل الباحثون إلى نفاذية عالية غير عادية لأشعة – X القاسية الواردة. وعلى وجه الخروج للبلّورة تنشطر حزمة أشعة – X النافذة إلى حزمتين منعرجتين تنتشران بشدتين متساويتين تقريباً في اتجاهين مختلفين إلى حد ما (الشكل1). وتكون شدة حزمتي أشعة – X ونفاذيتهما النسبيتان حساستين للتشوهات الصغيرة في البنية البلّورية ويمكن تسخين وجه الخروج للبلورة بسرعة بنبضة ليزرية من رتبة الفمتوثانية. وسيتمدد الحجم المسخّن بحيث يؤدي ذلك إلى إزاحة الذرّات عن موقع توازنها في الشبيكة (بعملية تدعى التحريض الفوتوني الضوئي). وهكذا تضطرب بنية الشبيكة، ممّا يُعدّل من عملية نقل حزمة أشعة – X الواردة وإعادة توزيع الطاقة بين الحزمتين الصادرتين. وبهذه الطريقة يمكن إغلاق وفتح الحزم أو يمكن بسرعة تبديل الشدّتين النسبيتين للحزمتين.

عندما يكون مُبدّل أشعة – X في حالة التشغيل، تبتعد الذرّات البلّورية فقط جزئياً عن موقع توازنها. لكن هذا يكفي لتبديل جزء هام من طاقة أشعة – X من حزمة إلى أخرى. وهذه التجربة تثبت بشكل رائع حساسية انعراج أشعة – X نحو المواقع الذرّية، وهذه السمة يعتمد عليها التحليل البنيوي لأشعة – X. إن دفق طاقة أشعة – X ضمن الحزم المنعرجة الصادرة يتم تحويله خلال الزمن الذي تستغرقه الذرّات لمغادرة موقع توازنها. وهذا يحدّ القيمة الصغرى لزمن التبديل إلى بيكوثوانٍ في التجربة الحالية، إلا أن نقل حزمة أشعة – X يمكن أن يتأثر باضطرابات بسيطة في توزع الإلكترونات حول الذرّات في الشبيكة البلّورية. وبما أن الإلكترونات أخف كثيراً من النوى التي تُشكّل الشبيكة، فإن مثل هذه الاضطرابات (التي يُشار إليها بالفونونات الضوئية) يمكن توليدها على مقياس زمن تحت البيكوثانية الأسرع بكثير بنبضة ليزرية قصيرة إلى حدٍّ كافٍ. ويمكن تقليل زمن التبديل إلى أقل من بيكوثانية باستخدام الاضطرابات الإلكترونية بدلاً من الاضطرابات الصوتية، ممّا يمهّد الطريق لتوليد نبضات من أشعة – X القاسية زمنها من رتبة الفمتوثانية.

كيف يمكن مقارنة هذه الطريقة مع التقنيات الأخرى المستخدمة في التحكّم بأشعة – X على مقياس زمني سريع جداً؟ إن منابع أشعة – X القاسية الموجّهة بالليزر يمكن أن تولّد نبضات أقصر من بيكوثانية، لكن طالما أنها تُصدر فوتونات في جميع الاتجاهات فإن جزءاً فقط من فوتونات أشعة – X يمكن تركيزه على المادة المعنية. وتُعدّ السنكروترونات قادرة على توليد حزم قوية مسدّدة (شبيهة بالليزر) من أشعة – X معرّضةً بذلك الأهداف إلى العديد من الفوتونات الإضافية، إلاّ أن التقنيات التي تُشكّل الحزمة الإلكترونية في سنكروترون لتوليد نبضات قصيرة جداً تتطلب إجراء تعديلات مكلفة على منبع أشعة – X. وهذا ممكن فقط بالنسبة لخطوط الحزمة المخصصة. وبالمقارنة، يُعدّ مُبدّل أشعة – X الذي اخترعه ديكامب وزملاؤه أداة متعددة الاستعمالات يمكن إضافتها إلى كل خط حزمة تقريباً بدون الاقتراب من المنبع. وتبقى هنالك تحديات كثيرة كتقصير زمن التبديل باستخدام تحريضات إلكترونية، وتحسين كفاءة التبديل لتوليد نبضات من أشعة – X بتباين جيد. ولكن ما أن تُذلّل هذه الصعوبات حتى تغدو المُبدّلات السريعة عنصراً أساسياً في صندوق الأدوات لسبر الدينامية البنيوية للمادة.

## المراجع


**REFERENCES**

[1] Röntgen, W. K. Nature 53, 274-276 (1896).

[2] Stout, E. G. & Jensen, L. H. X-ray Structure Determination, a Practical Guide (Macmillan, New York, 1968).

[3] DeCamp, M. E. et al. Nature 413, 825-828 (2001).

[4] Bhattchajee, Y. Nature 412, 474-476 (2001).

[5] Raksi, F. et al. J. Chem. Phys. 104, 6066-6069 (1996).

[6] Rischel, C. et al. Nature 390, 490-492 (1997).

[7] Rose-Petruck, C. et al. Nature 398, 310-312 (1999).

[8] Schoenlein, R. W. et al. Science 287, 2237-2240 (2000).■


# 4– إدخال المعادن في البوليميرات*

يمكن أن تُنسب الخواص الفيزيائية والكيميائية المفيدة في كثير من الأجسام الصلبة إلى العناصر المعدنية. وتتضمن الأمثلة على ذلك المواد المغنطيسية المستعملة في تخزين البيانات، والنواقل الفائقة، والمواد الكهركرومية، والحفّازات. من المعروف منذ أمد بعيد أن دمج ذرات معدن داخل سلاسل وحيدة البعد من البوليمير الصنعي يمكن أن يؤدي أيضاً إلى خواص مرغوب فيها. وعلى أية حال، فإن الصعوبات الصنعية في توليد سلاسل جزيئية جهرية تعمل فيها ذرات المعدن عمل مكوّن بنيوي أساسي قد بطّأت التقدم في هذا الحقل من البحث [1].

* نشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol 294, 23 November 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.



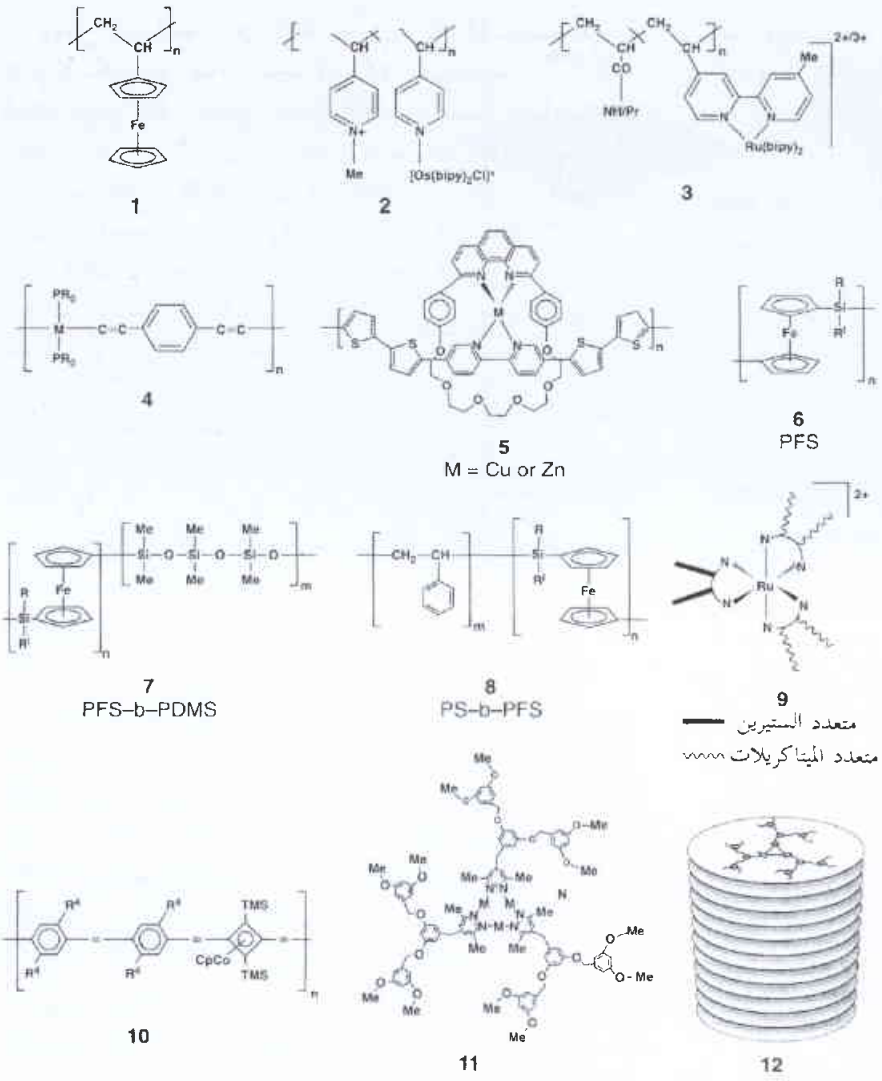
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

لقد تمَّ في العقد الماضي أو ما يقرب من ذلك تجاوز هذه الصعوبات الصنعية نتيجة اكتشاف طريقتي بلْمرة فتح الحلقة والتكاثف المتعدد المحفّز بالمعدن. وقد حصل تقدم جذري نحو توليد مواد هجينة من المعدن والبوليمير لها خواص جديدة ومفيدة [1، 2]. يعتبر نشوء التجميع الذاتي أداة قوية في توليد بنى بوليميرية فوق جزيئية حاوية على المعدن. يساعد هذا الأسلوب في توليد مواد وظيفية مرتبة ذاتياً تتمّم خواصها خواصّ المنظومات العضوية الصرفة.

كانت أولى البوليميرات الحاوية على المعدن هي المواد التي تحوي مبادلات معدنية في السلاسل الجانبية للبوليمير (الرقم 1) (انظر الشكل الأول) [3]. إن البوليميرات القريبة منها، والتي ترتبط فيها معقدات الأوسميوم مع السلاسل الجانبية للبوليمير (الرقم 2)، قد أثارت الاهتمام مؤخراً. يمكن أن يكون الانتقال الإلكتروني بين الإلكترودات وكذلك مراكز الإرجاع والأكسدة المتعذرة البلوغ نسبياً للأنزيمات بطيئةً، مما يعيق عمليات الكشف الكهركيميائية. من الممكن استخدام أفلام رقيقة من بوليميرات الأوسميوم من أجل توسيط نقل إلكترون أو "ربط" أنزيمات مثل أكسيداز الغلوكوز إلى الإلكترودات. سمحت مثل هذه المنظومات توليد مُجسّات الغلوكوز. تستطيع النبائط القائمة على الأنزيمات والحاوية على بوليميرات متصلة بالأوسميوم أن تكشف عن زوج أساس مفرد غير موائم في 18 – قليل النكليوتيد الأساس [4].

استخدمت بوليميرات مماثلة من معقدات الروتينيوم (الرقم 3) في توليد هلامات مهتزة ذاتياً يمكن استخدامها مثلاً في نبائط نابضة لإيصال العقار. وبعكس الهلامات التقليدية، فإن بوليميرات الروتينيوم تنتفخ وتتقلص بشكل دوري في درجة حرارة ثابتة دون حاجة إلى تحفيز خارجي. يُستخدم تفاعل بيلوسوف – زابوتنسكي Belousov - Zhabotinsky المهتز في توجيه الانتفاخ والضمور، الذي يحصل عندما يتأرجح مركز الروتينيوم في حالة الأكسدة وحب للماء بين $Ru^{3+}$ (أخضر) و$Ru^{2+}$ (برتقالي) [5].

أدى اكتشاف البوليميرات العضوية الناقلة كهربائياً إلى تزايد الاهتمام بالجزيئات الجهرية التي يتم فيها إدخال ذرات معدنية في هيكل الكربون المترافق. إن البوليميرات القضيبية القاسية (الرقم 4) التي تحوي في عمودها الفقري، معادن مثل البلاديوم والبلاتين، هي التي انتشرت أولاً في نهاية السبعينيات من القرن الماضي. لقد توسع حالياً التنوّع البنيوي ليتضمن عناصر مثل الحديد والروتينيوم[3]. تُظهر هذه المنظومات ترتيباً بلّورياً سائلاً

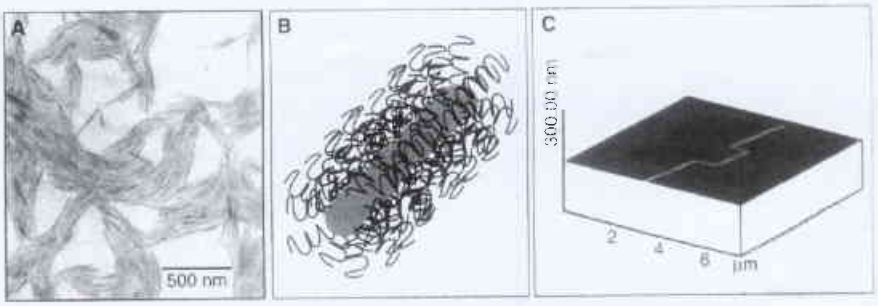



بنى البوليميرات، الجزيئات، والمواد الذاتية التجميع.

في المحلول وتملك خواص ضوئية لاخطية مهمّة. وزيادة على ذلك تقدم المواد مثل الرقم 5 في الشكل قوة دافعة من أجل الحسّ المعدني – الأيوني القائم على الناقلية المعزّزة [6].

مكّنت طرائق بلمرة فتح الحلقة من صنع منظومات بوليمير قائمة على الميتالوسين مثل سينيل سيلانات المتعدد الحديد (PFSs) (الرقم 6) [7]. إن هذه المواد العضوية المعدنية سهلة المعالجة. يعطي التحلّل الحراري مركّبات نانوية حاوية على عناقيد Fe مغنطيسية. يحتفظ الحزف المغنطيسي بشكل المولد الطليعي PFS. يمكن التحكم بحجم الجسيمات النانوية Fe من خلال درجة حرارة التحلّل الحراري، مفسحاً بذلك المجال أمام الخواص المغنطيسية لأن تولّف من المغنطيسية المسايرة الفائقة إلى المغنطيسية الحديدية [8]. يمكن أن تكون مثل هذه المواد مفيدة من أجل خزن البيانات أو من أجل تطبيقات الحجب الكهرطيسي. وتَعِد المواد PFS أيضاً بأن تكون مولّدات طليعية للكرات المجهرية المشحونة كهراكدياً، وكأغطية تبدد الشحنة الواقية، وكمُجسّات تكشف التغيرّات في قرينة الانكسار بوجود محلّل [9، 10].

تسمح طرائق بلمرة فتح الحلقة الأنيونية بتشكيل كتلة البوليميرات المشتركة PFS، فمثلاً تحتوي مادة البوليمير المشترك الثنائي الكتلة (الرقم 7 في الشكل) على متعدد ثنائي ميتيل سيلوكسان (PDMS) [11]. تنحل المادة في الهكسان، المحلّ النوعي من أجل كتلة PDMS، لتعطي مُذيلات micelles أسطوانية (انظر اللوحة A في الشكل الثاني) مع لب PFS محاط بهالة PDMS (اللوحة B). إن البنى مستقرة بشكل كاف بحيث تسمح بتوضعها على الركازات. ويؤدي التوضع في الأخاديد المشكلة بالطباعة الحجرية للحزمة الإلكترونية والمتبوعة بالتنميش البلازمي إلى خطوط خزفية موجهة عرضها من 10 إلى 20 نانومتر (اللوحة C) لها خواص ناقلة أو خواص مغنطيسية ذات كفاءة عالية [12]. من الصعب للبنى السيراميكية ذات الأبعاد الصغيرة كهذه أن تُصنّع وفق تقنيات الطباعة الحجرية المتوفرة حالياً.




نحو بنى خزفية بمقياس النانومتر: (A) صورة المجهر الإلكتروني النافذ. (B) بنية المُذَيلات الأسطوانية PFS-b-PDMS. (C) خط خزفي موجّه على رقاقة سليكون مشتقة من مُذَيلات أسطوانية موجّهة PFS-b-PDMS بواسطة تنميش بلازما الهدروجين.

حُضّرت كتلة بوليميرات مشتركة أخرى أيضاً. ومن أمثلة ذلك الرقم 8 الذي يحتوي على الكتلة المشتركة من متعدد الستايرين العضوي (PS). تنفصل الأفلام الرقيقة لهذه الأطوار المعدنية لتؤدي إلى مناطق دورية نانونية القياس من PFS و PS [11]. ولما كان PFS أكثر مقاومة للتنميش من PS، فإن من الممكن استعمال مثل هذه الأفلام في نمذجة ركازات مثل الكوبالت. وبهذا الأسلوب يمكن الحصول على صفيفات من النقاط النانوية لها تطبيقات هائلة في تخزين البيانات [13].

لقد تمّ أيضاً تتبع عدة مواد أخرى حاوية على وحدات معدنية ضمن هندسات بوليميرية ذاتية التجميع وعالية الكفاءة. حُضّرت كتلة البوليميرات المشتركة ذات الشكل النجمي والقلب المعدني (الرقم 9 في الشكل) بطرائق بلمرة متحكّم بها. يجب أن تبدي هذه المواد سلوكاً فوق حزيئي غنياً ومهماً [14]. لقد طورت كتل البوليميرات المشتركة الحاوية على معقدات تناسقية من سلاسل رئيسة وسلاسل جانبية غير ميتالوسينية، والتي لها أهمية مشابهة [15-17].

إن التجمع الذاتي فوق الجزيئي ليس محصوراً بكتل البوليميرات المشتركة الحاوية على معدن. فمثلاً تشكل البوليميرات المشتركة (الرقم 10) في الحالة السائلة أطواراً بلّورية سائلة، بينما تمّ تحديد أشكال صفيحية وأشكال كأقراص العسل غير المنتظمة في الحالة الصلبة [18]. أستخدمت تأثرات معدنية - معدنية ضعيفة حاوية على عناصر انتقالية ثقيلة من Cu، Ag و Au في توجيه التجمع الذاتي لكتل البناء الدورية (الرقم 11) إلى ألياف متألقة ذات لولبية فائقة قائمة على بنى ركامية (الرقم 12) [19].

تبزغ البوليميرات القائمة على المعدن كمواد مهمة ومفيدة. إن الحاجة إلى اختراقات صنعية أبعد من ذلك لا تزال قائمة، ولكن التنوع البنيوي الهائل ومجال الخواص والتأثرات الجزيئية البينية التي أصبحت ممكنة بسبب وجود العناصر المعدنية، سيجعل من البوليميرات المعدنية فوق الجزيئية في الأبحاث المستقبلية مجالاً خصباً بشكل خاص.

## المراجع REFERENCES


[1] Manners, Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 35, 1602 (1996).

[2] R. D. Archer, Inorganic and Organometallic Polymers(Wiley-VCH. Weinheim, 2001)

[3] P. Nguyen, P. Gomez-Elipe, I. Manners, Chem. Rev. 99, 1515 (1999).

[4] D. J. Caruana, A. Heller, J. Am. Chem. Soc 121, 769 (1999).

[5] R. Yoshida, T. Takahashi, T. Yamaguchi, H. Ichijo, Adv. Mater. 9, 175 (1997).

[6] R. P. Kingsborough, T. M. Swager, Prog. Inorg. Chem. 48, 123 (1999).

[7] D. A. Foucher, B. Z. Tang, I. Manners, J. Am. Chem. Soc. 114, 6246 (1992).

[8] M. J. Maclachlan et al., Science 287, 1460 (2000).

[9] K. Kulbaba, I. Manners, Macromol. Rapid Commun. 22, 711 (2001).

[10] L. I. Espada et al., Inorg. Organomet polym. 10 169 (2000).

[11] Y. Ni, R. Rulkens, I. Manners, J. Am. Chem. Soc. 118, 4102 (1996).

[12] J. Massey et al., J.Am. Chem. Soc. 123, 3147 (2001).

[13] J. Y. Chang et al., Adv. Mater. 13, 1174 (2001).

[14] C. L. Fraser, A. P. Smith, X. Wu, J. Am. Chem. Soc. 122, 9026 (2000).

[15] U. S. Schubert et al., J. Synth. Met 121, 1249 (2001).

[16] S. J. Hou, W. K. Chan, Macromol. Rapid. Commun. 20, 440 (1999).

[17] R. Tassoni, R. R. Schrock, Chem. Mater. 6, 744 (1994).

[18] W. Steffen et al., Chem. Eur. J. 7, 117 (2001).

[19] M. Enomoto, A. Kishimura, T. Aida, J. Am. Chem. Soc. 123, 5608 (2001).

[20] J. A. Massey et al., J. Am. Chem. Soc. 120, 9533 (1998).

[21] J. A. Massey, K. N. Power, I. Manners, M. A. Winnik, J. Am. Chem. Soc. 122, 11577 (2000).■




هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

## 5- مفعول الضوء مع الماء*

*يمكن تسخير ضوء الشمس بواسطة أنصاف النواقل من أجل توليد وقود غاز الهدروجين من الماء. ولن يكون هذا الأسلوب قابلاً للتطبيق إلا عندما يتم تجاوز بعض المعيقات المتعلقة بالمواد، وها هم الكيميائيون الضوئيون يبحثون هذا الموضوع.*

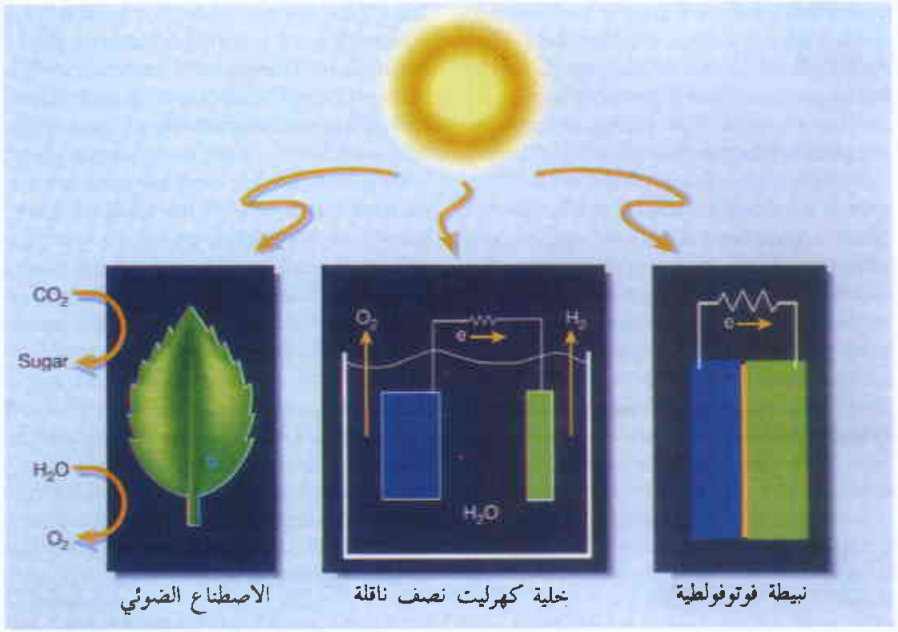
إنها لنعمة كبيرة من الله أن تكون هنالك مادة مستقرة وفعّالة تستخدم ضوء الشمس لشطر الماء إلى هدروجين وأكسجين. الماء وضوء الشمس كلاهما مصدران متجددان ورخيصان. وأحد نواتجهما النهائية، وهو الهدروجين، وقود نظيف يعطي عند الاحتراق ماءً كناتج نفاية. يقوم الباحثون بالتحري عن مثل هذه المادة [1]، ويصف تسو Zou وزملاؤه خطوة في التقدم على طريق هذا البحث الطويل المجهد من الكيمياء الضوئية اللاعضوية [2].

هنالك ثلاثة متطلبات أساسية في كل منظومة من أجل تحويل وخزن الطاقة الشمسية [3]. الأول هو ضرورة أن يكون امتصاص ضوء الشمس فعّالاً لإنتاج حالات إلكترونية مثارة في المادة الماصّة للضوء، الحفّاز الضوئي. والمتطلب الثاني هو أنه للحصول على عمل مُوجَّه، سواء كان بشكله الكيميائي أو الكهربائي، يجب أن يكون الإلكترون المثار ضوئياً وشاغر الإلكترون المرافق له مفصولين فضائياً لمنع إعادة اتحادهما الذي يولّد حرارة وضياع طاقة. والثالث هو أن تكون الشحنة المثارة ضوئياً قادرة طاقياً وحركياً لأن تنجز تحولاً كيميائياً مرغوباً فيه، مثل شطر الماء مثلاً. وفوق ذلك يجب أن لا ينتج عن هذه الشحنات نواتج نهائية غير مرغوب فيها كالحرارة مثلاً أو تحول كيميائي أو غيره يحطُّ من الحفّاز الضوئي. إن تحقيق هذه المتطلبات في وقت واحد لمطلبٌ صعب المنال.

الأسلوب الشائع هو استعمال أنصاف النواقل كأجهزة امتصاص للضوء. تملك المواد الصلبة نصف الناقلة عادة ميزات امتصاص ضوئي قوي وواسع، محققةً المتطلب الأول من أجل تحويل الطاقة الشمسية. وهي أيضاً بصورة عامة تحقق المطلب الثاني لأن فصل الشحنة الفعّال يكون ميسّراً بوجود الحقول الكهربائية عند السطوح البينية بين نصف الناقل والإلكتروليتات السائلة المختارة. يقدّم الإلكتروليت خام التغذية الكيميائي الذي سيحوَّل إلى الوقود المتشكل من التفاعل الكيميائي الضوئي، ويضمن بأن الشحنة الكهربائية يمكن أن تنساب خلال السائل لإتمام الدارة الكهربائية في خلية التحلل الكهربائي الشاطرة للماء. يبين الشكل 1 الخطط المختلفة لتحويل الطاقة من الشمس مع خلية نصف الناقل - خلية الكهرليت في الوسط.

إن المتطلب الثالث هو الأساس، هذا إذا كانت الشحنة المثارة ضوئياً تستطيع أن تشطر الماء بفعالية. نجد، في العودة إلى عام 1972، ورقة بحث أصيلة [4] تصف التحلّل الكهربائي للماء المدعوم بضوء الشمس تستخدم إلكترودات ضوئية من $TiO_2$ البلّوري. وقد حثّت هذه الورقة موجة من الأبحاث تناولت شطر الماء بطريقة كهركيميائية ضوئية. ونتيجة لذلك حدّدت عدة أكاسيد معدنية بما فيها $SrTiO_3$ و $KTaO_3$ [3، 5]، باعتبارها مواد قادرة على مؤازرة دفع الضوء، وغير مساعدة على التحلّل الكهرضوئي للماء إلى $H_2$ و $O_2$.

ولسوء الحظ، فإن مسألة أساسية قد خذلت التطبيق العملي لمثل هذه المنظومات من شطر الماء. فبالرغم من أن $SrTiO_3$ و $KTaO_3$ تحوّل بفعّالية الفوتونات الممتصة إلى وقود كيميائي مخزون، فإن فرجات العصابات لأكاسيد هذه المعادن - ونعني الطاقات التي يبدأ عندها امتصاص الضوء-




**الشكل 1**- استراتيجيات تحوّل الطاقة من أجل توليد وقود أو كهرباء من ضوء الشمس. إلى اليسار، في الاصطناع الضوئي، تستخدم النباتات الإشعاع الشمسي بالاقتران مع $CO_2$ والماء لإنتاج سكريات (الوقود) و $O_2$. إلى اليمين، تستطيع النبائط الفوتوفولطية أن تحول الطاقة الشمسية مباشرة إلى الكهرباء. عندما يسقط الضوء على خلية شمسية فوتوفولطية، تتحرر الإلكترونات من المادة نصف الناقلة (الأزرق) لتنساب بعدئذ كتيار كهربائي إلى إلكترود معدني.(الأخضر). في الوسط، المنظومة التي استخدمها تسو وزملاؤه [2] والتي تنتج $H_2$ كوقود كامن. تُغمر المادة نصف الناقلة والإلكترود المعدني في الماء. وتحت التشعيع الضوئي تختزل الإلكترونات المثارة ضوئياً الماءَ لتعطي $H_2$، بينما تؤكسد الشواغر الإلكترونية الماءَ إلى $O_2$. طعّم تسو وزملاؤه أكسيد الإنديوم والتنتاليوم بالنيكل فوجدوا أن هذه المادة تمتص الضوء في الطيف المرئي. وهذا تَقدُّم على الحفّازات الضوئية السابقة.

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol 414, December 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

كبيرة جداً لكي تسمح بالامتصاص الفعّال لأغلب الفوتونات في الطيف الشمسي. إن المردود الإجمالي لتحول الطاقة في مثل هذه المنظومات يساوي 1-2% فقط. تحوي مركبات، مثل CdTe (التي تدعى شلكوجينيد المعدن) أو InP (نصف ناقل من النوع III-V)، فرجات عصابة أصغر تتماشى بشكل أفضل مع التوزع الطيفي لضوء الشمس الواصل إلى الأرض. بيد أن هذه المواد إما أن تتآكل أو تصبح خاملة عندما تستعمل كإلكترودات ضوئية في محلول مائي [3، 5]. وعندما يتم جعل فرجة العصابة في مختلف أكاسيد المعادن أصغر ( وذلك للحصول على تراكب أكبر مع الطيف الشمسي)، كما هو الحال في ZnO و$Fe_2O_3$، يصبح كمون الإلكترون المثار ضوئياً في نصف الناقل أكبر إيجابية من الكمون الذي نحتاجه لاختزال الماء إلى $H_2$، ويصبح التفاعل من الناحية الترموديناميكية غير مناسب في ضغط الغرفة المساوي للضغط الجوي [6].

وباختصار، المشكلة هي كالتالي: إن المواد المستقرة في الماء والتي تستطيع أن تشطر الماء إلى $H_2$ و $O_2$ لا تمتص الضوء بفعّالية، والمواد التي تمتص ضوء الشمس بفعّالية لا تستطيع دعم انشطار الماء المحرّض بطريقة كيميائية ضوئية. لا يعكس تحديد "المبدأ الثنوي" للتحلل الكهربائي هذا عائقاً ترموديناميكياً أساسياً لأن المواد، التي فرجة العصابة فيها من 1.5 إلى 1.6 إلكترون فولط، تكون قادرة على تقديم الـ 1.23 فولط من الطاقة الحرّة الضرورية لتحلل الماء تحت ضغط جوّي واحد. وبدلاً عن ذلك، فإن التقييد يكون مفروضاً من التفاعل بين الخواص الضوئية والإلكترونية والكيميائية للمواد الماصة للضوء الموضوعة تحت الاختبار.

إن عمل تسو وزملائه يعطي أملاً بإمكانية التغلب على هذه التقييدات المتعلقة بالمواد. فهم يبيّنون أن إدخال الـ Ni في $InTaO_4$ يمدّد امتصاص الضوء لعائلة المركب الفوتوإلكترود $In_{1-x}Ni_xTiO_4$ إلى المنطقة المرئية من الطيف الشمسي، وتبقى الإلكترونات الضوئية المثارة محتفظة بطاقة كافية لاختزال الماء إلى $H_2$. وعندئذ تؤكسد شواغر الإلكترونات المولّدة ضوئياً الماء إلى $O_2$، متممة بذلك الدارة ودافعة تفاعل انشطار الماء. يبين تسو وزملاؤه أنه في هذه المنظومة تستطيع الأطوال الموجية - ما دامت تساوي 420 nm - أن تحدث عملية انشطار الماء. لقد اعتبروا أن المنظومة مستقرة لأن كمية $H_2$ و $O_2$ (مقدرة بالمول) المنتَجة تزيد من كمية المكافئات المختزِلة في عينة الفوتو إلكترود.

ومع ذلك، فهذه ليست نهاية القصة، لأن مردود التحوّل في منظومة تسو وزملائه أقل من 1%. تتطلب الخطوات التالية توسيع الطريقة لإنتاج مواد تستطيع امتصاص جزء أكبر من المنطقة المرئية للطيف. تكون فرجة العصابة الأمثل من أجل نبيطة أحادية العتبة لتحويل ضوء الشمس إلى طاقة مخزونة بين 1.1 و 1.7 إلكترون فولط، مع النهاية الأعلى للمدى المطلوب من أجل انشطار الماء بسبب التقييدات الطاقية التي ترافق تشكل $H_2$ و $O_2$ في ضغط يساوي ضغط جوي واحد [3]. إن الحدود التي يمكن لعائلة أكاسيد المعادن الموجودة أن تصل إليها بحيث تفي بحاجة التقييدات الطاقية والامتصاص الضوئي معاً، غير مفهومة جيداً من الناحية النظرية أو من الناحية التجريبية. ولهذا فإن التقدم في هذا المجال إلى الأمام سيكون أساسياً لتطوير منظومة تحفيز ضوئي متكاملة من أجل تحويل وخزن الطاقة الشمسية.

إن ما يبعث على التشجيع هو أن جميع الأجزاء في عملية انشطار الماء موجودة في المنظومات البيولوجية: تنتج المنظومة الضوئية II في النباتات $O_2$ من الماء، وتختزل أنزيمات الهدروجينيز الماءَ إلى $H_2$، ويقدم حاصل الطاقة المشتقة من اليخضور ومكونات فاصلة الشحنة للنبات والاصطناع الضوئي البكتيري نموذجاً للامتصاص الضوئي الفعّال وليثنى فصل الشحنة التي تستطيع أن تدفع إلى الأمام التفاعلات الكيمياضوئية المشكلة للوقود. إن النباتات، مع ذلك، بعيدة عن كونها آلات مثلى من أجل تحويل الطاقة الشمسية، إذ لا يتحول من مجموع طاقة ضوء الشمس الساقطة على ورقة الشجر إلى طاقة حرة مخزونة بفعل الاصطناع الضوئي إلاّ 3-4% فقط. إن منظومات الاصطناع الضوئي الصنعية مستوحاة من العملية الحيوية، ولكن هدفها هو تجاوز عطاء هذه العمليات. وهكذا فبالرغم من أن نتائج تسو وزملائه واعدة إلا أن هنالك طريقاً لا بدّ من عبوره قبل أن نتمكن من التغلب على الطبيعة.

## المراجع

## REFERENCES


[1] Bard, A.J. & Fox, M. A. Chem. Res. 28, 141-145 (1995).

[2] Zuo, , Z., Ye,J., Sayama, K. & Arakawa, H. Nature 414, 625-627 (2001).

[3] Tan, M. S. et al., Prog. Inorg. Chem. 41, 21-144 (1994).

[4] Honda, K. & Fujishima, A. Nature 238, 37-38 (1972).

[5] Finklea, H. A. Semiconductor Electrodes (Elsevier, Amsterdam, 1998).

[6] Kung, H. H., Jarrett, H. S., Sleight, A. W. & Ferretti, A. J. Appl. Phys. 48, 2463-2469 (1977).■


# 6- مسارات جديدة بغية التوصل إلى النظرية النهائية*

*يقوم الفيزيائيون النظريون بالبحث عن نظرية كل شيء في ظواهر المادة الكثيفة مثل مفعول هول الكمومي والميوعة الفائقة.*

هنالك تاريخ طويل من العلاقات بين المادة الكثيفة وفيزياء الجسيمات. والمثال التقليدي على ذلك هو آلية هيغز Higgs التي لها أصول في دراسة الناقلية الفائقة، وقد جرى اعتقاد بأنها تفسر كتل الجسيمات الأولية. يتوجه الفيزيائيون النظريون المختصون بالمادة الكثيفة في الوقت الحاضر إلى السعي التقليدي وراء الفيزيائيين المختصين بالجسيمات وهو البحث عن نظرية كل شيء التي توحّد القوى الأربع الأساسية في الطبيعة. في الواقع،

* نشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, December 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

يجادل بعض فيزيائيي المادة بأن الإجابة عن النظرية النهائية لن تكون بسبر طاقات أعلى فأعلى، بل يعتقدون بدلاً عن ذلك بأن ظهورها سيتم في الطاقات المنخفضة.

إن الهدف التالي من هذا الأسلوب الجديد هو في فهم الخواص الكمومية للخلاء على أساس منظومات المادة الكثيفة التقليدية مثل الموائع الفائقة والسوائل الكمومية. الاختراق الحديث في هذا الاتجاه هو اكتشاف شو- شينغ تسانغ S.C. Zhang و جيانبنغ هو J. Hu من جامعة ستانفورد في كاليفورنية وجامعة تسنغهوا في الصين للصيغة الرباعية الأبعاد للظاهرة الثنائية البعد المدروسة كثيراً، ألا وهي مفعول هول الكمومي.

توجهات جديدة: هل ستنبثق النظرية النهائية عند الطاقات المنخفضة من مفعول هول الكمومي؟

الفكرة المفتاحية في العمل، حسب رأي تسانغ، هي تعميم مبدأ الارتياب لهايزنبرغ Heisenberg المعروف بـ "الهندسة غير التبادلية": ففي حين يعني مبدأ الارتياب أنه من غير الممكن إجراء قياس متزامن، ولنقل، لمركبتي x للموقع والاندفاع، بدقة تامة، - فلا يمكن أيضاً في نموذج تسانغ - معرفة المركبات الثلاث للموقع بصورة دقيقة.

أخبر تسانغ مجلة Physics World قائلاً": لقد جرى البحث عن التعميم الأعلى بعداً لمفعول هول الكمومي لمدة طويلة، إلا أنه لم يُعثر سابقاً على الصيغة المتناظرة في جميع الأبعاد". ويتابع " من الممكن أن تكون البنية الرياضياتية وثيقة الصلة بنظرية الأوتار، لكن النموذج مختلف جداً، إنه بعيد عن النموذج الواقعي للكون. ومع ذلك لقد نجحنا في جعل الموقع نفسه غير تبادلي. ويتحرّر كثير من الناس بأن الحل النهائي للثقالة الكمومية يتطلب مثل هذه البنية."

يوافق بعض النظريين على أن العمل مهم، ولكن لديهم أيضاً شكوكاً حول مدى الأهمية التي سيؤول إليها هذا العمل على المدى الطويل. يقول روبرت لوغلين R. Laughlin في ستانفورد "النتيجة عبارة عن اختراق أو كشف مهم في الفيزياء النظرية. لقد حاول كثير منّا أن يحصل على مضاهيات ذات أبعاد أعلى لحالة هول الكمومية ولكننا فشلنا. يمثل نموذج، تسانغ - هو، نوعاً جديداً من المادة لا يضاهي أي شيء آخر معروف من قبل ولا حتى تشكيل شيء مفهوم منه. ومع ذلك، إنه ليس خلاءَ نموذج جدير بالثقة للزمكان." وكمثال على ذلك. يشير لوغلين بأن: الحرارة النوعية للخلاء تتغيّر مع مكعب درجة الحرارة بينما نجدها في نموذج، تسانغ- هو، خطيّة.

يوافق جو بولشنسكي J. Polchinski - من أصحاب نظرية الأوتار في جامعة كاليفورنية في سانتا بربارة - على ذلك قائلاً: "إنه نموذج ممتع يثير الاهتمام". ويتابع: "يشكل مفعول هول الكمومي العادي موضوعاً خصباً في فيزياء المادة الكثيفة ونظرية الحقل الكمومي، ولهذا فإنه يجب أن يكون للتعميم الأعلى بعداً بعض الفيزياء المثيرة، ولكنه كنظرية ثقالة لا يزال بدائياً جداً."

## أسس هول الكمومي

يلاحظ مفعول هول عندما يتم قياس مقاومة غاز من الإلكترونات ذي بعدين في حقل مغنطيسي. لاحظ كلاوس فون كليتسنغ K.v.Klitzing عام 1980 أن مقاومة الغاز تكون مكممة عندما يكون الحقل المغنطيسي عالياً وتكون درجة الحرارة منخفضة جداً: تستطيع المقاومة أن تأخذ فقط القيم التي هي من الشكل h/ve، حيث تدل h على ثابت بلانك Planck، وتدل v على عدد صحيح، وتدل e على شحنة الإلكترون.

يمكن توضيح مفعول هول الكمومي ذي العدد الصحيح باستخدام مقاربة سائل لانداو - فيرمي Landau - Fermi المعيارية الحالية التي تتجاهل بشكل أساسي التأثرات بين الإلكترونات، ولكن هذا الأمر فشل بعد سنتين عندما اكتُشفت المنظومات التي كانت فيها v كسراً. وقد جرى توضيح مفعول هول الكمومي الكسري هذا من قِبَل لوغلين بعبارات شبه جسيمات مشحونة كسرياً أو إثارات في الغاز الإلكتروني. نال كليتسنغ جائزة نوبل 1985 لاكتشافه هذا، بينما اشترك لوغلين مع هورست شترومر H. Stromer ودانييل تسوي D. Tsui في نيل الجائزة عام 1998. وهؤلاء التجريبيون كانوا أول من لاحظ المفعول الكسري.

وبالإضافة إلى الهندسة غير التبديلية، وجد تسانغ وهو، عندما مدّدا نظرية مفعول هول الكمومي إلى أبعاد أربعة، أن المعادلات التي تصف بعض إثارات السائل الكمومي كانت مشابهة لمعادلات ماكسويل Maxwell المتعلقة بالكهرطيسية التقليدية وللصيغة الخطية لنظرية آينشتاين Einstein العامة في النسبية.

ولكن هل سيؤثر العمل تأثيراً مباشراً على أصحاب نظرية الأوتار الذين يحاولون أن يطوروا نظرية كمومية في الثقالة؟ يقول بولشنسكي "ليس بشكل مباشر، بالرغم من أن هنالك تشابهات مع الهندسة غير التبادلية التي جرى استكشافها في نظرية الأوتار، وقد يكون هذا شيئاً جديداً في الاتجاه نفسه." ومع ذلك فإن لوغلين أكثر حذراً إذ يقول "ليس واضحاً إذا كانت الهندسة غير التبادلية، في نهاية المطاف، وثيقة الصلة بالثقالة الكمومية الحقيقية".

## الخلاء والنظرية النهائية

إن الفكرة التي كانت سائدة في السبعينيات من القرن الماضي هي أن نظريتي الثقالة والنسبية تنبعثان من الميكانيك الكمومي للخلاء بدلاً من كونهما مختلفين تماماً. وبهذه المقاربة كان يُنظر إلى الخلاء الكمومي كنوع خاص من المادة، وأن جميع القوانين الفيزيائية تنبثق عندما تنخفض طاقة الخلاء أو درجة حرارته. لخص لوغلين وديفيد باينس D. Pines في مقال لهما عن الموضوع (مجلة Proc. Natl. Acad. Sci، العدد 97 لعام 2000) هذه الفلسفة بقولهما "لم يعد العمل المركزي للفيزياء النظرية في وقتنا الحالي هو في تسجيل معادلات نهائية بل أصبح عوضاً عن ذلك في بيان وفهم السلوك الناشيء كنتيجة منطقية في مظاهره المتعددة.

يقول غريشا فولفيك G. Volovik الفيزيائي المختص بفيزياء الدرجات المنخفضة في جامعة هلسنكي للتقانة في فنلندة "تهدف هذه المقاربة إلى اكتشاف الأصول الممكنة لكلٍ من الثقالة التقليدية والثقالة الكمومية، بالإضافة إلى أصول الكهرطيسية والتأثرات الضعيفة والقوية والمادة بشكل عام." ويتابع قائلاً: "هنالك طريق طويل للسير فيه، ويعتبر مقال تسانغ وهو مهماً ويشكل إحدى الخطوات المرحلية في هذا الاتجاه".

يعتقد فولفيك أن التقدم في هذا الحقل سيعتمد على " التعاون الوثيق بين جماعات فيزياء المادة الكثيفة والطاقة العالية والتثاقلية." ويضيف بأن هنالك أيضاً تشابهاً مهماً بين المادة الكثيفة وفيزياء الثقوب السوداء.

إن تسانغ وهو متحمسان لعدم المبالغة في تأكيد عملهما المهم. ويختتمان عملهما قائلين: "بالرغم من أن هذا العمل لا يزال محدوداً جداً، فإننا نأمل أن يُحرّض إطار هذا العمل التحريات عن الصلة الوثيقة بين المادة الكثيفة وفيزياء الجسيمات الأولية.■

## 7- التصادمات تتحسّس البرودة*

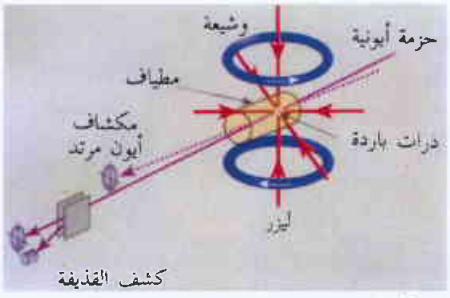
كانت تجارب التصادم الذري على مدى أعوام كثيرة تنطوي بشكل أساسي على قياس انحراف القذائف السريعة التي اخترقت أهدافاً غازية، أو قياس كمية الضوء الذي تصدره الذرات والجزيئات عند رجمها بقذائف مختلفة. ومع ذلك يطمح مجتمع الفيزياء الذرّية في السنوات الأخيرة إلى أبعد من ذلك: فنحن نرغب في إعداد هدف من ذرات لا تفاعلية أو جزيئات في حالة كمومية معينة، وصدمه بقذائف سرعتها واتجاهها وسبينها وحالتها الداخلية معروفة تماماً، ومن ثم تسجيل الزمن، والتواتر، والسرعة، والطاقة، والاتجاه، والسبين، والحالة الداخلية لكل جزء ينبثق عن التصادمات.

إن الأمر يبدو وكأننا تحوّلنا من لعبة البلياردو ذات الكرات الثلاث إلى لعبة البُولة pool ذات الخمس عشرة كرة، ونريد أن نسجل ونوضح ليس فقط التأثير الوحيد لكرة البلياردو، التي تُضرب بعصا البلياردو، في كرة أخرى ولكن أيضاً الرمية "الأولى" التي تبعثر الكرات الخمس عشرة جميعها فوق الطاولة بكاملها بطريقة فريدة. ومؤخراً اتخذ فريقان من الفيزيائيين خطوة أخرى في هذا الاتجاه للمرة الأولى، إذ أنهما جمعا أحدث تقنيات الأسر والتبريد الليزري مع طريقة موضوعة بشكل جيد لدراسة التصادمات.

استخدم كلا الفريقين غازاً محصوراً في مصيدة ضوئية - مغنطيسية بوصفه الهدف في تجارب تستغل تقنية عالية الطاقة تُعرف بمطيافية الاندفاع الأيوني المرتد ذي الهدف البارد (COLTRIMS). وتسمح المجموعة باستخدام تقنية COLTRIMS مع أي ذرة تقريباً في الجدول الدوري وتزيد وبشكل كبير الاندفاع والفصل المكاني الذي يمكن تحقيقه. وهذا التقدم المفاجيء أتاح للفريقين - حيث يعمل أحدهما في مختبر KVI في غرونينغن Gröningen في هولندا، والآخر في جامعة ولاية كنساس في الولايات المتحدة - وضع التفاصيل الحركية كاملة لكل ذرة - أيون يلتقيان في تجارب التصادم عند طاقات من مرتبة keV.

ومع أن النتائج التجريبية الأولى لا تمثل إلا تقدماً محدوداً، فإن اجتماع هاتين التقنيتين يُنبيء بمرحلة جديدة في تصادمات ذرّة - أيون. فهو يوحّد تطورات جديدة في مجال الإلكترونيات السريعة وكشف الجسيمات الفردية مع تقنيات التبريد والأسر الليزري، التي حازت على جائزة نوبل في عام 1997 والتي جعلت من الممكن أيضاً إحداث تقدم كبير ومفاجيء في تكاثف بوز - أينشتاين الذي تمّ تقديره بجائزة هذه السنة. وهنالك رؤى جديدة وبيانات دقيقة حول التصادمات التي تحدث في البلازما المتشكلة بصورة طبيعية وصنعية (كتلك التصادمات الموجودة في صناعة الإلكترونيات، وتجارب طاقة الاندماج، والوسط الشمسي والبينجمي) من المحتمل أن تكون نتيجة هذا الاقتران.

تعتمد تقنية COLTRIMS على مكاشيف حديثة متعددة الأهداف - مكاشيف جسيمية قادرة على تسجيل عدد كبير من الحوادث التلقائية بشكل مستقل - لتسجيل وتحديد الذرّات الإفرادية، والأيونات، والإلكترونات والبروتونات الناجمة عن تصادم ما. وهذا يتيح إعادة تشكيل مسارتها واندفاعاتها لإظهار جميع تفاصيل التصادم. وهذه الطريقة تسمح لنا بإمعان النظر في داخل منطقة التصادم المعقّدة والمسيطر عليها كمومياً حيث تحدث جميع عمليات إعادة الترتيب والفصل والانحراف والارتداد على مسافات أقل من 1 nm ($10^{-9}$ m) وفي أزمنة أقل من 1fs ($10^{-15}$ s).




في تجربة MOT_COLTRIMS المشتركة تصطدم حزمة من أيونات السيزيوم (الأرجوانية) مع غاز من ذرات الروبيديوم (الهدف - الأبيض) داخل مصيدة ضوئية - مغنطيسية. تؤسر ذرات الغاز وتبرّد بالتأثير المشترك لست حزم ليزرية (حمراء) والحقل المغنطيسي الذي تولده وشائع هلمولتز المضادة (الزرقاء). ويقوم المطياف ومكشاف حساس موضعياً ذو بعدين (2D-PSD) بتسجيل جميع تفاصيل الأيونات الهدف بعد التصادم، بينما يقوم بتسجيل تفاصيل القذيفة مكشاف 2D-PSD آخر.

إن حوادث التصادم التي تحدث في الطبيعة نادرة وبسيطة كتلك التي اخترناها تقليدياً لدراستها في المختبر، والتي اختيرت بصورة رئيسة لأننا نعتقد أن لدينا فرصة مناسبة لفهم ما يجري. فالتصادمات "الفعلية" يمكن أن تتضمن العديد من الأجسام المنفصلة (إلكترونات، نوى، مجموعات متنوعة من هذه الإلكترونات والنوى، وفوتونات) تعمل إما مع بعضها أو على التتابع، بشكل مستقل أو على التوافق. تركز تقنية COLTRIMS بشكل رئيس على شظايا الهدف التي تنشأ أكثر من أن تركز على القذيفة المنطلقة بسرعة. ولهذا من الضروري التخلص من الحركة الحرارية العشوائية في الهدف بحيث لا تصبح الكمية

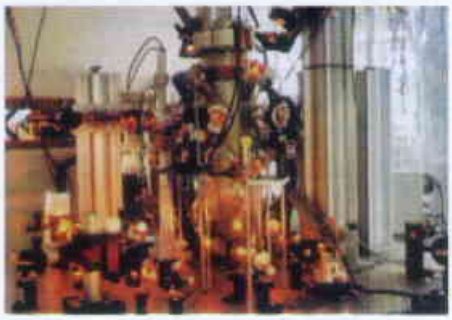
* نشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, December 2001. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الكبيرة من المعلومات، التي تتضمنها هذه الارتدادات الحسّاسة، ضبابية.

يمثل الهدف في تجربة KVI وتجربة جامعة ولاية كنساس غازاً من ذرات قلوية مبرّدة ليزرياً حتى 1 mK من الصفر المطلق داخل مصيدة ضوئية – مغنطيسية (MOT). وهذه الأهداف أبرد بكثير من الغازات النادرة المبرّدة ذرّياً والمتمددة بشكل فوق صوتي (كغاز الهليوم أو الأرغون)، التي استخدمت في تجارب COLTRIMS السابقة وبالتالي تكون حركتها العشوائية أقل بكثير.



تجربة MOT_COLTRIMS المشتركة لدى مختبر KVI في غرونينغن.

قام فريق تجربة KVI بأسر وتبريد $10^6$ ذرة صوديوم ليزرياً في حالتها الأساسية لتشكل سحابة صغيرة قطرها 2-3 mm. ومن ثم رُجمت السحابة بأكسجين مؤيَّن ست مرات، تم تسريعه إلى سرعة تماثل سرعة الإلكترونات الذرّية. وسجّلت الحوادث التي ارتدت فيها أربعة أنماط من أيونات الصوديوم – $Na^+, Na^{2+}, Na^{3+}, Na^{4+}$ – عن الهدف، كونها تخلت عن إلكترون أو أكثر من إلكتروناتها لأيونات الأكسجين العابرة.

ولدى تسجيل المركبتين الطولية (على طول حزمة الأكسجين) والعرضانية بدقة للسرعة المرتدة، بالإضافة إلى زمن طيران الارتدادات إلى المكشاف المتعدد الأهداف، كان الباحثون قادرين على إعادة تشكيل توزع التغير في الطاقة (قيمة Q) وفي الاندفاع العرضاني بدلالة تابعية حوادث أسر الشحنة المتعددة الإلكترون للمسافة الدنيا بين القذيفة والذرّة أثناء التصادم. فعندما يمر أيون الأكسجين قرب ذرة الصوديوم، فإن شحنته الموجبة تزيح إلكتروناً أو أكثر مسببة ارتداد ذرة الصوديوم. وكلما تمّ الالتقاء بشكل أقرب، كان الارتداد أقوى.

تسمح طيوف القيمة – Q بإجراء استنتاجات حول الحالات الإلكترونية التي تؤسر فيها الإلكترونات بواسطة الأكسجين. وثمة إمكانية خادعة يشار إليها في البيانات تتمثل باحتمال وقوع بضعة حوادث تتحرر فيها مبدئياً أربعة إلكترونات من ذرة صوديوم واحدة، ولكن بعد أسر الإلكترون الثالث بالأكسجين (بحيث يكون الأكسجين والصوديوم مشحونين بالتساوي في تلك اللحظة)، يمكن عندئذ إعادة أسر الإلكترون الرابع بالصوديوم. هذا يعني أن التداخل الكمومي يمكن أن يحدث بين عملية إعادة الأسر الثلاثي المباشرة. وقد يكون من الممكن ملاحظة هذه الإشارة باستخدام تجربة مستقبلية مشتركة بين MOT - COLTRIMS بطريقة مماثلة للأهداب في تجربة شقي يونغ التقليدية.

قام فريق ولاية كنساس بأسر غاز مؤلف من ذرات الروبيديوم – 87 مستخدماً الضوء تحت الأحمر القريب الصادر من ليزر ديودي وصدمه بأيونات السيزيوم المشحونة بشحنة فردية طاقتها 6 keV. عندما أسر أحد أيونات السيزيوم إلكتروناً 5s أو 5p من ذرة الروبيديوم (وكلتا الحالتين كانت موجودة في المصيدة)، فإن أيون الروبيديوم الناتج والمشحون بشحنة فردية قد ارتد. ويمكن تسجيل هذا الارتداد بمكشاف حسّاس موضعياً ذي بعدين. وتمّ تسجيل ذرة السيزيوم المنحرفة قليلاً – والحيادية الآن – في مكشاف مماثل.

تسمح درجة حرارة هدف MOT المنخفضة للغاية بفصل حوادث التصادم اعتماداً على الحالة الأولية للروبيديوم، وكذلك تبعاً للحالة النهائية للسيزيوم. كما أنه من الممكن قياس توزع زوايا التبعثر بميز قدره 30 مكرو راديان لكل تركيب للحالة البدائية والنهائية. إن ميز الاندفاع الخطي الذي حققته المصيدة الضوئية – المغنطيسية MOT يشير إلى أن تحسيناً بمقدار عشرة أضعاف عن ميز COLTRIMS التقليدي سيكون ممكناً في المستقبل.

تسمح أيضاً النتائج التي اتسمت بالوضوح للباحثين بدحض الافتراض الذي دام 35 عاماً فيما يتعلق بدور استقطاب اللب في نقل شحنة السيزيوم – الروبيديوم التي لم يكن حتى الآن بالإمكان اختبارها بأي تجربة أو نظرية. ومع أن الافتراض الأصلي يمكن أن يتجاوز غايته، فإن الأهمية لهذه التجربة تتمثل بكونها تبين أن الدراسات الدقيقة للتصادمات الذرّية هي ممكنة الآن مع مجموعة الذرات المبردة ليزرياً بمطيافية أيونات مرتدة.

وبالإضافة إلى عرض تحسينات مهمة في ميز تجربة COLTRIMS ومجال الذرات التي يمكن دراستها، فإن المصائد الضوئية – المغنطيسية يمكن أن تسمح باستخدام أنماط جديدة من الأهداف. وهذه بدورها تتضمن أهدافاً من جزيئات وربما من كثافات بوز أيضاً. ويَعد هذا العصر الجديد من فيزياء التصادم الذرّي بأن يكون أكثر إثارة بالفعل.■

## 8– فيزياء كرة القدم*

إنّ دورة كأس العالم لكرة القدم، التي بدأت نهاية الشهر الماضي في كوريا الجنوبية واليابان، تُقدّم للفيزيائيين فرصة ذهبية للتمعّن والتفكير في الميكانيك والتحريك الهوائي لكرة القدم.

تُعدّ كرة القدم أشهر رياضة في العالم. ويشاهد الملايين في هذه الأيام دورة كأس العالم لكرة القدم على التلفاز، ومعظم هؤلاء المشاهدين يمارسون هذه اللعبة بأنفسهم. ومع إعطاء هذه الرياضة كل هذا الاهتمام، يلفت انتباهنا قلة الاهتمام بالنواحي العلمية لهذه اللعبة. فعلى سبيل المثال تخدُّم كل من لعبتي الغولف والكريكيت بشكل أفضل ولكن الميكانيك

* نشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, May 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

والتحريك الهوائي لكرة القدم يضعان أمام الفيزيائيين العديد من التساؤلات المتنوعة والهامة. وعندما نذكر فيزياء كرة القدم نناقش عادةً طيرانها المنحني. فخلال دورة كأس العالم عام 1974، على سبيل المثال، دُهش ملايين المشاهدين في العالم بالركلة المذهلة "ركلة الموزة" التي قام بها البرازيلي روبيرتو ريفيلينو R. Rivelino. ومنذ ذلك الوقت، أصبحت القدرة على توجيه الكرة ودورانها مهارة من مهارات هذه الرياضة.

لايشعر الجمهور أبداً بالملل من مشاهدة كرة منحنية ومصوّبة بشكل متقن. ففي عام 1997 ذُهِل مشجعو كرة القدم في العالم بالركلة الرائعة التي وجهها البرازيلي روبيرتو كارلوس R. Carlos في مباراة البرازيل ضد منتخب فرنسا، حيث صُوِّبت ركلته هذه من ضربة حرة على بُعد 30 متراً من المرمى ثم تجاوزت حائط المدافعين بأقل من متر قبل انحنائها وتوضّعها في الزاوية العليا لمرمى المنتخب الفرنسي.

يأمل مشجعو منتخب إنكلترا من ديفيد بيكهام D. Beckham، الذي يُعدّ الهدّاف الحالي للمنتخب، النجاح بتسديد هذه الركلات نفسها في هذا الصيف، شريطة أن يشفى العظم المكسور في قدمه.

يعلم معظم الفيزيائيين أن الركلة المنحنية تُعزى إلى ما يسمى بتأثير ماغنوس Magnus ولكنها تبقى غامضة الشرح من خلال الأوصاف البسيطة التي تُقدّم عادةً والتي تكون مضلِّلة أحياناً. لنبدأ أولاً بمشكلة أبسط وهي ارتداد الكرة. لارتداد الكرة العديد من الدلالات المثيرة للجدل في مباريات كأس العالم. فمن منّا ينسى الخلاف الذي دار حول الهدف الثالث الذي أحرزه جيوف هورست G. Hurst في نهائيات كأس العالم بإنكلترا عام 1966 ضد منتخب ألمانيا الغربية في ويمبلي Wembley، حيث كانت النتيجة 2-4 لصالح إنكلترا؟

لقد ارتدت الكرة التي ركلها هورست من العارضة ودخلت إلى المرمى ومن ثم ارتدت إلى الخارج وأُبعدت من قِبَل مدافع ألماني. فكيف حصل هذا؟

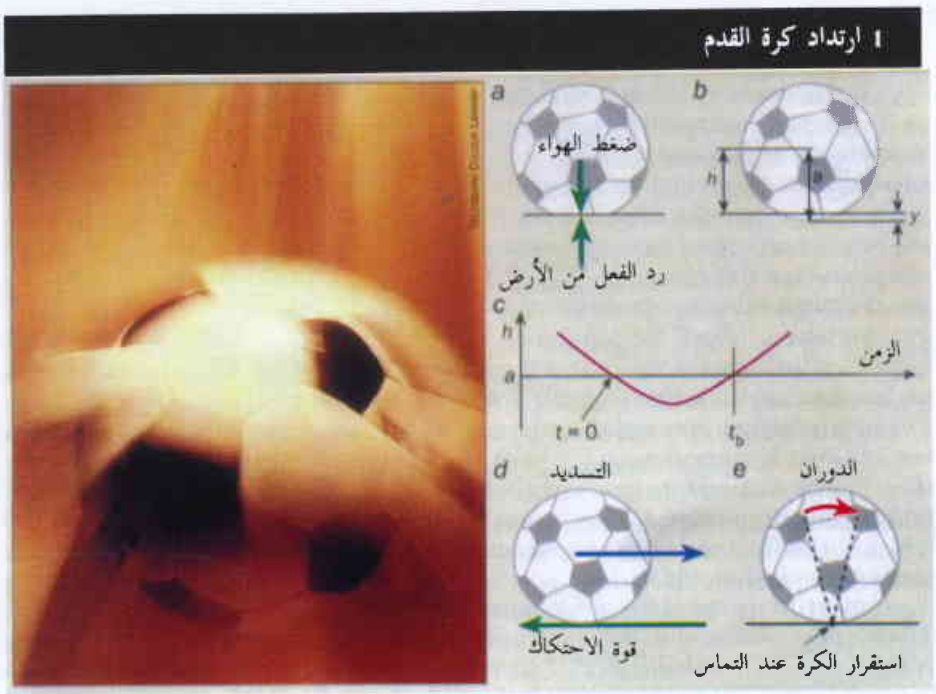
## الارتداد

تُعدّ طريقة ارتداد الكرة عن الأرض هامة في لعبة كرة القدم. فالارتداد العالي يمكن أن يُفسد اللعبة بأكملها إذا كان السطح قاسياً، في حين لاتعطي الكرة اللينة أي ارتدادٍ يُذكر. ولكن من المهم جداً معرفة أن الركلة هي عبارة عن ارتداد عن القدم. وهنالك نقطة هامة أخرى يجب الإشارة إليها وهي أنه في رياضة الغولف أوالسكواش يزيد ارتداد الكرة عن سطح قاسٍ من مرونة المادة؛ فمن المعروف أن كرة القدم ليس لها أية مرونة، وإذا سقطت كرة خالية من الهواء على الأرض تبقى ثابتة دون حراك.

وللحصول على لمحة عن فيزياء ارتداد الكرة، دعونا نتأمل أبسط حالات الارتداد وهي السقوط الشاقولي. فعندما ترتطم الكرة بالأرض، يصبح السطح السفلي للكرة مستوياً وبالتالي ينشأ لدينا توازن بين ضغط الهواء نحو الأسفل وقوة رد الفعل من الأرض نحو الأعلى (الشكل 1a). وبما أن ضغط الهواء منتظم بصورة أساسية، فإن قوة رد الفعل هذه تتناسب مع مساحة سطح التماس والتي بدورها تتناسب مع التشوه الشاقولي للكرة شريطة أن لايكون هذا التشوه كبيراً.

يبيّن الحساب البسيط أن تشوه الكرة $y = a-h$ (انظر الشكل 1b) يتغير جيبياً مع الزمن t وفقاً للعلاقة $y \propto \sin(cp/m)^{1/2}t$، حيث c محيط الكرة و p هو الضغط الزائد عن الضغط الجوي و m كتلة الكرة، ومدة الارتداد هي $t_b = \pi(m/cp)^{1/2}$ (انظر الشكل 1c).

ومن القواعد المنظمة لهذه اللعبة أن تكون الكميات الثلاث التي تحدّد مدة الارتداد – محيط الكرة وضغطها وكتلتها – هي المعتمدة. لنأخذ كرة نموذجية كتلتها 0.45 kg، ومحيطها 70 cm وضغطها يساوي 0.85 من الضغط الجوي ($8.6 \times 10^4 Nm^{-2}$). إن زمن ارتداد هذه الكرة حوالي 8 ملّي ثانية وهي نتيجة مؤكّدة تمّ الحصول عليها بقياسات أُجريت بواسطة كاميرات عالية السرعة. ومن الضروري الإشارة إلى أن هذا الزمن أقصر بكثير من 40 ملّي ثانية وهو زمن الفجوة الذي ينشأ عن تتابع أطر الصور




تلعب عملية ارتداد الكرة عن الأرض دوراً رئيساً في كرة القدم في حين تكون الركلة عبارة عن ارتداد عن القدم.
(a) خلال الارتداد تتوازن قوة ضغط الهواء على غلاف الكرة المفلطح مع رد الفعل من الأرض.
(b) يُعبّر عن ارتفاع مركز الكرة h عن سطح الأرض بـ a-y، حيث a نصف قطر الكرة و y التشوه.
(c) من أجل كرة تسقط شاقولياً تتغير y جيبياً مع الزمن t أثناء عملية الارتداد وفقاً للعلاقة $y \propto \sin(cp/m)^{1/2}t$، حيث c محيط الكرة وp الضغط الزائد عن الضغط الجوي و m كتلة الكرة. تستغرق عملية الارتداد وقتاً مساوياً لـ: $t_b = \pi(m/cp)^{1/2}$.
(d) الكرة التي تضرب الأرض بزاوية سطحية تنزلق أثناء عملية الارتداد.
(e) الكرة التي تضرب الأرض بزاوية منتصبة تدور عند ابتعادها عن الأرض.



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

التلفزيونية، وهذا يعني أننا كمشاهدين نفتقد غالباً زمن الارتداد الفعلي بأدمغتنا التي تملأ هذه الفجوة الزمنية.

تهمل حسابات الزمن وحركة الارتداد التبدّد الناجم عن انثناء غلاف الكرة. لايؤثر هذا التقريب على المقياس الزمني بشكلٍ أساسي ولكنه يغالي في تقديره للطاقة الحركية للكرة. يمكن أن يؤخذ هذا التأثير بعين الاعتبار تجريبياً من خلال صياغة سرعة الكرة بعد الارتداد $v_1$ بالعلاقة $v_1 = ev_0$ حيث $v_0$ السرعة البدائية للكرة و e معامل الارتداد. يتعلق هذا المعامل، الذي يساوي 1 من أجل التصادم الكامل المرونة، بطبيعة السطح الذي ترتد عليه الكرة وهو يساوي 0.8 للسطح القاسي و 0.6 للعشب القصير.

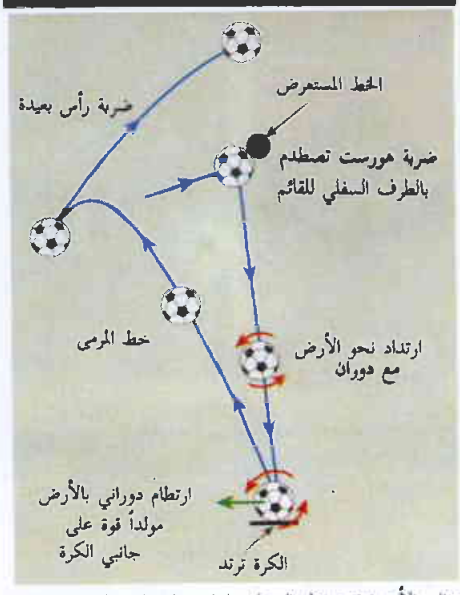
تُعدّ الطريقة التي ترتد بها الكرة عندما تصطدم بالأرض بزاوية ما مع السطح أكثر تعقيداً. تنزلق الكرة أولاً على طول الأرض بسرعة اصطدام أفقية مولّدة قوة احتكاك أفقية. ولهذه القوة تأثيران: إنها تقوم بإبطاء الحركة الأفقية للكرة وتطبق عزم دوران عليها، ويعني هذا العزم أنه عندما تتباطأ الكرة خلال عملية الارتداد؛ فإنها تبدأ بالدوران في الوقت نفسه. وهنالك حالتان تتعلقان بالزاوية بين مسار الكرة وسطح الأرض حين ارتطامها به.

إن الكرة التي ترتطم بالأرض بزاوية ضحلة، يمكنها أن تتابع الانزلاق عند انتهاء عملية الارتداد (الشكل 1d). أما الكرة التي تصدم الأرض بزاوية منتصبة فإنّ السطح السفلي يأخذ وضعية الاستقرار وتتابع الكرة دورانها على طول الأرض خلال ما تبقّى من مدة عملية الارتداد (الشكل 1e).

إذا كانت الكرة تتمتع بمثل هذا الدوران السريع، حيث يتحرك سطحها السفلي باتجاه الخلف، فيمكنها أن تتسارع بالفعل خلال الارتداد. في الحقيقة، إن هذا الأمر نادر الحدوث فمن المتعارف عليه تباطؤ الكرة أثناء عملية الارتداد. لذلك من المدهش سماع قول المعلقين على شاشة التلفاز عن سرعة التقاط الكرة من وضعية الارتداد على سطح رطب. والمتوقع حدوثه في مثل هذه الظروف هو أن الكرة تنزلق خلال عملية الارتداد ولا تتباطأ كما يمكن أن نتوقعه من خلال التجربة، وهذا ما يعطينا انطباعاً أو شعوراً بازدياد السرعة.

لقد تحدّث هورست كثيراً عن الهدف الذي حققه منتخب إنكلترا في نهائيات كأس العالم عام 1966 والذي ربما نتج عن أعظم الارتدادات شهرة في تاريخ كرة القدم (الشكل 2). يمكن وصف ضربتي الارتداد، الأولى ارتداد عن العارضة والثانية ارتداد عن الأرض، باستخدام المفاهيم المذكورة أعلاه، رغم أن ركلة الارتداد عن العارضة صعبة التحليل بسبب شكل العارضة.

**2 الهدف المثير للجدل؟ 1966 وكل ما يتعلق به**




تتالي الأحداث خلال الهدف الثالث المثير للجدل في نهائيات كأس العالم عام 1966 عندما حققت إنكلترا الفوز على منتخب ألمانيا الغربية 4-2. لقد ضربت الكرة خط المرمى ومن ثم ارتدّت خارج المرمى.

إن ما يحدث بالفعل يمكن معرفته عن طريق دراسة الصور الفوتوغرافية والقياسات القدمية التلفزيونية. يكشف لنا تحليل الحركة البطيئة عدم عبور الكرة بكامل محيطها خط المرمى، ولهذا السبب يخطىء كل من مساعد الحكم والحكَم في إعطاء الهدف. وبالطبع تابعت إنكلترا مسعاها في الحصول على هدفٍ رابع ولكن هذا لم يمنع الناس من الاستمرار في الجدل حول ركلة هورست باستمرار. ومع هذا كله هنالك نظرية يمكنها أن تشاركنا الرأي، حيث تقول بأنه لو اصطدمت الكرة بالعارضة عند موضع أدنى لكانت قد عبرت خط المرمى بشكلٍ كامل. وقد حُرِمَ متابعو هذه الرياضة من الاستمتاع بمثل هذا النوع من النقاش.

## الركل

يمكن اعتبار ركل kick كرة القدم ارتداداً. فإذا تحركت قدم اللاعب بسرعة v لحظة اصطدامها بالكرة، تكون سرعة الكرة في مرجع مرتبط بالقدم v- قبل حصول الاحتكاك، ثم ترتد الكرة عن القدم بسرعة ev+، ولهذا السبب تتغير سرعة الكرة بمقدار كلّي يساوي v(e+1) وهو السرعة الفعلية التي ترتفع بها الكرة بعيداً عن القدم. وفي ركلة الجزاء الناجحة، تتحرك الكرة بسرعة 130 km في الساعة متجاوزة مسافة الـ 11 m من نقطة القيام بركلة الجزاء إلى المرمى مستغرقة حوالي ثلث الثانية ومعطية حارس المرمى فرصة صغيرة جداً لصدّ الكرة عن مرماه. تساوي سرعة القدم حوالي 80 km في الساعة.

إن الميكانيك الحيوي للركلة السريعة ممتع أيضاً، حيث يتوضع الجزء العلوي من الساق بشكلٍ دائري، في حين يكون الجزء السفلي متدلّياً في البدء. يتعرض الجزء السفلي من الساق خلال عملية دورانه حول الورك إلى قوة نابذة مركزية تؤدي إلى دفع القدم خارجاً. وأثناء هذه العملية تزداد سرعة القدم في حين تبقى الساق ثابتة عند ركل الكرة. يشبه هذا الأسلوب في اللعب طريقة دفع الكرة في لعبة الغولف، حيث يلعب الذراعان دور الجزء العلوي نفسه من الساق، في حين تأخذ هراوة اللعب دور الجزء السفلي منها، ويتم ضرب الهراوة كلما اقتربت من الكرة.

يحاول اللاعب في الركلة البسيطة توجيه قدمه إلى مركز الكرة ليتأكد من اتخاذ الكرة المسار المطلوب. وتتطلب الركلة المتقنة والذكية، التي تسعى إلى حني مسار طيران الكرة مع بقائها في الهدف، مهارة أعلى. ولفهم قدرة اللاعبين على توجيه الكرة عند ركلها، يجب علينا أولاً معرفة كيف تتحرك الكرة أثناء الطيران.

## التحريك الهوائي لكرة القدم

هنالك تآلف بين معظم الفيزيائيين وقانون ستوكس Stokes الذي يصف حركة الكرات في سائل لزج في حالات السرعات المنخفضة جداً. يمكن تحديد قوة الاحتكاك المطبقة على كرة متحركة في الهواء بشكل



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

كامل بواسطة اللزوجة. يتحرك الهواء حول الكرة على شكل خطوط انسيابية ويعطي إجهاد القص الناجم عن جريان الهواء قوة احتكاك مطبقة على الكرة. وفي هذا النظام تتناسب قوة الاحتكاك هذه مع السرعة v.

تلعب "الشروط الحدّية" عند سطح الكرة دوراً هاماً في التحريك الهوائي للكرة، وغالباً تعالج الكتب التعليمية بشكلٍ رياضي الحالة البسيطة للجريان بدون لزوجة، حيث ينساب فيه الهواء ببساطة على سطح الكرة. لكن في الواقع يبقى الهواء الملامس للكرة ملتصقاً بالسطح ويتحرك معه. يؤثر الشرط الحدّي هذا على عملية الانسياب عن السطح من خلال قوى اللزوجة.

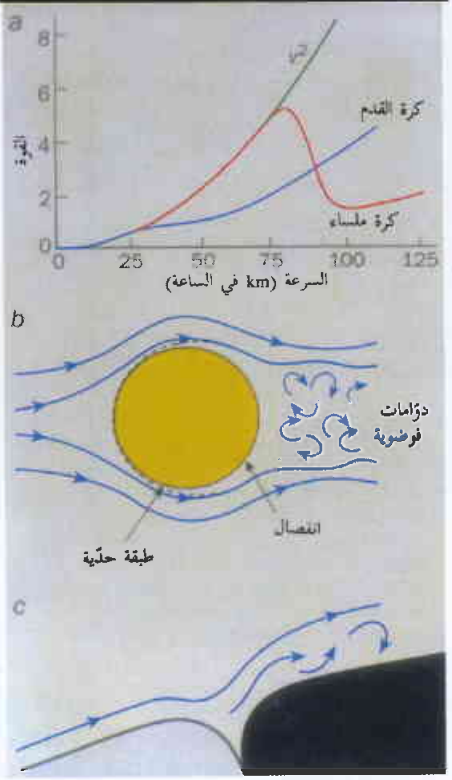
إن المسافة $\delta$ عن الكرة، التي يتأثر على طولها الجريان باللزوجة، تساوي $(Vt)^{1/2}$ تقريباً، حيث V اللزوجة الحركية، و t الزمن الذي يتأثر فيه الهواء مع الكرة. يمكننا اعتبار الزمن المميز مساوياً d/v حيث d قطر الكرة. هذا يعني أن $\delta \sim d/R^{1/2}$ حيث $R = vd/V$ هو "عدد رينولد Reynold". بالنسبة لكرة القدم، إن $R = 3800\ v$ في حين يُعبَّر عن v بالكم/سا.

يتوافق نظام ستوكس مع $R < 1$ وهذا يعني أنه يُطبق فقط على كرات القدم المتحركة بسرعات أقل من 25 cm في الساعة، في حين يكون للكرات المتحركة بسرعات واقعية أعلى من ذلك، لنقل 25 km في الساعة، عدد رينولد يساوي حوالي $10^5$. وبالتالي تبلغ المسافة $\delta$ حوالي d/300 أي 1 mm تقريباً. يُعرف هذا المجال اللزج والضيق عند سطح الكرة بالطبقة الحدّية، وهو مفهوم أدخله الفيزيائي الألماني لودويغ براندتل L. Prandtl في علم تحريك الموائع عند مطلع القرن العشرين. تفقد اللزوجة أهميتها خارج الطبقة الحدّية وبالتالي يصبح التدفق هنا مثالياً.

ومع هذا كله هنالك إضافة لقصتنا هذه. فرغم صعوبة استخدام اللزوجة في تحديد نموذج التدفق، إلاّ أن الاحتكاك الناتج جامد أصلاً. يتأثر نموذج التدفق نفسه بسلوك الطبقة الحدّية. فعند مؤخرة الكرة تنفصل الطبقة الحدّية عن السطح وتصبح غير مستقرة عند السرعات العالية. تسبب حالة عدم الاستقرار هذه بالنسبة للكرة الملساء انخفاضاً كبيراً وغير متوقع في الاحتكاك.

يعطى اندفاع الهواء المتدفق على الكرة بـ $\rho vA$، حيث $\rho$ كثافة الهواء و v سرعة الكرة و A مساحة المقطع العرضي للكرة. ترتبط قوة الاحتكاك $F_D$ بمعدّل تدفق الاندفاع $(\rho vA)$ وتُكتب كما يلي: $1/2C_D\rho Av^2$، حيث

### 3. تدفق الهواء والكرات




(a) قوة الاحتكاك المطبّقة على كرة القدم كما تمّ قياسها من قِبل الكاتب مقارنةً بقيمة الكرة الملساء. يبدي الاحتكاك المطبّق على كرة ملساء انخفاضاً غير متوقع عند "السرعة الحرجة" التي تساوي حوالي 80 km في الساعة في حين يحدث تغير درامي أقل عند السرعة 30 km في الساعة.

(b) تدفق الهواء حول الكرة عند سرعة أقل من السرعة الحرجة. لايستطيع الهواء هنا الدوران إلى خلف الكرة وينفصل هذا التدفق عن الكرة مصدراً دوّامات فوضوية في الخلف تتحرك ببطء.

(c) كيف تؤثر عملية التخييط في الكرة الحقيقية على التدفق الخفيف للهواء حول الكرة.

$C_D$ معامل الاحتكاك الذي يجب قياسه تجريبياً. يتغير معامل الاحتكاك تبعاً لعدد رينولد، وقد تمّ قياسه بشكلٍ دقيق جداً للكرات الملساء. فمن أجل كرة ذات حجم معين تتحرك في الهواء، يتعلق عدد رينولد بالسرعة فقط. لذلك فمن السهل حساب قوة الاحتكاك المطبّقة على كرة ملساء بحجم كرة القدم نفسها. عند السرعة الحرجة التي تبلغ حوالي 80 km في الساعة، يبدأ كل من معامل الاحتكاك وقوة الاحتكاك بشكل فعلي بالتناقص مع ازدياد السرعة، وفوق هذه السرعة تتناقص بشدة قوة الاحتكاك (الشكل 3a).

وتحت السرعة الحرجة، يمنع التبدّد اللزج للطاقة الحركية في الطبقة الحدّية الهواء من متابعة دورانه خلف الكرة، وينفصل التدفق عن السطح. تخلق هذه العملية غير المستقرة أثراً متحركاً يبطء خلف الكرة (الشكل 3b). وعند السرعة الحرجة، تصبح الطبقة الحدّية غير مستقرة ويمتزج الهواء فيها بالهواء السريع المتدفق خارج هذه الطبقة. وهذا ما يضيف اندفاعاً للتدفق ويؤخر عملية الانفصال مسبباً أثراً أصغر واحتكاكاً أقل. لقد تمت دراسة هذه التأثيرات بدقة تجريبياً، وأثبتت تابعية $C_D$ لعدد رينولد من أجل الكرة الملساء منذ بداية القرن الماضي.

## الاحتكاك المطبّق على كرة القدم

رغم توفر العديد من القياسات المفصلة للتحريك الهوائي للكرات الملساء إلاّ أنه لاتوجد نتائج مماثلة من أجل كرة القدم. وبالتالي كيف يمكننا معرفة سلوكية كرة القدم؟ يمكننا الحصول على المدخل الأول لهذه المشكلة عن طريق قياسات الكرات الخشنة مثل كرات الغولف. تبدي هذه الكرات تناقصاً مفاجئاً في معامل الاحتكاك، إلاّ أن النقرات على كرة الغولف تسبب حدوث هذا الانخفاض عند سرعة أقل بكثير مما هي عليه من أجل الكرات الملساء. فبينما يحدث الانتقال عند عدد رينولد المساوي لـ $3.5\text{x}10^5$ من أجل الكرة الملساء، يحدث الانتقال عند $5\text{x}10^4$ من أجل كرة الغولف، (أي أقل بحوالي سبع مرات). يجب أن تُقدّم هذه النقرات بداية حالة عدم الاستقرار التي تنتاب الطبقة الحدّية التي تسبب التناقص في الاحتكاك.

هل كرة القدم ملساء خشنة؟ هنالك حقيقة واحدة مؤكّدة وهي أن اللاعبين المستخدمين لكلٍّ من كرة القدم البلاستيكية الملساء وكرة القدم الحقيقية ذات القطع المخيطة يعرفون أنهما تسلكان سلوكاً مختلفاً. إن طيران كرة القدم الجيدة هو أكثر وثوقية بشكلٍ ملحوظ. فلماذا يحدث هذا؟ إن أهم اختلاف واضح بين هذين النوعين من الكرات هو الشق



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

الموجود على سطح الكرة الحقيقية، حيث تكون القطع مخيطة مع بعضها البعض. ينشأ عن عملية الخياطة هذه تسنّن في السطح بعمق نموذجي حوالي 2 mm. إن خشونة السطح هذه تساوي تقريباً الشخن المحسوب للطبقة الحدّية. ومن المفترض أن تسبب هذه الخياطة حالة من عدم الاستقرار في الطبقة الحدّية وبالتالي تنشىء المزج الذي يؤخر عملية الانفصال وإنقاص الاحتكاك المطبّق (الشكل 3c).

ولعدم وجود أية نتائج تجريبية في الأدبيات العلمية، أقنعت صديقَيّ ديفيد غودال D.Goodall وكريس لوري Ch. Lowry لمساعدتي في القيام بتجربة لقياس الاحتكاك المطبّق على كرة القدم وتحديد تابعيتها لسرعة الهواء. لقد كانت الفكرة الأساسية عبارة عن ربط كرة إلى قطعة من سلك بحيث تصبح حركة الكرة تماماً مثل حركة النواس. وبعد إخضاع الكرة لتدفق الهواء بسرعة محدودة ومعلومة، استطعنا حساب زاوية التوازن θ للنواس مع الشاقول. وبمعرفة القوة الثاقلية mg، حصلنا على قوة الاحتكاك بـ mgtanθ، حيث g هو التسارع الثقالي. وكمتابعة لتجربتنا فقد حملنا النواس في سيارة لاند روفر حيث استطعنا بذلك ضبط سرعة الهواء عن طريق قيادة السيارة بسرعات مختلفة على مدرج محلي مخصّص لهبوط الطائرات، كما ربطنا النواس بنهاية قضيب طويل ثُبّت إلى جانب الشاحنة وتمت مراقبة انحراف الكرة بواسطة كاميرا فيديو. لقد كانت تجربتنا هذه مليئة بالأحداث غير المتوقعة، فمثلاً اقتربت منا بشكلٍ واضح طائرة كانت تنوي الهبوط على المدرج، ولكننا رغم هذه العوائق استطعنا وبنجاح قياس تغير قوة الاحتكاك مع تغير السرعة (الشكل 3a).

لقد حصلنا من نتائجنا هذه على ميزتين واضحتين. الأولى هي تناقص معامل الاحتكاك عند سرعة 40 km في الساعة وبشكل أكبر من تناقصه عند السرعة 80 km في الساعة المتوقعة لكرة ملساء، والثانية هي أن انخفاض معامل الاحتكاك يعوّض تماماً التابعية لـ $v^2$ في معادلة قوة الاحتكاك $F_d$. ولهذا السبب تبقى قوة الاحتكاك المقيسة تقريباً ثابتة بدلاً من انخفاضها بشكلٍ حاد كما يحدث في حالة الكرة الملساء، وقبل أن تزداد ثانيةً عند زيادة السرعة.

تتأثر رياضة كرة القدم بشكلٍ كبير جداً بالاحتكاك المطبّق على الكرة. وإذا لم يكن هنالك أي احتكاك هوائي فإن الركلات الجيدة الموجهة للمرمى والتي تصل عادةً إلى خلفية الدائرة المركزية تقذف الكرة في الهواء لتصل إلى حشود الجماهير المتواجدة في الطرف المقابل لأرض الملعب. وبما أنّ الحد من عملية ارتفاع الكرة وطيرانها يُعدّ جزءاً من تجربتنا، فإننا نسبناه لأنفسنا. يبدو تأثير الهواء أكثر وضوحاً في حالة هبوب الرياح. فهنالك العديد من الهدّافين حققوا أهدافهم بسبب هبوب رياح قوية تؤدي إلى ارتداد الكرة ومرورها من فوق حارس المرمى المفترض وجوده وقتها خارج منطقته. وعلى العكس من ذلك فقد تؤدي الرياح القوية جداً والتي تصل سرعتها إلى 65 km في الساعة إلى إبطاء الركلات أثناء تصويبها نحو المرمى حيث تهبط للأرض بعد ركلها وارتفاعها في الهواء ومن ثم تسير للخلف بدلاً من تقدّمها إلى الأمام.

## تأثير ماغنوس

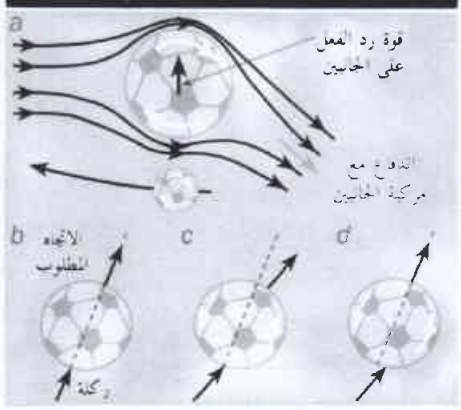
كيف يمكن للاعبين مثل ريفيلينو وكارلوس وبيكهام توجيه الكرة؟ يكمن حل اللغز هنا في القوة العرضانية المطبّقة على كرة دوّامة والتي تمت دراستها من قِبَل المهندس وعالم الرياضيات الإنكليزي بنيامين روبينس B. Robins في القرن الثامن عشر ومن ثم قام الفيزيائي الألماني غوستاف ماغنوس G. Magnus بدراستها في القرن التاسع عشر. تقول الشروح المقدمة حول تأثير ماغنوس إن دوران الكرة الدوّامة يجعل الهواء على جانب واحد من الكرة يتحرك بسرعة أكبر من سرعته على الجانب الآخر، وبالتالي يدل مبدأ برنولي Bernouilli –الذي يقول إن زيادة في السرعة على طول خط الانسياب تحدث انخفاضاً في الضغط – على وجود اختلاف في الضغط بين جانبي الكرة. وينشأ عن هذا الاختلاف قوة جانبية تجعل خط طيران الكرة ينحني.

هنالك بالطبع اختلاف في سرعة الهواء على جانبي الكرة. إلاّ أن دوران الكرة يقود هذا الاختلاف إلى قوة اللزوجة، ووجود هذه القوة يجعل معادلة برنولي غير صالحة. وبالإضافة إلى ذلك فإن نمط التدفق الفعلي للهواء مع انفصال تفاضلي وأثر مضطرب منحرف يجعل حساب موازنة الضغط معقداً جداً.

على أية حال، هنالك طريقة مقنعة وبسيطة وبديهية لفهم أصل القوة المطبّقة على الجانبين. وما يحدث هنا هو أن الكرة الدوّامة تسرّع الهواء المطبّق على أحد جانبي الكرة في حين تبطئه عند الطرف الآخر. فعلى الجانب الذي يتحرك عنده الهواء بصورة أسرع يقوده اندفاعه المتزايد إلى دورة أخرى نحو مؤخرة الكرة وبالتالي تتأخر عملية الانفصال (الشكل 4a). أما على الجانب الأبطأ فيتم الانفصال وبالتالي تكون النتيجة الصافية أن الكرة الدوّامة تدفع الهواء إلى جانب واحد. تدعى قوة رد الفعل المطبّقة على جانبي الكرة بـ "قوة ماغنوس". وبعبارات عامة يمكن القول إن نموذج التدفق الحاصل هو عبارة عن قيام الهواء القادم بضرب الكرة ودفعها جانباً.

لنفترض جدلاً أن القوة الجانبية المطبّقة على الكرة تبقى ثابتة أثناء طيرانها في الهواء، فيكون انزياح جانبي الكرة d عند الزمن t متناسباً مع $t^2$. وبما أن المسافة الأمامية التي تقطعها الكرة هي $x = vt$، فإن انزياح جانبي الكرة d يتناسب مع $x^2$ متخذاً شكل القطع المكافىء. فعندما تستخدم تابعية قوة ماغنوس للسبين والسرعة لحساب الانحراف النهائي

**4 أثر ماغنوس**




(a) كرة تدور أثناء الطيران دافعةً الهواء المتدفق إلى جانب واحد منها. تُعرف قوة رد الفعل المطبّقة على الجانبين بقوة ماغنوس. تتحرك الكرة بالنسبة إلى الهواء نحو اليسار كما هو واضح.

(b) لن تقوم الكرة التي تمّ ركلها بشكلٍ مستقيم بأي دوران أو التفاف.

(c) يمكن لكرة رُكلت بزاوية ما بالاتجاه المطلوب الدوران ولكنها ستسلك الاتجاه الخاطىء.

(d) يجب ركل الكرة المراد دورانها باتجاه الهدف من الزاوية الصحيحة وبعيداً عن مركزها بمقدارٍ مناسب.

$d=D$ عند $x=L$، فإن النتيجة ترتبط بشكلٍ صافٍ بعدد الدورانات التي تقوم بها الكرة. وهكذا تصبح النسبة D/L ببساطة متناسبة مع عدد دورانات الكرة خلال ذلك الوقت. ورغم عدم قيام أي شخص بقياس القوة الجانبية المطبّقة على كرة القدم -حسب اطلاعي- فإن نتائج التجارب المدروسة على كرات أخرى تكشف أن ثابتة التناسب تساوي حوالي 0.01. فعلى سبيل المثال، إذا كان معدّل انحراف الكرة $D=1m$ أثناء حركتها لمسافة قدرها $L=20m$، فإنها ستدور حوالي خمس مرات أثناء طيرانها. وعلى أية حال يتولّد لدي انطباع أثناء متابعتي لركلات الموز على التلفاز بأن هنالك العديد من حالات الانحراف تحدث مع دوران صغير. ربما يوجد هنا شيء ما لانستطيع إدراكه.

## دوّرها مثل بيكهام

كيف يمكننا القيام بحني مسار الكرة أثناء طيرانها؟ يجمع هذا السؤال كل الخصائص الفيزيائية التي تمّت مناقشتها حتى الآن. يتطلب الديناميك الهوائي للطيران المحدّد الملتف طريقة الدوران الصحيحة بالإضافة إلى تحديد السرعة والاتجاه الابتدائي للكرة.

تستدعي الرّكلة التي تؤدي إلى هذا النوع من الطيران وضع القدم على الكرة بالطريقة الصحيحة كما تسمح المعادلات الميكانيكية بحساب الركلة المطلوبة بشكلٍ مفصّل.

ليس مفضلاً القيام بركل الكرة من المنتصف وبالاتجاه البدائي للمسار المختار (الشكل 4b)، لأن الكرة في هذه الحالة لن تدور ولن تلتف أثناء الطيران. وإذا تمّ ركل الكرة من زاويةٍ ما تعطيها الدوران المطلوب (الشكل 4)، فإن الطيران هنا سيأخذ الانحناء الصحيح ولكنه يكون في الاتجاه الخاطىء.

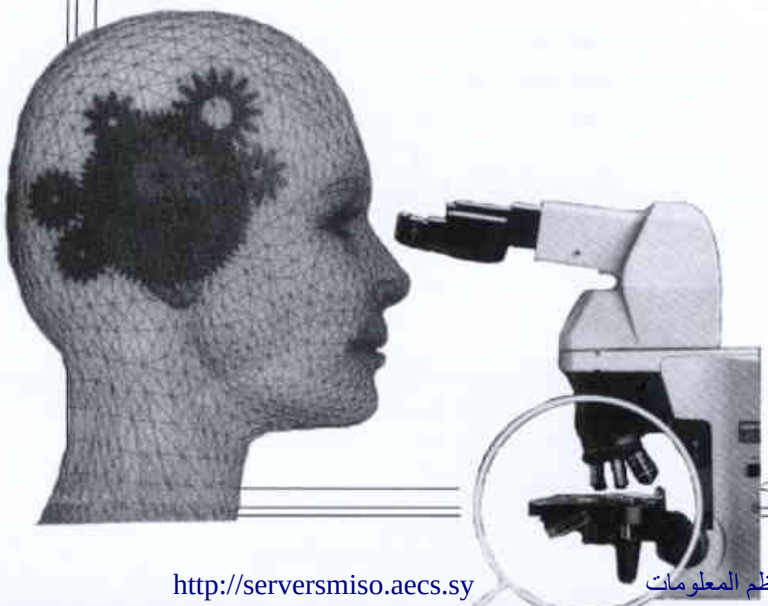
أما إذا رُكلت الكرة بعيداً عن مركزها وبزاويةٍ ما (الشكل 4d)، فإنها تستطيع الدوران الآن بالطريقة الصحيحة متخذة المسار المطلوب. وهكذا يمكنك القيام بهذه العملية. يمكن للقرّاء المهتمين بشكلٍ نظري بهذه الرياضة إعادة حساباتهم، إلاّ أن المهتم بها عملياً يحاول السيطرة على تقنية قذف كرة القدم. وبما أن هذا المقال قد وصل متأخراً إلى القرّاء للحصول مسبقاً على فكرة حول دورة كأس العالم هذا الصيف، إلاّ أنه يمكن تطبيق هذه الخبرة المكتسبة على مباريات كرة القدم لفريقكم المحلّي.■

☆ ★ ☆



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# ورقات البحوث



# محاكاة عدم الاستقرار الترموهدروليكي في مفاعلات البحث عالية التدفق باستخدام الكود ATHLET ★

علي حينون
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق- سورية
أندرياس شافرات
مركز بحوث روسن دورف - درسدن - ألمانية

ملخص

لتغطية دراسات الأمان المتعلقة بمفاعلات الطاقة والتي تشمل الأحداث الانتقالية وأحداث ضياع المبرّد، طورت وكالة أمان المفاعلات الألمانية كود تحليل الأمان الترموهدروليكي ATHLET. ولتوسيع استخدام الكود على دراسات الأمان العائدة لمفاعلات البحث متوسطة التدفق النتروني جرى، في عمل سابق [1] تطوير وتحقيق نموذج فيزيائي يسمح بوصف تشكّل البخار في نظام الغليان تحت البارد (دون المشبع) وذلك لمحاكاة ظاهرة عدم الاستقرار الترموهدروليكي التي تلعب دوراً أساسياً في تحليلات الأمان كونها تُشكّل الحدّ التصميمي الأول في مفاعلات البحث. وقد تمّ في نطاق هذا العمل توسيع النموذج الفيزيائي ليشمل الشروط النوعية لمفاعلات البحث ذات التدفق النتروني المرتفع والتي تتميز بكثافات استطاعية وسرعات تدفق عالية، وذلك من خلال تعديل نموذج تكاثف البخار ضمن المبرّد، إضافةً لبناء علاقةٍ جديدة لحساب التدفق الحراري الحرج (CHF). وللتحقّق من البرنامج المعدّل أعيد حساب مجموعة متكاملة من التجارب المتعلقة بعدم الاستقرار الترموهدروليكي في نظام الغليان دون المشبع، التي أُجريت على وحدة الاختبار الترموهدروليكي (THTL) في مركز الأبحاث الوطنية في أوكرج (ORNL). وقد أظهرت نتائج التحقيق مقدرة الكود المُعدَّل على محاكاة ظاهرة عدم الاستقرار الترموهدروليكي ضمن مجال واسع للتيار الحراري يصل حتى 15 $MW/m^2$ ولسرعة تدفق المبرّد عند مدخل القناة تصل حتى 20 m/s عند ضغط للجملة يقرب من 17 بار. وبمقارنة النتائج الحسابية للكود الموسع مع القيم التجريبية عند نقطة نشوء عدم الاستقرار الترموهدروليكي (OFI) التي تمثل الحدّ التصميمي الأول لقنوات المفاعل، تبيّن أن هناك توافقاً كبيراً بين القيم التجريبية والحسابية المعدّل تدفق المبرّد، في حين تراوح التباين بين ضياع الضغط المحسوب التجريبي عند هذه النقطة بين 25%-3%. أما التباين بين القيم الحسابية والتجريبية لكلٍ من درجة حرارة خروج المبرّد ودرجة الحرارة العظمى لسطح القناة المجهدة حرارياً فقد وصل في حدّه الأعظم إلى 7% و 12% على التوالي.

**الكلمات المفتاحية:** مفاعلات البحث عالية التدفق، أمان المفاعلات، غليان تحت مشبع، ضياع الضغط، عدم استقرار ترموهدروليكي، تدفق حراري، وحدة الاختبار الترموهدروليكي في Oak Ridge، كود ATHLET.

## مدخل

تُجرى على مستوى عالمي دراسات مكثفة نظرية وتجريبية لظاهرتي عدم الاستقرار الترموهدروليكي (OFI: Onset of Flow Instability) والاستطاعة الحرارية السطحية الحرجة (CHF: Critical Heat Flux) بهدف تعيين الحدود التصميمية الخاصة بالأجيال الجديدة لمفاعلات البحث التي يصل التدفق النتروني فيها حتى $10^{15}$ $n/cm^2s$. وقد جرى التوجّه في السنوات الأخيرة نحو تأهيل الكودات الترموهدروليكية المتقدمة، كالكود RELAP [2] والكود ATHLET [3] المستخدمة في تحليل مفاعلات الطاقة، لاستخدامها في محاكاة الحوادث التصميمية وما فوق التصميمية ضمن نطاق دراسات الأمان المتعلقة بتصميم وترخيص مفاعلات البحث تماماً كما هو الحال بالنسبة لمفاعلات الطاقة، وذلك نظراً لما تتميز به هذه الكودات من مقدرة عالية على محاكاة مختلف الظواهر الفيزيائية المرافقة للتشغيل الاعتيادي وحالات الحوادث، ومرونة في النمذجة الواقعية للأنظمة الترموهدروليكية المتشعبة والمعقّدة مع توفير إمكانية التحكّم التلقائي بمختلف مركباتها في الدارة الأولية والثانوية.

وقد دلّت الاختبارات الأولية أن استخدام هذه الكودات في دراسات الأمان العائدة لمفاعلات البحث يحتاج لإجراء تعديلات وتحقيقات إضافية لمراعاة الظواهر الفيزيائية التي تنشأ عن التصميم الخاص لعناصر الوقود والشروط الترموهدروليكية الخاصة التي تعزز نشوء عدم الاستقرار الترموهدروليكي في مجال الغليان (تحت البارد).

في هذا السياق تمّ في عمل سابق [4] تعديل الكود ATHLET بإضافة نموذج فيزيائي جديد يسمح بوصف تشكّل البخار في مجال

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة (2001) *Nuclear Engineering and Design*.



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

الغليان تحت البارد، يأخذ بعين الاعتبار تغير شروط ومعاملات الانتقال الحراري المرافقة لتشكّل فقاعات البخار على السطح الداخلي لقنوات التبريد وتكاثفها اللاحق ضمن المبرّد. وقد حقق الكود المعدّل بواسطة تجارب خاصة تغطي الشروط الترموهدروليكية لمفاعلات البحث متوسطة التدفق النتروني المتميزة بضغوط منخفضة(حتى 2 بار) وتدفقات حرارية دون $200\ W/cm^2$ وسرع تدفق دون 5 m/s.

ولدى استخدام الكود على مفاعلات البحث عالية التدفق النتروني تبيّن أنه من الضروري إجراء تعديل وتوسيع إضافي على النموذج الفيزيائي السابق وخاصة ما يتعلق بتكاثف البخار ضمن المبرّد لمراعاة الشروط الترمودهدروليكية النوعية لهذه المفاعلات المتميزة بضغوط منظومة متوسطة (17 بار) وسرع تدفق عالية جداً للمبرّد تصل حتى 20 m/s إضافة للتدفقات الحرارية الفائقة التي تصل حتى $1500\ W/cm^2$ والتي تفوق كافة القيم المعروفة حتى الآن. وقد تمّ تحقيق الكود الموسع بحساب سلسلة متكاملة من التجارب المتعلقة بظاهرة عدم الاستقرار الترموهدروليكي في محال الغليان دون المشبع والتي أُجريت على وحدة الاختبار الترموهدروليكية (THTL) في Ridge Oak [5] ضمن نطاق البرنامج الأمريكي المتعلق بحساب الحدود التصميمية لمفاعل البحث الأمريكي المتقدم (ANS: Advanced Neutron Source) [6]، إضافة للحدود التصميمية لمفاعل البحث الألماني FRMII الذي يجري إنشاءه بالقرب من ميونخ [7]. يستخدم كلا المفاعلين تصميماً فريداً لعناصر الوقود يمتاز ببنية متراصة للقلب تسمح بتحقيق أعلى تدفقات نترونية لأجل أدنى مستوى لاستطاعة المفاعل. وقد حقّق هذا التصميم، في حالة المفاعل الأمريكي، أعلى تدفق نتروني حراري عُرف حتىالآن حيث وصل إلى $6x10^{15} n/cm^2s$.

## وصف الكود ATHLET

يُستخدم الكود ATHLET (Analysis of Thermal-Hydraulic by Leaks and Transiet) في دراسات الأمان المتعلقة بالحوادث التصميمية التي تُعنى بالحالات العابرة وحالات ضياع المبرّد للمفاعلات المبرّدة بالماء [3]، إضافة إلى استخدامه في دراسات التحليل الترموهدروليكية للأنظمة التقليدية المختلفة. يتألف الكود من مجموعة من الوحدات البرمجية المستقلة فيزيائياً (Modules)، التي يمكن أن تعمل متكاملة ضمن نطاق الكود أو منفصلة بمفردها. وتتألف هذه الوحدات من:

- وحدة التحليل الترموهدروليكي (TFD) التي تأخذ دوراً مركزياً في الكود وتُعنى بوصف كافة الظواهر الترموهدروليكية للتدفقات أحادية وثنائية الطور وذلك بحل معادلات الانحفاظ والاندفاع والطاقة باتجاهٍ واحد لكل طورٍ من طوريّ المبرّد على حدة.

- وحدة النقل والانتقال الحراري (HECU) التي تصف النقل الحراري في البُنى الصلبة والانتقال الحراري بين هذه البُنى والمبرّد في كافة مجالات التدفقات والانتقالات ثنائية الطور.

- وحدة التحريك النتروني (NEUKIN) التي تصف توليد الطاقة بفعل العمليات الانشطارية ضمن عناصر الوقود باعتماد مبدأ حركية النقطة أو الانتشار أحادي البعد.

- وحدة المحاكاة والتحكّم العامة (GCSM) التي تقوم بوظيفة الرقابة والتحكّم بمختلف الوحدات المشكّلة لمنظومةٍ ما (كالمفاعل)، كالتحكّم بالمضخات، ووضعية الصمّامات، وتحريك قضبان التحكّم إضافة للتحكّم بكافة المعطيات الفيزيائية في كل موضع من المنظومة من حرارة وضغط وسرعة تدفق.

- وحدة المعالجة العددية (EBE) لحل المعادلات التفاضلية.

- برمجيات سابقة ولاحقة للمعالجة (Pre - and Post processing) لرسم معطيات التلقين هندسياً وإيضاح نتائج الحساب بيانياً مع إمكانية إظهار نتائج الحسابات الزمنية ديناميكياً بواسطة المحاكي ATLAS.

## تعديل الكود ATHLET

جرى في عمل سابق [4]، [1]، [8] تعديل الكود بإضافة نموذج فيزيائي متكامل لوصف تشكّل البخار في مجال الغليان دون المشبع (تحت البارد). يصف الغليان دون المشبع تلك الظاهرة التي تقود بسبب عدم التوازن الترمودناميكي على امتداد مقطع قنوات تبريد إلى تشكّل البخار على جدران هذه القنوات المجهدة بتيارات حرارية عالية بالرغم من أن درجة الحرارة الوسطى للمبرّد (وهو نفسه المهدىء) ضمن القناة لم تصل إلى درجة الغليان الموافقة للضغط الموضعي. وفقاً لذلك فقد ارتكز النموذج الفيزيائي عند حساب محتوى البخار ضمن قنوات التبريد على حساب معدّل تشكّل فقاعات على جدران قنوات التبريد (الغلاف الخارجي لعناصر الوقود) ومعدّل التكاثف الحجمي للفقاعات ضمن المبرّد اعتماداً على توصيف الآليات المعقّدة لانتقال الحرارة والكتلة المرافقة لعمليات التبخر والتكاثف. كما تضمّن النموذج مجموعة من العلاقات التكميلية شبه التجريبية لتحديد نقطة بداية الغليان دون المشبع، وحجم الفقاعات المتشكّلة ومجموعة من المعاملات الأخرى وفقاً للشروط الترموهدروليكية والهندسية لقنوات التبريد. وقد أُجريت دراسات تحقيق شاملة للتثبت من صحة نتائج الكود بعد تعديله شملت الشروط الترموهدروليكية لمفاعلات البحث متوسطة التدفق النتروني المعرّفة بضغوط منخفضة (حتى 2 بار) وتدفقات حرارية دون $200\ W/cm^2$ وسرع تدفق حتى 4 m/s. بالمقابل تتميز مفاعلات البحث عالية وأعظمية التدفق النتروني بتدفقات حرارية فائقة تصل لأكثر من $1500\ W/cm^2$ وسرع تدفق عالية للمبرّد تفوق 20 m/s إضافة للضغوط التي تصل عند مخرج قنوات التبريد لأكثر من 17 بار.

لدى اختبار إمكانية توسيع استخدام الكود على دراسات الأمان الخاصة بمفاعلات البحث عالية وأعظمية التدفق تُبيّن أن العلاقة التي تصف معدّل تشكّل الفقاعات في واحدة السطح من جدار القناة $\psi_{ev}[kg/m^2s]$ تحافظ على صلاحيتها كون التصورات النظرية والعلاقات شبه التجريبية التي استُخدِمت في اشتقاقها قابلة للتطبيق ضمن الشروط الترموهدروليكية الجديدة:



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

$$\psi_{ev} = \frac{\dot{q} - \dot{q}_{fc}}{h_{ev}} \left( \frac{T_W - T_S}{T_W - T_l} \right)^2 \qquad (1)$$

حيث $\dot{q}$, $\dot{q}_{fc}$ التدفق الحراري الكلي والتدفق الحراري للحمل القسري مقدرتان بـ $W/m^2$، $h_{ev}$ حرارة التبخر النوعية للماء. $T_s$, $T_l$, $T_w$ درجة حرارة الجدار والمبرّد ودرجة الغليان على التوالي مقدّرة بـ K.

أما معدّل التكاثف الحجمي للبخار ضمن المبرّد في مجال التكاثف المتحكّم به حرارياً فيوصف بالعلاقة:

$$\psi_C = 3.6\, C_{kon} \frac{\alpha\, \rho_v\, a}{d_{BA}\, l_{chr}} Ja\, Nu \qquad (2)$$

$C_{kon}$ ثابتة التكاثف بقيمة 0.5 تقريباً، $\alpha$ المحتوى الحجمي البخاري في الحيّز الحجمي، $[m^2/s]a$ معامل التمدّد الحراري، $\rho v$ كثافة البخار، $l_{chr}$ الطول الوصفي، $d_{BA}$ قطر الفقاعة عند الانفصال عن الجدار. أما الثابتة 3.6 فقد نتجت عن حساب القيمة الوسطى لسطح التبادل الكلي للفقاعات في واحدة الحجم باعتماد توزع نوكياما – تانازوري لقطر الفقاعة.

Nu عدد نسلت المعطى كتابع لعدد رينولد وبراندل والذي سنأتي على وصفه لاحقاً. Ja عدد يعقوب الذي يصف النسبة بين الطاقة الحرارية الضرورية لرفع درجة حرارة حجم معين من السائل لدرجة الإشباع إلى طاقة البخار الكامنة في نفس الحجم:

$$Ja = \frac{c_{pl}\rho_l}{h_{ev}\rho_v}(T_s - T_l) \qquad (3)$$

حيث $\rho_l$، $C_{pl}$ الكثافة والسعة الحرارية للماء.

لقد تبيّن لدى حساب تجارب خاصة بتوزع البخار في مجال الغليان تحت البارد عند ضغوط أعلى من 9 بار وسرع أعلى من 4 m/s، أن العلاقة (2) تعطي قيماً مرتفعة لمعدّل التكاثف الحجمي للفقاعات مقارنة مع القيم التجريبية [9] مما يؤكد ضرورة إدخال تعديلات جديدة عليها لمراعاة الظواهر الفيزيائية الناجمة عن الشروط الترموهدروليكية الجديدة. ويعود عدم صلاحية المعادلة (2) لتغطية الشروط التروهدروليكية الجديدة إلى أن العلاقات المستخدمة في حساب معدّل التكاثف اعتمدت على تجارب خاصة لتكاثف الفقاعات تحت ضغوط وسرع منخفضة في حين يؤدي ارتفاع الضغط وازدياد سرعة تدفق المبرّدإلى تغير شروط الانتقال الحراري أثناء التكاثف نظراً لازدياد معدّل اضطراب الجريان (turbulent) وتغير مواصفات الطبقة الحرارية الحدّية المحيطة بالفقاعة. من جهة أخرى تؤثر المعاملات الثلاثة مجتمعة على الحجم الحرج للفقاعة عند انفصالها عن جدار القناة حيث يمكن أن يصل قطرها $d_{BA}$ إلى أقل من 0.04 ملم كما تُبيّن تجارب THTL؛ في حين تقتصر صلاحية العلاقات شبه التجريبية المستخدمة لحساب عدد نسلت Nu في المعادلة (2) وفقاً لماينغر وأفديف [10] على فقاعات ذات قطر أكبر من 0.1 ملم وهي قيمة أكبر بكثير من قطر الفقاعات المتوقعة تحت الشروط الجديدة. لمراعاة هذه الشروط الجديدة وما ينتج عنها من تأثير على معدّل التكاثف الحجمي للفقاعات أدخل تعديل وتوسيع جديد على حساب معامل الانتقال الحراري أثناء تكاثف الفقاعات يصلح لأجل تيارات حرارية وسرع تدفق وضغوط منظومة مرتفعة جداً. وفقاً لهذا التوسيع فقد أُعيدت صياغة عدد نسلت في العلاقة (2) باستخدام علاقة شبه تجريبية لـ Levenspiel [11] لحساب معامل الانتقال الحراري $h_c$ أثناء تكاثف فقاعات البخار المحاطة بسائل تحت بارد:

$$h_c = \frac{f\, C\, h_{ev}}{2\left(\frac{1}{\rho_v} - \frac{1}{\rho_l}\right)} d_B(t) \qquad (4)$$

$d_B(t)$ يصف نصف قطر الفقاعة اللحظي أثناء التكاثف، C معامل تأثير الضغط p[MPa] على التكاثف معطى بالعلاقة:

$$C = 0.2510^{10} p^{-1.418} \quad for\ 1 \leqslant p[MPa] \leqslant 17.7 \qquad (5)$$

f معامل تأثير سرعة السائل المحيط بالفقاعة وفق العلاقة:

$$f = 1 \text{ for } v \leqslant 0.61 \text{ m/s}$$

$$f = \left(\frac{v}{0.61}\right)^{0.47} \quad for \quad v > 0.61\, m/s \qquad (6)$$

يمكن صياغة القطر اللحظي للفقاعة في العلاقة (4) بحساب التيار الحراري $Q_c\,[W]$ المتشكّل لدى تكاثف الفقاعة والمنتقل إلى السائل المحيط بفعل التدرّج الحراري $\Delta T_{sub} = T_s - T_l$ بين طرفي الطبقة الحرارية الحدّية المحيطة بالفقاعة ذات السطح الكروي $A_B$:

$$\dot{Q}_c = \dot{M}_B\, h_{ev} = \rho_v\, \dot{V}_B\, h_{ev} = -A_B\, h_c\, \Delta T_{sub} \qquad (7)$$

$\dot{M}_B$, $\dot{V}_B$ التغير الزمني لحجم وكتلة الفقاعة على التوالي.

بتعويض المعادلة (4) في (7) ومراعاة العلاقة $\dot{V}_B = 1/2 A_B \dot{d}_B$ لأجل فقاعة كروية نحصل على المعادلة التفاضلية التالية:

$$d_B = -f\, C\, \Delta T_{sub}\, d_B(t) \rightarrow \dot{d}_B + k d_B = 0, where: k = f\, C \Delta T_{sub} \qquad (8)$$

بمراعاة الشرط البدئي $d_B(t=0) = d_{BA}$، حيث قطر الفقاعة عند بداية التكاثف يكافيء قطر الانفصال عن الجدار، نحصل على الحل:

$$\dot{d}_B(t) = d_{BA}\, e^{-kt} \qquad (9)$$

نظراً لصغر عمر الفقاعة ضمن السائل تحت البارد (زمن التكاثف $t = \tau_c \leqslant 5$ ms) فيمكن نشر المعادلة السابقة للحصول على التقريب التالي لقطر الفقاعة كتابع للزمن:

$$\dot{d}_B \approx d_{BA}\left(1 - \frac{t}{\tau_c}\right), \quad where: \ \tau_c = \frac{1}{k} \qquad (10)$$

لتفادي استخدام قيم لحظية لمعامل الانتقال الحراري ومن ثم المعدّل الحجمي بسبب الصعوبات التي ستنشأ أثناء المكاملة العددية لمعادلات انحفاظ الكتلة والاندفاع في الكود ATHLET [4] فقد تبيّن أن استخدام قيمة وسطى لمعامل الانتقال الحراري خلال زمن التكاثف يفي بالدقة المطلوبة. من المعادلة (10) يمكن حساب نصف القطر الوسطي للفقاعة خلال زمن التكاثف (يوجد علاقة). بتعويض هذه القيمة في المعادلة (4) يمكن حساب عدد نسلت الوسطي لتكاثف الفقاعات ضمن سائل تحت بارد:

$$Nu = h_c \frac{l_{chr}}{\lambda_l} = \frac{f\, C\, h_{ev} d_{BA}}{4\left(\frac{1}{\rho_v} - \frac{1}{\rho_l}\right)} \frac{l_{chr}}{\lambda_l} \qquad (11)$$

حيث $\lambda_l$ الناقلية الحرارية لسائل المحيط بالفقاعة.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

بتعويض العلاقة (11) في العلاقة (2) نحصل على معدّل التكاثف الحجمي الوسطي للبخار في سائل تحت بارد:

$$\psi_C = \frac{3.6}{4} C_{kon} \alpha \frac{f\, C\, \Delta T_{sub}}{\left(\frac{1}{\rho_v} - \frac{1}{\rho_l}\right)} \qquad (12)$$

بالاستعانة بالعلاقة (1) والعلاقة (12) يمكن حساب معدّلات التباين الكتلي بين الطور السائل والبخاري. وبتعويض هاتين القيمتين في معادلتي انحفاظ الكتلة والطاقة يمكن وصف التوزع الزمني للمحتوى الحجمي للبخار في مجال الغليان دون المشبع في كل موضع من نقاط الحملة الترموهدروليكية.

## التحقق من نتائج الكود (ATHLET VERIFICATION)

تمّ التحقق من البرنامج المعدّل بعد إجراء اختبارات التوافقيه، بإعادة حساب مجموعة متكاملة من التجارب المتعلقة بعدم الاستقرار الترموهدروليكي في مجال الغليان دون المشبع، التي أُجريت على وحدة الاختبار الترموهدروليكية (THTL) في مركز الأبحاث الوطنية في أوكرج (ORNL). تغطي مجموعة التجارب هذه كافة الشروط الترموهدروليكية والهندسية لعناصر وقود مفاعلات البحث عالية وأعظمية التدفق. وبذلك يصبح الكود ATHLET بعد دراسات التحقيق هذه ودراسات التحقيق السابقة على مفاعلات البحث متوسطة التدفق، موثّقاً بالشكل الذي يؤهل استخدامه على كافة أنماط مفاعلات البحث من متدنية وحتى أعظمية التدفق.

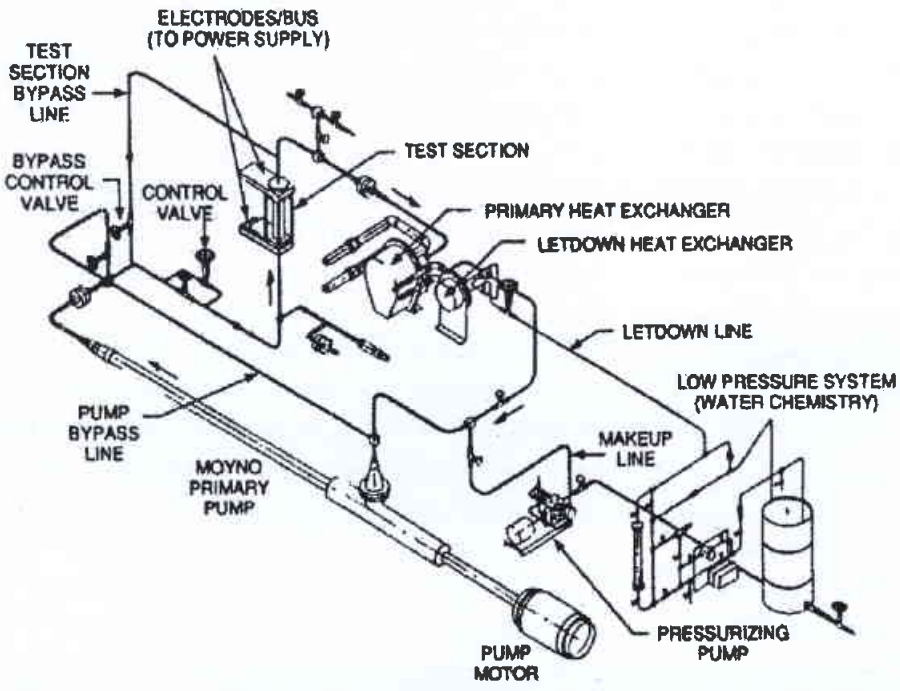
## وحدة الاختبار الترموهدروليكية في Oak Ridge (THTL)

يُظهر الشكل 1 المخطط العام لدارة الاختبار الترموهدروليكية THTL متضمناً المرَكّبات الرئيسية المؤلفة من مجموعة المضخات وأنابيب التوصيل وصمامات التحكّم والمبادلات الحرارية إضافةً لوحدة الاختبار مع المجاز الفرعي (By-Pass) الموصول بها على التوازي ووحدة التسخين الكهربائية

ويُظهر الشكل 2 مقطعاً عرضياً لوحدة الاختبار التي تحاكي سلوك قناة واحدة من قنوات تبريد مفاعل البحث ANSR. تزود هذه الوحدة بالطاقة الكهربائية عن طريق المقاومة الكهربائية لجدار القناة التي يبلغ ارتفاعها 507 مم. وتمتلك القناة مقطعاً مستطيلاً بطول 12.7 مم وعرض 1.27 مم فقط. يبلغ سمك جدار القناة المصنوع من الألمنيوم 2.54 مم وقد خُفّضت السماكة عند الزوايا الدائرية الأربع لمقطع القناة إلى 0.63 مم وذلك للحدّ من التدفق الحراري تفادياً لارتفاع درجة حرارة المبرّد ومن ثم جدار القناة إلى قيم تؤدي إلى تلف الجدار وانصهاره (burn-out) عند هذه المواضع. وتبلغ نسبة التدفق الحراري عند الزوايا الدائرية إلى المواضع الأخرى حوالي 0.36. وقد وضعت وحدة الاختبار ضمن غلاف من الستانلس المغطّى بعازل خارجي، ولحمت كلٌ من نهايتيها (مدخل ومخرج) بفلانش من الألمنيوم وُصِلت عن طريقه التغذية الكهربائية؛ وزودت هذه المواضع بثقوب محازنة مجهزة بحساسات لقياس درجة حرارة وضغط المبرّد عند مدخر ومخرج القناة كما جُهّزت الوحدة بمقياس جريان لمعدّل تدفق المبرّد وبمزدوجات حرارية لقياس درجة حرارة الجدار الداخلية والخارجية عند مواضع شاقولية مختلفة. في حين لم تزوّد الوحدة بأي مسابر لقياس توزع المحتوى الحجمي البخاري على طول القناة.

## طريقة إجراء التجارب

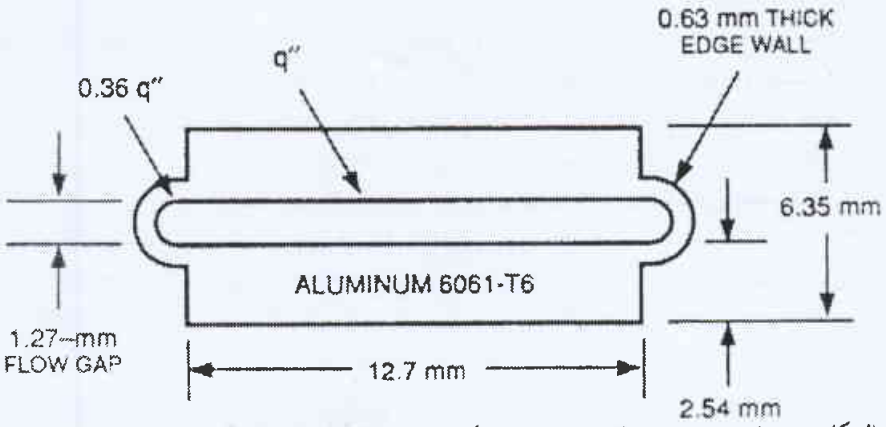
تتألف دارة الاختبار هدروليكياً من موزّع سفلي يتدفق منه المبرّد إلى قناة الاختبار والمجاز المربوط على التوازي معها، إضافة لمجمع علوي يلتقي فيه المبرد بعد مغادرته القناة والمجاز. وقد اقتصرت المحاكاة على تجارب النمط الصلب (Stiff Mode) الذي أُجريت وفقه معظم التجارب. يجري في هذا النمط إغلاق المجاز الفرعي بشكلٍ كامل بحيث يتدفق المبرّد خلال قناة الاختبار فقط. يحاكي هذا النمط عدم الاستقرار الترموهدروليكي في قناة تبريد أحادية حيث تقابل نقطة بداية الاستقرار الترموهدروليكية النهاية الصغرى في منحني ضياع الضغط التكاملي لقناة التبريد كتابع لمعدّل التدفق. هذا وقد أُجريت تجربتان حقيقيتان لقياس الاستطاعة الحرارية السطحية الحرجة من خلال الاستمرار بتخفيض معدّل التدفق ضمن القناة بعد تجاوز النهاية الصغرى في منحني ضياع الضغط. وقد جرى في بداية كل سلسلة من التجارب قياس ضياع الضغط داخل القناة كتابع لمعدّل التدفق في الحالة الباردة للقناة.




الشكل 1– المخطط العام لدارة الاختبار الترموهدروليكية THTL



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية




**الشكل 2**– مقطع عرضي لوحدة الاختبار الترموهدروليكية THTL (عرض قناة التدفق: FLOW GAP، جدار القناة من الألمنيوم: AlUMINIUM 6061-T6)

### الشروط الحدّية للتجارب

المبرّد: ماء عادي متدفق تصاعدياً،

أبعاد قناة الاختبار: (mm) 1.27x12.7x507،

درجة حرارة دخول المبرّد: (°C)45،

ضغط الجملة عند مخرج القناة: (MPa) 1.7،

مجال الاستطاعة الحرارية السطحية: ($MW/m^2$) 6-14،

مجال سرعة تدفق المبرّد عند مدخل القناة: (m/s) 8.21،

## نمذجة وحدة الاختبار بواسطة الكود ATHLET

يظهر الشكل 3 التمثيل الهندسي لوحدة الاختبار حسب طريق التجزئة المتبعة في ATHLET، تتألف الجمل الترموهدروليكية من مركبات هدروليكية وأخرى حرارية. تحاكي المركبات الهدروليكية الجزء الخاص بتدفق المبرّد وتنقسم إلى ثلاثة أنماط هي العقد (Branch) التي تمثل حيّزاً حجمياً واحداً ولاتمتلك اتجاه تدفق، والأنابيب (Pipe) التي تتألف من عدة حوزات حجمية متوالية باتجاه تدفق محدّد، والمركبات الخاصة كأنابيب التغذية والتصريف التي تربط المجموعة الهدروليكية مع الوسط الخارجي. وتتألف وحدة الاختبار THTL من 6 مركبات هدروليكية. تمثل المركبة LHV الموزّع السفلي الذي نُمذج كعقدة (branch) مرتبطة بأنبوب تغذية (FILL) لمحاكاة معدّل تدفق المبرّد إلى قناة الاختبار. بينما تمثل المركبة (TDV) أنبوباً خاصاً بحيّز حجمي واحد يسمح بمحاكاة قيمة ثابتة لضغط الجملة عند مخرج القناة، وقد رُبط بأنبوب تصريف (LEAK) لمحاكاة معدّل تدفق المبرّد خارج القناة. أما وحدة الاختبار فقد مثلت بأنبوب دخل (CLP) مجزّأ إلى 4 حوزات حجمية متساوية، يليه الجزء المُسخّن من قناة الاختبار الذي يمثله أنبوب (CORE) بطول 0.507 m مجزّأ بدوره إلى 15 حيّزاً حجمياً متساوياً بمقطع تدفق قدره $1.778\ 10^{-5}\ m^2$. يلي هذه المركبة أنبوب خرج (HLP) مجزّأ أيضاً إلى 4 حوزات حجمية متساوية. أما المركبات الحرارية فتشتمل على البُنى الخاصة بتوليد ونقل الحرارة وتتألف في هذه الحالة من مركبتين من الألمنيوم (HEATER-1, HEATER -2) بطول 0.507 جزئت كلٌّ منها 15 حيّزاً حرارياً متساوياً لمحاكاة توليد الطاقة الحرارية في الجزء المسخن من جدار قناة الاختبار CORE. تمثل المركبة HEATER-1 الجزء الدائري من الجدار بنصف قطر قدره 1.7 mm وسمك يبلغ 0.63 (الشكل 1). بينما تمثل المركبة HEATER-2 الجزء المسطح من الجدار بطول 2 x 12.7 mm وسمك 2.45 mm.

## النتائج والمناقشة

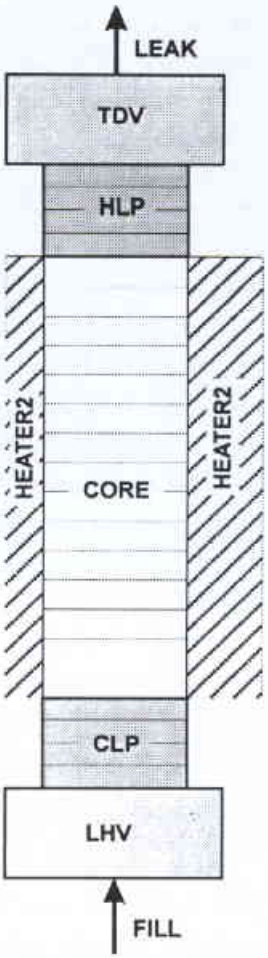
تتشابه كافة التجارب بالشروط الحدّية المتمثلة بدرجة حرارة دخول المبرد البالغة 45°C وضغط الجملة عند مخرج قناة التدفق البالغ حوالي 1.7 [MPa] وتختلف فيما بينها بالاستطاعة الحرارية السطحية (التدفق الحراري)، التي تختار عند بداية الحساب حسب القيمة الموافقة للتجربة المراد حسابها وتترك بعد ذلك ثابتة طيلة فترة المحاكاة. وقد حسبت منحنيات المقاومة لقناة الاختبار ضمن مجال واسع للتدفقات الحرارية [$MW/m^2$] 6-14 لأجل الشروط الحدّية الترموهدروليكية آنفة الذكر في حالة نمط الاختبار الصلب. يظهر الشكل 4 مقارنة بين النتائج التجريبية وحسابات الكود ATHLET لمنحنيات ضياع الضغط التكاملي لقناة التبريد كتابع لكثافة تدفق المبرّد [$kg/m^2s$] لأجل تدفقين حراريين مختلفين (التجربة FE714C والتجربة FE105B)*.

في مجال معدّلات التدفق المرتفعة يبقى المبرّد بكامله في الطور السائل بعيداً عن درجة الإشباع، حيث لاتكفي استطاعة التسخين لإحداث أي تبخر على جدار القناة؛ لذا يتبع منحني ضياع الضغط التكاملي التوزع القطعي لوحيد الطور السائل. يتراجع معدّل التدفق تحت قيمة معينة تكفي لتجاوز درجة حرارة الجدار درجة الغليان الموضعية بقيمة معينة (حوالي 10 K) فإن فقاعات البخار الأولى تبدأ بالتشكّل على جدار القناة (ONB). ومع استمرار تراجع معدّل التدفق يزداد عدد الفقاعات المتشكّلة على الجدار والتي تبدأ بالانفصال عنه لتختلط مع الطور السائل رافعةً محتوى البخار داخل القناة. ومع استمرار تراجع معدّل التدفق يصل المحتوى الحجمي البخاري في مقطع القناة إلى قيم معتبرة تؤدي بدورها إلى ارتفاع محسوس لضياع الضغط، حتى إذا تجاوز معدّل التدفق القيمة الحرجة (OFI) وصل المحتوى البخاري إلى قيم مرتفعة بحيث أن ثنائي الطور المتشكّل يقود برغم استمرار تراجع التدفق إلى ارتفاع ضياع الضغط الكلي للقناة من جديد. يعود ذلك إلى قيم ضياع الضغط العالية لثنائي الطور الناتجة عن الاحتكاك والتسارع والتي تفوق بضع مرات القيم المقابلة لوحيد الطور عند معدّل التدفق ذاته. بالتراجع المطّرد لمعدّل التدفق يزداد محتوى البخار في القناة دافعاً ضياع الضغط إلى الاستمرار في الارتفاع مروراً بالمجال الكلي لثنائي الطور. يصل ضياع الضغط إلى قيمته العظمى حينما يتبخر مجمل السائل في القناة متحولاً إلى الطور البخاري، حيث

* تتفق ترميزات التجارب مع الرموز المستخدمة في المرجع الأساسي [5] للشروط الحدّية الواردة في الجدول 1.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية




**الشكل 3**– تجزئة وحدة الاختبار THTL حسب طريقة الكود ATHLET (أنبوب تغذية FILL، الموزع السفلي: LHV، أنبوب دخل: CLP، الجزء المسخن من قناة الاختبار: CORE، أنبوب خرج: HLP، أنبوب بضغط خرج ثابت TDV، أنبوب تصريف: LEAK، جدار القناة من الألمنيوم: HEATER.

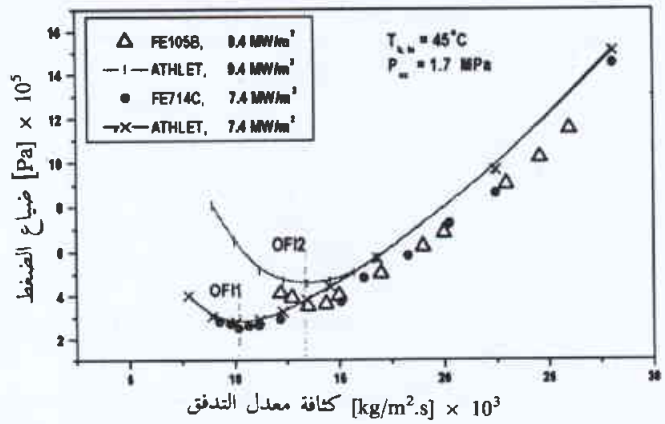
يبدأ بعدها بالتراجع سالكاً الشكل القطعي الموافق لضياعات الاحتكاك للطور البخاري (هذا الجزء غير متضمن في الشكل). تمثل النهاية الصغرى للمنحني نقطة بدء عدم الاستقرار الترموهدروليكي (OFI: Onset of Flow Instability) ويعتبر المجال بعدها غير مستقر ذلك أن التراجع اللاحق في معدّل التدفق سيقود إلى تنامي محتوى البخار في القناة ومن ثم انسدادها الذي سيؤدي حتماً إلى انصهار جدارها. وبناءً عليه لايوجد تشغيل آمن للقناة بعد نقطة الانقلاب OFI التي تمثل الحدّ التصميمي الأول لعناصر وقود مفاعلات البحث.

يمكن أن نستقرىء من الشكل 4 أن نقطة نشوء عدم الاستقرار OFI تنزاح باتجاه معدلات تدفق أعلى كلما ازدادت الاستطاعة الحرارية السطحية المطبقة على القناة (تظهر النقطة OFI2 للحالة FE105B عند معدّل تدفق أعلى من النقطة OFI1 للحالة FE714C). ويعود ذلك بداهة إلى أن ازدياد كثافة التيار الحراري (مع بقاء ضغط الجملة دون تغير) يؤدي لوصول درجة حرارة الجدار بشكل مبكّر (لأجل معدّلات تدفق أعلى) إلى نقطة بداية الغليان دون المشبع نظراً لازدياد الاستطاعة الحرارية المودعة في واحدة الحجم مما ينتج عنه ارتفاع المحتوى الحجمي الموضعي للبخار في القناة الذي يقود بدوره لنشوء عدم الاستقرار بشكل مبكر.

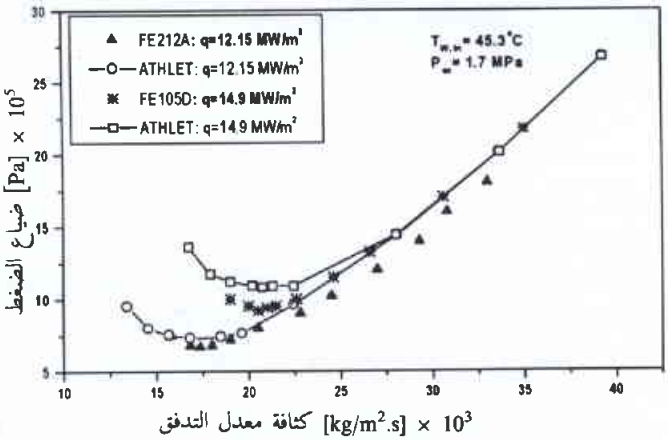
كما يُظهر الشكل 5 مقارنة أخرى بين التجارب والنتائج الحسابية الموافقة لأجل تدفقات حرارية مرتفعة جداً.

يمثل الشكلان 4 و 5 السلوك النمطي لبقية الحالات المدرجة لاحقاً في الجدول 1. ويمكن أن نستقرىء من هذه المنحنيات أن نتائج محاكاة الكود المعدّل متوافقة مع القيم التجريبية في مجالي التدفقات الحرارية العالية والعالية جداً، نظراً لتشابه منحنيات المقاومة المحسوبة مع المنحنيات التجريبية خاصة فيما يتعلق بمعدّل تدفق المبرّد الذي ينعدم عنده ميل منحني ضياع الضغط (النهاية الحدّية الصغرى) معلناً بداية عدم الاستقرار الترموهدروليكي.

يعتبر معدّل التدفق الحرج، القيمة الأكثر أهمية في تحديد مجال عدم الاستقرار. وبمقارنة كثافة معدّلات التدفق المحسوبة عند النقطة OFI مع




**الشكل 4**– مقارنة نتائج حساب الكود ATHLET مع القياسات التجريبية لوحدة الاختبار THTL بالنسبة لعدم الاستقرار الترموهدروليكي للغليان دون المشبع (عند تدفقات حرارية عالية).




**الشكل 5**– مقارنة نتائج الكود ATHLET مع القياسات التجريبية لوحدة الاختبار THTL بالنسبة لعدم الاستقرار الترموهدروليكي للغليان دون المشبع (عند تدفقات حرارية عالية جداً).

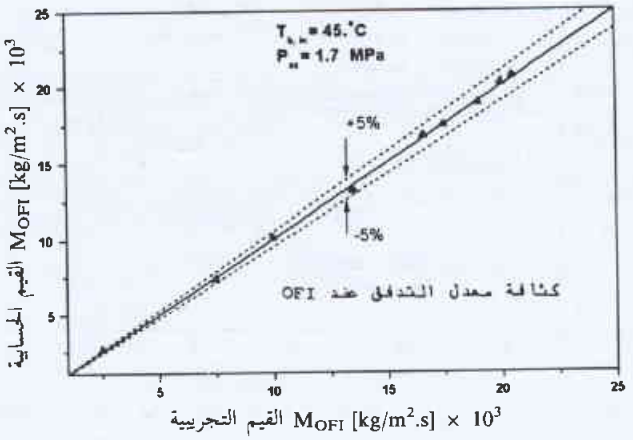
القيم التجريبية نجد أن التباين لايتعدى 5%، مما يدل على المقدرة العالية للكود ATHLET المعدّل على التنبؤ بنقطة نشوء عدم الاستقرار الترموهدروليكي، ويوضح الشكل 6 بيانياً التوافق الكبير بين كثافة معدّلات التدفق المحسوبة والقيم التجريبية الموافقة عند الشروط الحدّية نفسها. وقد أعطت القيم التجريبية ونتائج المحاكاة العلاقة التوفيقية التالية بين كثافة معدّل التدفق وكثافة التيار الحراري عند النقطة OFI لأجل كافة التجارب بمجال وثوقية كبير:

$$\dot{m}_{OFI} = 1.455\ x\dot{q} \qquad (13)$$

تعطي هذه العلاقة الحد التصميمي الأول لمفاعلات البحث عالية التدفق التي تتميز بشروط حدّية ترموهدروليكية وهندسة مشابهة لتلك العائدة لوحدة الاختبار THTL. وبموجب ذلك فإن التشغيل الآمن لعناصر وقود هذه المفاعلات يتحقق عند التدفق الحراري $\dot{q}$ لأجل قيمة تشغيلية $\dot{m}_{operation}$ لكثافة معدّل التدفق تفوق القيمة الحدّية بمعامل الأمان S: $\dot{m}_{operation} = S\dot{m}_{OFI}$. يتضمن معامل الأمان مجمل الارتيابات التجريبية والإحصائية والتصنيعية لعناصر الوقود وقد يصل في بعض التقديرات المحافظة إلى القيمة 1.5.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية




**الشكل 6**- مقارنة النتائج الحسابية والتجريبية لكثافة معدّل تدفق المبرّد عند نقطة نشوء عدم الاستقرار الترموهدروليكي للغليان دون المشبع عند تدفقات حرارية مختلفة.

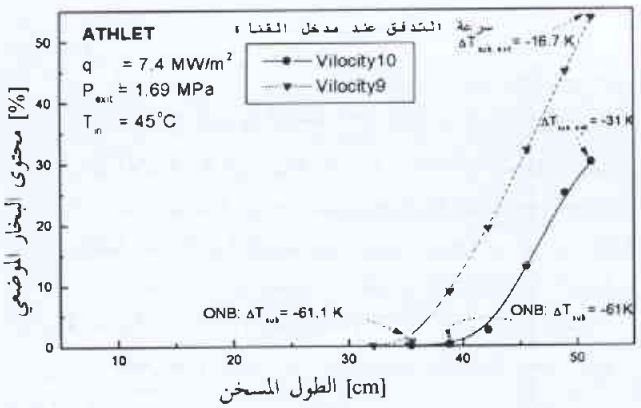
تظهر الأشكال أيضاً أن قيم ضياع الضغط المحسوبة تفوق القيم التجريبية بشكل يزداد بازدياد التدفقات الحرارية المطبقة على القناة، كما يتضح ذلك من مقارنة القيم التجريبية والحسابية في حالة التدفقات الحرارية المرتفعة مع الحالة الباردة للقناة (بدون تسخين). تتفق القيم التجريبية مع القيم الحسابية لضياع الضغط في حالة انعدام التسخين ووقوع التدفق في الطور الأحادي، عدا اختلاف بسيط يظهر عند سرعة تدفق أعلى من 30m/s. في حين يصبح التباين واضحاً لأجل التدفق الحراري المرتفع [14.77 [MW/m$^2$ في المجالين أحادي وثنائي الطور ويصل الفرق النسبي عند نقطة نشوء عدم الاستقرار إلى +25%. يمثل هذا الفرق الذي لُوحظ أيضاً في الحالة FEN20A القيمة العظمى للتباين الملحوظ في كافة التجارب. أما التباين النسبي البالغ 34% للحالة الخاصة FE904C فيعود لارتيابات تجريبية، نظراً لوجود تجربتين أخريين FE719B، FE212A بتدفق حراري قريب جداً من هذه الحالة أظهرتا ارتياباً دون 17%.

يمكن أن يُعزى تجاوز قيم ضياع الضغط المحسوبة للنتائج التجريبية مع ارتفاع التدفق الحراري وسرعة تدفق المبرّد إلى سببين رئيسين. الأول يتعلق بعلاقة Colebrook المستخدمة في حساب ضياع الضغط للطور الأحادي. تستخدم هذه العلاقة قيمة ثابتة لمعامل لزوجة الطبقة الحدّية (Viscosity) في حين يتوقع أن تتراجع لزوجة وثخانة هذه الطبقة المسؤولة عن ضياعات الاحتكاك بشكل ملموس بسبب القيم الهائلة للتدفق الحراري وسرعة تدفق السائل المستخدمة، الأمر الذي سيفضي إلى تراجع في ضياع الضغط. يؤيد تأثير سرعة التدفق العالية على مواصفات الطبقة الحدّية، التباين الملاحظ عند سرع تدفق أعلى من 30 m/s للحالة الباردة للقناة. أما السبب الآخر فقد يعود إلى احتمال تمدّد جدار قناة الاختبار المصنوع من الألمنيوم خاصة في حالة التدفقات الحرارية الفائقة، مما يؤدي إلى توسع مقطع التدفق والقطر الهدروليكي. والنتيجة هي أن القطر الهدروليكي المستخدم في المحاكاة والموافق للقيمة الإسمية للحالة الباردة أصغر من القطر الحقيقي، نظراً لعدم مقدرة الكود ATHLET على محاكاة تمدّد البُنى الصلبة تحت التأثيرات الحرارية؛ ومن ثم ستكون ضياعات الضغط الحسابية أعلى من القيم التجريبية المقابلة. يعزز هذا التوقع ازدياد التباين بين القيم الحسابية والتجريبية مع ازدياد التدفق الحراري.

يظهر الشكل 7 التوزع المحوري لمحتوى البخار الحجمي على طول الجزء المسخن من القناة والمحسوب من قبل الكود ATHLET عند نقطة نشوء عدم الاستقرار OFI والنقطة الأولى بعدها، وذلك لأجل تدفق حراري يبلغ 7.4 [MW/m$^2$]. يُستقرأ من الشكل أن الفقاعات الأولى تنشأ على جدار القناة (ONB) عندما تفوق درجة حرارة الجدار درجة الغليان بحوالي 11 درجة (فرط التسخين: $\Delta_{sup}=T_W-T_S=$ +11 K). في الوقت الذي لاتزال فيه درجة حرارة السائل الوسطى ضمن القناة بحدود 61 درجة دون درجة الغليان (تحت البرودة: $\Delta_{sub}=T_l-T_s=$ -61 K) يبدأ المحتوى الحجمي للبخار بالنمو اعتباراً من هذه النقطة ليصل عند مخرج القناة إلى حوالي 30% نتيجة لتراجع برودة السائل التي وصلت عند مخرج القناة إلى 31- درجة. يقود إنقاص سرعة تدفق المبرّد عند مدخل القناة إلى انزياح منحني توزع البخار باتجاه مدخل القناة مما يقود إلى ارتفاع المحتوى الحجمي الموضعي للبخار ليصل عند مخرج القناة إلى 53% مع تراجع درجة برودة السائل لتصل إلى 16- درجة تحت درجة الغليان. يلاحظ مما سبق أنه برغم البرودة الكبيرة للسائل فإن المحتوى الحجمي للبخار يصل إلى قيم معتبرة تتسبب بدورها في ازدياد مقاومة القناة نتيجة تنامي ضياع الضغط لثنائي الطور المتشكّل مما يقود في النهاية لنشوء الاستقرار.

لإجراء تقييم كمّي شامل لنتائج المحاكاة قورنت في الجدول 1 النتائج الحسابية لكافة التجارب مع القيم التجريبية فيما يتعلق بتيار تدفق المبرّد، ضياع الضغط، درجة حرارة الجدار الأعظمية ودرجة حرارة خرج المبرّد عند نقطة نشوء عدم الاستقرار الترموهدروليكي. كما يتضمن الجدول المحتوى الحجمي البخاري عند مخرج القناة المحسوب من قِبَل الكود ATHLET دون مقارنة مع القيم التجريبية لعدم توافرها.

تدل الحسابات أن محتوى البخار الحجمي عند مخرج القناة يبلغ عند نقطة نشوء عدم الاستقرار الترموهدروليكي حوالي 30% في معظم




**الشكل 7**- التوزع المحوري لمحتوى البخار الحجمي على طول الجزء المسخن من القناة والمحسوب من قِبَل الكود ATHLET عند نقطة نشوء عدم الاستقرار OFI والنقطة الأولى بعدها وذلك لأجل تدفق حراري يبلغ 7.4 [MW/m$^2$]. (بداية الغليان: ONB).



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

الجدول 1- مقارنة المعطيات التجريبية لتجارب THTL في OAk Ridge مع النتائج الحسابية للكود ATHLET عند نقطة نشوء عدم الاستقرار الترموهدروليكي OFI لنمط الاختبار الصلب.

| التدفق الحراري [MW/m²] | كثافة التدفق $\dot{m}$ [kg/m²s].10³ | | درجة حرارة الماء عند مخرج القناة $T_{b,exit}$ [°C] | | درجة حرارة الجدار $T_{W,max}$ [°C] | | التباين $\Delta p_{ATHLET}$ - $\Delta p_{THTL}$ [MPa] | محتوى البخار عند الخارج $\alpha_{exit}$ [%] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | THTL | ATHLET | THTL | ATHLET | THTL | ATHLET | | |
| FE712B 2 | 2.5 | 2.65 | 183 | 180.3 | 214.4 | 217.1 | -0.006 | 20 |
| FE714B 5.3 | 7.5 | 7.34 | 174.3 | 170 | 225.6 | 222 | 0.004 | 20 |
| FE714C 7.4 | 10.0 | 10.1 | 182 | 173 | 228.4 | 225.6 | 0.03 | 30 |
| FE105B 9.4 | 13.50 | 13.2 | 173.6 | 170.2 | 237 | 228 | 0.097 | 28 |
| FE904C 11.8 | 16.6 | 16.75 | 178 | 171 | 250 | 232 | 0.25 | 31.5 |
| FE719B 11.7 | 17.5* | 16.8 | 176.8 | 170.4 | 374* | 233 | 0.114 | 34 |
| FE212A 12.15 | 16.7 | 16.75 | 185 | 171 | 264 | 232 | 0.06 | 31.5 |
| FE105C 12.7 | 17.5 | 17.43 | 179 | 170 | 263.5 | 232 | 0.13 | 30 |
| FEN20A 13.6 | 19.0 | 18.9 | 178 | 170 | 233 | 233.4 | 0.266 | 30 |
| FED28B 14.77 | 20.0 | 20.2 | 181 | 171 | 242 | 236.4 | 0.25 | 32.6 |
| FE105D 14.92 | 20.5 | 20.7 | 182.5 | 170.4 | 265.5 | 236.5 | 0.163 | 31.7 |

التجارب المحسوبة باستثناء الحالتين FE712, FE714B العائدتين لتدفقات حرارية منخفضة (الجدول 1). وبالمقابل تظهر المقارنة بين القيم الحسابية والتجريبية لدرجة حرارة الجدار العظمى ودرجة حرارة خرج المبرّد عند نقطة نشوء عدم الاستقرار للحالات المختلفة وجود توافق جيد بين الحساب والتجربة، حيث لايتعدى التباين النسبي بين القيم التجريبية والقيم الحسابية 7% لدرجة حرارة خرج المبرّد و 12% لدرجة حرارة الجدار العظمى على التوالي وهي تباينات مقبولة إذا أخذنا بعين الاعتبار أن الخطأ القياسي للمزدوجات الحرارية يقع بحدود 6% [5].

## الخاتمة

جرى توسيع وتحقيق الكود ATHLET لتأهيل استخدامه في دراسات الأمان العائدة لمفاعلات البحث عالية وأعظمية التدفق والتي تتميز عناصر وقودها بقيم عالية لسرعة تدفق المبرّد ولكثافة التيارات الحرارية عند ضغوط منظومة معتدلة. وقد وُسّع الكود بتعديل نموذج وصف تشكّل البخار في مجال الغليان دون المشبع عن طريق تقديم صياغة جديدة لمعدّل تكاثف البخار تشمل الشروط الترموهدروليكية الآنفة. وقد بيّنت حسابات الاختبار أن النموذج المعدّل عمل ضمن الكود ATHLET بشكل متوافق مع المركبات الأخرى للبرنامج.

اعتمدت دراسات التحقيق (Validation) على إعادة حساب مجموعة تجارب Oak Ridge حول عدم الاستقرار الترموهدروليكي في مجال الغليان تحت البارد، وبيّنت المقارنة توافق النتائج الحسابية مع القيم التجريبية في تحديد معدّل التدفق عند نقطة نشوء عدم الاستقرار الترموهدروليكي (الحدّ التصميمي الأول) بارتياب أقل من 5%. في حين تراوح الارتياب النسبي بين ضياعات الضغط المحسوبة والقيم التجريبية الموافقة عند هذه النقطة بين 3% و 17% في معظم الحالات ووصل في ثلاث حالات لقيم أعظمية تقرب من +25%. بينما بقي الارتياب بين التجربة والحساب بالنسبة لدرجة حرارة خرج المبرّد ودرجة الحرارة العظمى لجدار القناة عند نقطة نشوء عدم الاستقرار أعلى بقليل من الخطأ القياسي

للمزدوجات الحرارية. تؤكد هذه النتائج مقدرة الكود المعدّل ATHLET على محاكاة تشكّل البخار ونشوء عدم الاستقرار في مجال الغليان تحت البارد بشكل صحيح وفي مجال واسع للتدفقات الحرارية ولكثافة تدفق المبرّد يصل حتى $15\ MW/m^2$ و $20x10^3\ kg/m^2s$ على التوالي، عند ضغط خرج للحلقة يقرب من 17 بار.

وستُستكمل فيما بعد حسابات التحقيق بنمذجة عدم الاستقرار للقنوات المتوازية بوجود المجازات التدفقية، مع حساب التدفق الحراري الحرج (CHF).

باستكمال مجمل التعديلات والتحقيقات سيصبح الكود ATHLET مؤهلاً للاستخدام في دراسات الأمان المتعلقة بمفاعلات البحث منخفضة ومتوسطة وعالية التدفق النتروني. في هذا السياق سيتم في عمل لاحق استخدام الكود لدراسة ظاهرة انقلاب التدفق لدى تعطيل مضخات التبريد الرئيسية في مفاعلات البحث عالية التدفق التي تُبرّد فيها عناصر الوقود بالاتجاه الهابط. تحت هذه الظروف يمكن دراسة أشكال مختلفة من ظواهر عدم الاستقرار بما فيها ظاهرة الحمم الحارة (Geysering).

## REFERENCES المراجع


[1] A. Hainoun, Modellicrung des unterkuhlten Siedens in ATHLET und Anwendung in wassergekuhlten Forschungsreaktoren, D 294 Diss. Uni. Bochum, Jul 2961 (1994).

[2] Y. Elkasabgi, Y. L. Graydon, W. R. Gambil, Thermal Hydraulic Analysis of Advanced Neutron Source Reactor Refuelling Process, Nuclear Technology 105 (1994) 411-420.

[3] G. Lerchel, H. Austregesilo, ATHLET Mode 1.2 Cycle A, User's Manual, GRS-p-1 /Vol. 1, Rev. 1, GRS (1998).

[4] A. Hainoun, J. Wolters, E. Hicken, Modeling of void formation in the Subcooled boiling regime in the ATHLET code to simulate flow instability for research reactors, Nuclear Engineering and Design, 167 (1996) 175-191.

[5] M. Siman-Tov, D. Felde et al., FY 1993 Progress Report on the ANS Thermal Hydraulic Test Loop Operation and Results, ORNL/M -3789, July 1994.

[6] N. C. Chen, M. W. Wendel, and G. L. Yoder, Jr.: Conceptual Design Loss of Coolant Accident Analysis for the advanced Neutron Source Reactor. Nuclear Technology, Vol. 105, Jan. 1994.

[7] Neutronquelle München FRM-II, Satusbericht der Projektgruppe "Neuer Foraschungsreaktoren" der Fakultät für Physik E21, Technische Universität München, 1992 (in German).

[8] A. Hainoun, G. Meister et al., Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur thermohydraulischen Instabilität von MTR - Reaktoren. Jahrestagung Kerntechnik, Tagungsbericht 1992, pp. 469- 473.

[9] S. Z. Rouhani and E. Axelsson, Calculation of Void Volume Fraction in the Subcooled and Quality Regions, Meeting of European Two- Phase Flow Group, Oslo, June 18- 20, 1968.

[10] A. Avdeev, The Rate of Growth (Condensation) of Vapor Bubbles in a Turbulent Flow, Thermal Engineering, 33 (1) (1986) 30- 33.

[11] H. C. Unal, Maximum Bubble Growth Time and Bubble Growth Rate during Subcooled Nucleate Boiling of Water up to 17.7 $MN/m^2$ Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 19, pp. 643- 649, 1976.


☆ ★ ☆



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# أثر فعاليات تحميل الفسفات على البيئة البحرية القريبة: الشاطئ السوري★

د. محمد سعيد المصري – سامر ماميش – يوسف بدير
قسم الوقاية والأمان – هيئة الطاقة الذرّية – ص. ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

**جرى تقدير أثر عمليات تحميل الفسفات الخام إلى السفن على البيئة البحرية القريبة من الشاطئ السوري. أظهرت النتائج زيادة معنوية من البولونيوم 210 والرصاص 210 والنكليدات المشعة الطبيعية الأخرى في رسوبيات ومياه داخل منطقة المرفأ. فبلغت أعلى قيمة لتراكيز البولونيوم 210 والرصاص 210 في الرسوبيات قرابة 170 و 64 بكريل/كغ على الترتيب، بينما تراوحت تراكيز الرصاص 210 والبولونيوم 210 في المياه السطحية بين 5 و 20 ميلي بكريل/ل و 0.93 و 3.23 ميلي بكريل/ل. بالإضافة إلى ذلك، أوضحت نتائج البولونيوم 210 والرصاص 210 القابلة للمقارنة في الأحياء البحرية جميعها (طحالب، سرطان، أسماك)، بأن استخدامها كمشعرات للتلوث بالفسفات غير منصوح به. على أية حال، لوحظ بأن أثر عمليات التحميل على البيئة البحرية القريبة لمرفأ طرطوس يعتمد بشكل رئيسي على اتجاه الرياح حيث تنتشر عوالق الهواء المشعة إما إلى اليابسة أو إلى البحر.**

**الكلمات المفتاحية:** الصناعة الفسفاتية، البيئة البحرية، $^{210}Po$، $^{210}Pb$، مرفأ طرطوس، الساحل السوري

## مقدمة

تعد الصناعة الفسفاتية إحدى المصادر الهامة للتلوث بالمواد المشعة الطبيعية (سلسلتا تفكك $^{238}U$ و $^{232}Th$). يمكن أن تتركز هذه النكليدات المشعة الطبيعية في النفايات الصلبة كالفسفوجبسوم، والتصريفات السائلة والاصدارات الجوية كغاز الرادون والغبار الحامل للنشاط الإشعاعي. أجريت دراسات كثيرة حول العالم تناولت التأثير البيئي لمثل هذه التصريفات (الاطلاقات) [1-13]. وبالإضافة إلى ذلك، تستورد بعض الدول (مثل المملكة المتحدة) أو تصدر (مثل سورية والمغرب) خامات الفسفات عبر البحر. يمكن أن يلوث الغبار الصادر خلال عمليات التحميل الهواء الجوي أو مياه البحر السطحية.

ففي سورية، يصدّر معظم الفسفات الخام بكميات كبيرة (1.36 ميغا طن في 1996) عبر أحد المرافئ السورية الأساسية (طرطوس) الذي يقع على الجزء الشرقي للبحر المتوسط 34°54(N), 35°52(E) حيث بدأت عمليات تحميل الفسفات إلى السفن منذ أكثر من عشرين عاماً. تتصاعد العوالق الملوثة بالنشاط الإشعاعي وتنتشر في المناطق المجاورة مؤثرة بذلك على معظم منطقة المرفأ.

أجريت قياسات للنشاط الإشعاعي في العوالق الهوائية وعينات تربة جمعت من مرفأ طرطوس ومدينة طرطوس [14] حيث لوحظت مستويات مرتفعة نسبياً من البولونيوم 210 والرصاص 210 ونكليدات مشعة طبيعية أخرى في منطقة المرفأ. وأظهرت دراسات أخرى [15، 16] تراكيز مرتفعة من البولونيوم 210 في رسوبيات جمعت من شاطئ طرطوس (250–450 بكريل/كغ). وبالإضافة إلى ذلك، درس حديثاً تلوث مرفأ طرطوس بعناصر الأثر [1] فلوحظت مستويات مرتفة نسبياً من الكادميوم في رسوبيات جمعت من منطقة المرفأ. على أية حال، لم يدرس بشكل جيد النشاط الإشعاعي للبيئة البحرية القريبة من مرفأ طرطوس، ولهذا كان الهدف الرئيسي للدراسة الحالية تقييم أثر عمليات الفسفات على البيئة البحرية القريبة بتعيين كل من الرصاص 210 والبولونيوم 210 في مياه البحر والرسوبيات والأحياء البحرية.

## المواد والطرائق

### جمع العينات

نفذت ثلاثة رحلات بحرية لجمع العينات فكانت الأولى في 10/22/ 1997 أما الثانية والثالثة فكانتا في 1998/5/5 و 1999/6/26 على الترتيب. جمعت رسوبيات (1 كغ لكل عينة) ومياه بحر (50 ليتر لكل عينة)، أسماك وطحالب وعينات بيولوجية أخرى من أربعة عشر موقعاً كما هو موضح في الشكل 1. أخذت عينات الرسوبيات من الطبقة السطحية من أسفل كل موقع بواسطة جامع العينات من نوع grab أو من قبل غطاس.

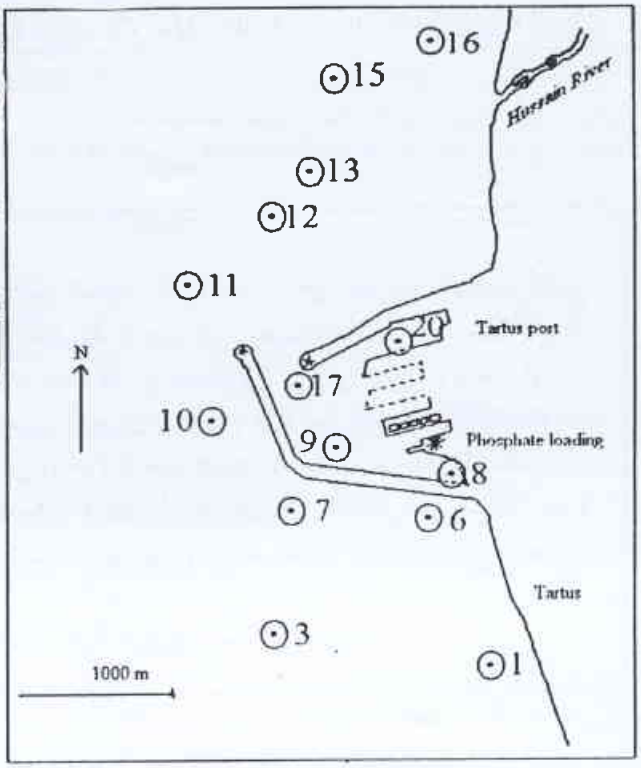
### الطرائق التحليلية

حمضت عينات الماء بإضافة حمض كلور الماء. أما عينات الرسوبيات والأسماك والطحالب والسرطانات فلقد جففت بالفرن في الدرجة 90 مئوية لمدة تراوحت بين 24 –48 ساعة. قيست تراكيز البولونيوم 210 والرصاص 210 باستخدام التقانة القياسية (تقانة صحن الفضة) [18، 17]. مُزج 1 غرام من كل عينة رسوبيات (أو 10 غرام من الوزن الجاف لعينات الأحياء البحرية والأسماك والطحالب والسرطانات) مع كمية محددة (0.2 بكريل) من البولونيوم 208 كمقفي أثر. هضمت كل عينة باستخدام مزيج من الحموض المعدنية (حمض كلور الماء وحمض الآزوت) لفترة

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Environmental Radioactivity* (2001).



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية




**الشكل 1**– مواقع جمع العينات

زمنية وصلت إلى 24 ساعة على الأقل. بخرت العينة بهدوء، بعد أن أصبح المحلول صافياً، إلى قرب الجفاف ومن ثم حل الراسب في 100 مل من 0.5 مول/ل حمض كلور الماء. سخن المحلول إلى الدرجة 80 مئوية ورسب البولونيوم 210 تلقائياً على قرص من الفضة مع التحريك بعد ارجاع الحديد بحمض الاسكوربيك. جرى تعداد جسيمات ألفا الصادرة عن البولونيوم 208 (5.15 ميغا إلكترون فولت) والبولونيوم 210 (5.3 ميغا الكترون فولت) باستخدام مطيافية ألفا (Oasis, Oxford) زوّد بكاشف سليكون فعّال (مساحة المنطقة الفعالة 300 ملم$^2$، تعداد الخلفية الطبيعية قرابة 6.3 في اليوم وتبلغ الثخانة الصغرى المستنضبة حوالي 100 ميكرومتر). صححت فعالية البولونيوم 210 من أجل المردود بمقارنة الفعالية المقاسة للبولونيوم 208 المستخدم كمقفي أثر والتفكك الإشعاعي من زمن جمع العينة. أعيد طلي وتعداد قرص جديد بعد 6 أشهر من حفظ المحلول لقياس نمو البولونيوم 210 الجديد من الرصاص 210 ولحساب تركيز الرصاص 210 في العينة الأساسية. بلغ الحد الأدنى لكشف الطريقة المستخدمة حوالي 0.4 بكريل/كغ وزن جاف. أما لتعيين الرصاص 210 والبولونيوم 210 في عينات ماء البحر فلقد رسب الرصاص 210 والبولونيوم 210 من 40 ل بواسطة $MnO_2$، حل الراسب في 1.5 مول/ل حمض كلور الماء وعولج المحلول كما شرح آنفاً للعينات الصلبة. قيست عينات الرسوبيات أيضاً بمطيافية غاما باستخدام كواشف الجرمانيوم مرتفعة مقدرة الفصل (1.85 كيلوالكترون فولت عند الطاقة 1.33 ميغا إلكترون فولت) ومرتفعة كفاءة التعداد النسبية (26% و80%) ومنخفضة الخلفية الطبيعية وذلك لتعيين مصدرات غاما الطبيعية والصنعية مثل $^{40}K$، $^{137}Cs$، $^{224}Ra$، $^{226}Ra$، $^{228}Ra$، $^{229}Th$.

## ضبط الجودة

طبقت إجراءات ضبط الجودة باستخدام عينات مراقبة داخلية وتحاليل مكررة، كما حللت أيضاً عينات عيارية زوّدت من الوكالة الدولية (MA-B3/RN ،IAEA-368) للتأكد من صحة النتائج التحليلية التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة، عرضت بعض هذه النتائج في الجدول 1.

## النتائج والمناقشة

### البولونيوم 210 والرصاص 210 والنكليدات المشعة الأخرى في الرسوبيات

تعد الرسوبيات الجزء الراسب الأخير من أي ملوث يدخل البيئة البحرية ولهذا فإن أي ارتفاع في تراكيز النكليدات المشعة في الرسوبيات بقدر أعلى من المستويات الطبيعية يدل على وجود مصدر خارجي.

عُرضت نتائج تحليل البولونيوم 210 والرصاص 210 في الجدول 2 حيث لوحظت أعلى التراكيز والبالغة 170 و 64 بكريل/كغ لكل من البولونيوم 210 والرصاص 210 على الترتيب في العينات التي جمعت من داخل منطقة المرفأ وهي ناجمة طبعاً عن فعاليات تحميل الفسفات. على أية حال، تعد هذه القيم أقل بكثير من القيم المذكورة في مناطق أخرى من العالم حيث توجد اطلاقات مماثلة [19، 9]. وإضافة إلى ذلك، كانت تراكيز الرصاص 210 في معظم عينات الرسوبيات أقل من تراكيز البولونيوم 210 بمعامل وقدره 2، حيث تكون عادة نسبة النشاط $^{210}Po/^{210}Pb$ أعلى من ذلك بكثير في المستويات الطبيعية [21، 20]. وربما يعود هذا إلى حقيقة أن كلاً من هذين النكليدين المشعين يدخلان

**الجدول 1**– تراكيز البولونيوم 210 في مواد الوكالة الدولية للطاقة الذرية المرجعية

| نوع السمك | رمز العينة | القيمة المرجعية (بكريل/كغم وزن جاف) (حدود الثقة) | القيمة المقيسة بكريل/كغم وزن جاف (±1 SD) |
|---|---|---|---|
| سمك | MA-B3 RN | 0.31 (0.23-0.33) | 0.3±0.02 |
| رسوبيات | IAEA-368 | 23.2 (19.8-27.2) | 18.3±1.5 |

**الجدول 2**– تراكيز البولونيوم 210 والرصاص 210 ونسبة الفعالية $^{210}Po/^{210}Pb$ في الرسوبيات

| رقم الموقع | تركيز البولونيوم210 بكريل/كغ (±1 SD) | تركيز الرصاص210 بكريل/كغ (±1 SD) | $^{210}Po/^{210}Pb$ (±1 SD) |
|---|---|---|---|
| 1 | 7.3 ± 0.7 | 3.4 ± 0.8 | 2.10 ± 0.5 |
| 3 | 22.0 ± 5 | 6.4 ± 1.1 | 3.4 ± 1.0 |
| 6 | 30.0 ± 1.7 | 14.0 ± 0.5 | 4.6 ± 0.1 |
| 7 | 39 ± 2.8 | 19.0 ± 0.4 | 2.1 ± 0.2 |
| 8 | 100 ± 1 | 39.0 ± 3.3 | 2.5 ± 0.2 |
| 9 | 151 ± 3 | 77 ± 1 | 1.9 ± 0.04 |
| 10 | 31 ± 3 | 13.3 ± 0.5 | 2.3 ± 0.2 |
| 11 | 23 ± 0.7 | 12.0 ± 0.4 | 2.0 ± 0.1 |
| 12 | 69 ± 1 | 28 ± 2 | 2.5 ± 0.2 |
| 13 | 50 ± 3 | 23 ± 0.7 | 2.1 ± 0.2 |
| 15 | 90 ± 5 | 49 ± 0.5 | 1.8 ± 0.1 |
| 16 | 24 ± 0.3 | 13.0 ± 0.7 | 1.9 ± 0.1 |
| 17 | 170 ±3 | 64.0 ± 2.8 | 2.7 ± 0.1 |

البيئة البحرية بطريقين مختلفين وليس عبر طريق تفكك غاز الرادون، ويمكن اعتبار غبار الفسفات الحامل لهذين النكليدين هو ذلك المصدر. وبالتالي، يعد هذا دليلاً على أثر فعالية تحميل الفسفات على بيئة البحر داخل منطقة المرفأ.

حددت أيضاً النكليدات المشعة الطبيعية الأخرى في عينات الرسوبيات التي جمعت في هذه الدراسة فكانت تراكيز الراديوم 226 مرتفعة نسبياً (33.2 بكريل/كغ) والثوريوم 234 (88 بكريل/كغ) في كل العينات التي جمعت من منطقة المرفأ. هذا واحتوت أيضاً هذه العينات مستويات مرتفعة من البولونيوم 210 والرصاص 210 (الجدول 2). بالإضافة إلى ذلك، لوحظت مستويات مرتفعة نسبياً من السيزيوم 137، الذي هو نكليد مشع صنعي ناجم عن السقط الجوي في العينات نفسها. ويفترض أن يكون سبب ذلك معدلات الترسيب المرتفعة في تلك المواقع (رقم 9 و 17).

## تركيز الرصاص 210 والبولونيوم 210 في مياه البحر

تتراوح المستويات الطبيعية للبولونيوم 210 في مياه البحر الشاطئية (عمق المياه أقل من 100 م) بين 1 و 4 ميلي بكريل/ل [21، 20]. وتكون نسبة الفعالية $^{210}Po/^{210}Pb$ المنحلة بشكل وسطي حوالي 0.9 بينما تكون نسبة الفعالية $^{210}Po/^{210}Pb$ في العوالق أكبر من الواحد.

جرى تعيين كل من الرصاص 210 والبولنيوم 210 في عينات ماء البحر التي جمعت من داخل وخارج منطقة المرفأ، وعرضت النتائج في الجدول 3. هذا وحدد كلا النظيرين بشكل آني في عينات مياه البحر التي جمعت على طول الشاطئ السوري وبعيد عن مرفأ طرطوس، (الجدول 4). ومن الواضح ملاحظة تراكيز مرتفعة نسبياً في تلك العينات التي جمعت من القسم الشمالي لرصيف التحميل (المواقع 20 و 17). ويمكن تفسير ذلك أن العوالق الهوائية المشعة تُدفع بواسطة الرياح بالاتجاه الشمالي الشرقي أي باتجاه المرفأ ومن البحر نحو اليابسة على طول الشاطئ. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تؤثر التيارات المائية في تلك المنطقة، والتي تتجه من الجنوب إلى الشمال على طول الشاطئ السوري، على توزع هذه النكليدات المشعة. على أية حال، يلاحظ بأن نسبة الفعالية $^{210}Po/^{210}Pb$ في عينات المياه السطحية أكثر من الواحد (5.38-8.23) والتي تدل على أن معظم فعالية البولونيوم 210 ناجمة عن التراكيز المرتفعة الموجودة في العوالق فيها عما هي في الجزء المنحل. وبالتالي، فإن أثر فعاليات تحميل الفسفات واضحة في المواقع المتوضعة في شمال وشرق

**الجدول 3**– تراكيز الفعالية للنكليدات المصدرة لغاما في الرسوبيات

| رقم الموقع | الفعالية (بكريل/كغ) (±1 SD) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | K-40 | Cs-137 | Ra-224 | Ra-226 | Ra-228 | Th-234 |
| 1 | 145 ± 6 | 0.2 ± 0.01 | 0.5 ± 0.03 | 0.5 ± 0.03 | 0.9 ± 0.07 | 19.7 ± 0.8 |
| 3 | 131 ± 10 | 0.3 ± 0.01 | 1.6 ± 0.08 | 1.8 ± 0.09 | 2.0 ± 0.1 | 15.7 ± 0.9 |
| 5 | 118 ± 4 | 0.5 ± 0.07 | 4.5 ± 0.20 | 7.0 ± 0.2 | 5.2 ± 0.4 | 20 ± 1.5 |
| 6 | 118 ± 3 | 0.6 ± 0.06 | 4.7 ± 0.2 | 8.0 ± 0.2 | 5.6 ± 0.4 | 17.9 ± 1.2 |
| 7 | 245 ± 14 | 0.5 ± 0.03 | 1.5 ± 0.1 | 1.5 ± 0.2 | 1.2 ± 0.13 | 20 ± 1.3 |
| 8 | 102 ± 5 | 1.3 ± 0.1 | 6.0 ± 0.2 | 33 ± 1.0 | 5.3 ± 0.50 | 32 ± 2.0 |
| 9 | 292 ± 20 | 10 ± 0.8 | 13 ± 1.0 | 25.0 ± 1.2 | 13.0 ± 0.6 | 88 ± 8.0 |
| 10 | 177 ± 8 | 0.3 ± 0.02 | 1.0 ± 0.05 | 1.0 ± 0.05 | 1.0 ± 0.05 | 9 ± 0.5 |
| 11 | 109 ± 10 | 1.3 ± 0.4 | 9 ± 0.5 | 18.0 ± 0.9 | 13.0 ± 0.6 | 59 ± 6.5 |
| 12 | 137 ± 8 | 1.2 ± 0.6 | 9 ± 0.5 | 25.0 ± 1.2 | 13.0 ± 0.6 | 75 ± 6.0 |
| 13 | 121 ± 3 | 0.8 ± 0.05 | 7.0 ± 0.2 | 6.4 ± 0.2 | 6 ± 0.35 | 17.6 ± 0.9 |
| 15 | 135 ± 3 | 1.8 ± 0.1 | 7.0 ± 0.2 | 8.0 ± 0.25 | 7.0 ± 0.40 | 27 ± 1.4 |
| 16 | 86 ± 4 | 0.5 ± 0.03 | 6.0 ± 0.2 | 7.0 ± 0.2 | 6.0 ± 0.5 | 9.5 ± 0.8 |
| 17 | 175 ± 14 | 9.0 ± 0.7 | 10.0 ± 0.8 | 29.0 ± 2.0 | 12.6 ± 0.6 | 45 ± 2.3 |

**الجدول 4**– تراكيز البولونيوم 210 والرصاص 210 ونسبة الفعالية $^{210}Po/^{210}Pb$

| رقم الموقع | تركيز البولونيوم 210 ميلي بكريل/ل (±1 SD) | تركيز الرصاص 210 ميلي بكريل/ل (±1 SD) | $^{210}Po/^{210}Pb$ (±1 SD) |
|---|---|---|---|
| 1 | 7 ± 0.3<br>5 ± 0.3* | 1.2 ± 0.1<br>1.8 ± 0.1 | 5.8 ± 0.5<br>2.8 ± 0.2 |
| 3 | 6 ± 0.3 | 1.0 ± 0.1 | 6.1 ± 0.5 |
| 6 | 5 ± 0.2<br>3 ± 0.1* | 1.0 ± 0.1<br>2.5 ± 0.1 | 5.4 ± 0.5<br>1.2 ± 0.1 |
| 7 | 7 ± 0.36 | 1.2 ± 0.1 | 5.7 ± 0.1 |
| 8 | 6 ± 0.3<br>5 ± 0.3* | 1.0 ± 0.1<br>2.0 ± 0.1 | 5.8 ± 0.5<br>2.5 ± 0.2 |
| 9 | 20 ± 0.6 | 3.2 ± 0.2 | 6.3 ± 0.4 |
| 13 | 19 ± 0.8 | 2.5 ± 0.1 | 8.2 ± 0.5 |
| 16 | 8 ± 0.5<br>6 ± 0.3* | 1.1 ± 0.1<br>1.0 ± 0.1 | 7.5 ± 0.6<br>5.8 ± 0.5 |
| 20 | 20 ± 0.7<br>17 ± 0.8* | 3.2 ± 0.2<br>4.0 ± 0.1 | 6.2 ± 0.4<br>4.2 ± 0.2 |

رصيف التحميل (9, 13, 17, 20)، ويبدو أنه يوجد تأثير قليل على المناطق الأخرى الموجودة في جنوب المرفأ (المواقع 1, 3, 6).

## الرصاص 210 والبولونيوم 210 في الأحياء البحرية

أظهرت الطحالب التي جمعت وحللت من أجل تعيين البولونيوم 210 عام 1993 على طول الشاطئ السوري [16، 13] تراكيز تراوحت بين 0.52 و 8.5 بكريل/كغ على الوزن الرطب وكانت أعلى التراكيز في الطحالب من نوع Spiridia SP (8.5 بكريل/كغ من الوزن الرطب). يبين الجدول 5 أن أعلى تراكيز البولونيوم 210 والرصاص 210 الملاحظة هنا كانت في الطحالب السمراء (Stypopadium sp) (15.44 بكريل/كغ وزن رطب). على أية حال، لا يدل تحليل هذه النوع من الطحالب على أي زيادة في البولونيوم 210 والرصاص 210 حيث لوحظت أعلى القيم في تلك العينات التي جمعت خارج منطقة المرفأ (الموقع 1). على الرغم من انخفاض عدد عينات السمك التي جمعت وحللت من داخل المرفأ، كانت تراكيز البولونيوم 210 مرتفعة نسبياً وتراوحت بين 5.5 و 23 بكريل/كغ من الوزن الرطب. ولقد لوحظت قيم مشابهة (27 بكريل/كغ من الوزن الرطب) في دراسة سابقة [12]. أما نسبة فعالية $^{210}Po/^{210}Pb$ فكانت مرتفعة جداً (307) في نوع واحد جمع من داخل المرفأ والتي يمكن أن تعود إلى ارتفاع محتوى البولونيوم 210 في المياه السطحية. وأظهرت أيضاً عينات السرطانات من داخل منطقة المرفأ تراكيز مرتفعة من البولونيوم 210 (عينات جمعت من 16 و 17) وأعلى بكثير من تلك القيم المذكورة لأنواع أخرى جمعت على طول الساحل السوري [16، 15]. على أية حال، دلت دراسات أخرى [23، 22] أجريت في بحر البلقان أن تحاليل عينات أسماك جمعت بالقرب من اطلاقات الصناعة الفسفاتية غير مختلفة إحصائياً عن المناطق الأخرى، بينما أظهر آخرون [9] اختلافات

**الجدول 5**– تراكيز البولونيوم 210 والرصاص 210 ونسبة الفعالية $^{210}Po/^{210}Pb$ في عينات مياه البحر جمعت من مواقع مرجعية

| رقم الموقع | تركيز البولونيوم 210 ميلي بكريل/ل (±1 SD) | تركيز الرصاص 210 ميلي بكريل/ل (±1 SD) | $^{210}Po/^{210}Pb$ (±1 SD) |
|---|---|---|---|
| جبلة | 0.7 ± 0.04 | 0.45 ± 0.05 | 1.5 ± 0.2 |
| بانياس | 1.1 ± 0.1 | 0.55 ± 0.05 | 2 ± 0.2 |
| طرطوس | 3.7 ± 0.1 | 2.32 ± 0.10 | 1.6 ± 0.1 |
| مرفأ اللاذقية | 2.1 ± 0.1 | 2.05 ± 0.07 | 1.0 ± 0.1 |
| شمال اللاذقية | 1.7 ± 0.1 | 1.29 ± 0.10 | 1.3 ± 0.1 |



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الجدول 6- تراكيز البولونيوم 210 والرصاص 210 ونسبة الفعالية $^{210}Po/^{210}Pb$ في الأحياء البحرية

| رقم الموقع | اسم ونوع الأحياء البحرية | | تركيز البولونيوم 210 بكرل/كغ وزن رطب (±1 SD) | تركيز الرصاص 210 بكرل/كغ وزن رطب (±1 SD) | $^{210}Po/^{210}Pb$ (±1 SD) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ضحالب | *Stypopodium zonale sp* | 15.4 ± 1.2 | 1.3 ± 0.03 | 11.5± 1.0 |
| | | *Stypopodium zonale sp* | 2.1 ± 0.04 | 1.0 ± 0.03 | 2.1± 0.1 |
| | | *Sargassum sp* | 10.6 ± 0.2 | 4.5 ± 0.2 | 2.3 ± 0.1 |
| | | *Cystoseira sp* | 3.7 ± 0.5 | 1.5 ± 0.2 | 2.5 ± 0.3 |
| 8 | عميق | | 7.3 ± 0.2 | 0.5 ± 0.01 | 13.0 ± 0.4 |
| 16 | عميق | | 7.0 ± 0.1 | 0.60 ± 0.01 | 11.7 ± 0.2 |
| | | | 5.5 ± 0.8 | 0.8 ± 0.1 | 7.0 ± 1.5 |
| | | | 7.9 ± 0.2 | 0.7 ± 0.03 | 11.9 ± 0.6 |
| | | | 4.9 ± 0.4 | 0.8 ± 0.01 | 6.2 ± 0.5 |
| 16 | ضحالب | *Janiasubens* | 7.6 ± 0.7 | 1.2 ± 0.3 | 6.3 ±1.6 |
| | | *Sargassum sp* | 6.7 ± 0.5 | 0.4 ± 0.03 | 15.3 ±1.5 |
| | | *Ulva lactuca* | 1.6 ± 0.2 | 0.4 ± 0.01 | 4.0 ± 0.6 |
| | | *Sarassum sp* | 1.8 ± 0.3 | 0.6 ± 0.05 | 3.1 ± 0.5 |
| | | *Cystoseira sp* | 2.5 ± 0.2 | 0.5 ± 0.03 | 5.3 ± 0.5 |
| 16 | سرطان | | 27.0 ± 0.3 | 1.1 ± 0.1 | 24 ± 3 |
| 16 | قعر بحر | | 7.5 ± 0.1 | 0.5 ± 0.2 | 15 ± 5 |
| 17 | ضحالب | *Corollina mediterranean* | 7.3 ± 0.1 | 1.5 ± 0.1 | 5 ± 0.3 |
| 17 | سرطان | | 26.3 ± 0.3 | 1.0 ± 0.02 | 27 ± 0.6 |
| 20 | سرطان | | 20.1 ± 0.04 | 3.2±0.2 | 6.3 ± 0.3 |
| 17 | عميق | | 11.0 ± 0.7 | 0.6 ± 0.1 | 20 ± 3 |
| | | | 23.0 ± 0.05 | 0.5 ± 0.01 | 50 ± 1 |
| | | | 11.4 ± 0.5 | 0.04 ± 0.01 | 307 ± 84 |
| 20 | عميق | | 7.1 ± 0.04 | 1.0±0.1 | 6.5 ± 0.1 |

معنوية تعكس أثر الصناعة الفسفاتية على البيئة البحرية للبحر الايرلندي [الجدول 6]. ولهذا ينصح بعدم استخدام الأحياء البحرية كمشعرات لتأثير الصناعة الفسفاتية على البيئة البحرية حيث تركز معظم الأحياء في أجسامها كل من البولونيوم 210 والرصاص 210.

ويستنتج من ذلك أن مياه البحر والرسوبيات هي العينات الرئيسية التي يجب مراقبتها من أجل تلوث البيئة البحرية الناجم عن اطلاقات الصناعة الفسفاتية بما فيها عمليات تحميل الفسفات الخام. ويفترض أن يكون الأثر الصحي الإشعاعي الناجم عن عمليات التحميل هو استنشاق غبار الفسفات وغاز الرادون ولا بد من تقدير التعرض الداخلي.

## الاستنتاج

بينت نتائج تراكيز البولونيوم 210 والرصاص 210 في عينات البيئة البحرية القريبة من مرفأ طرطوس زيادة معنوية في النكليدات الطبيعية داخل منطقة المرفأ وبالاتجاه الشمالي، وتستخدم فقط تحاليل المياه السطحية والرسوبيات لتقدير أثر فعاليات تحميل الفسفات. هذا وأظهرت تحاليل الأحياء البحرية التي جمعت من المنطقة المتأثرة نتائج قابلة للمقارنة مع مناطق أخرى وأنه غير مجدي استخدامها كمشعرات بيولوجية.

## المراجع

## REFERENCES


[1] Al-Masri, M.S., Ibrahim, S. & Al-Shamali, K. (1999). Tartous port pollution by trace metals resulting from phosphates loading activities, Atomic Energy Commission of Syria, AECS-PR/RRE 62.

[2] Barisic, D., Lulic, S. & Milatic, P. (1992) Radium and uranium in phosphate fertilizers and their impact on the radioactivity of water. Water Research, 26. 607- 611.

[3] Carvalho, F. P. (1995) $^{210}Pb$ and $^{210}Po$ in sediments and suspended matter in Tagus estuaries Portugal, local enhancement of natural levels by wastes from phosphate ore processing industry, Science of the Total Environ. 159, 201-214.

[4] Dalegaard, H. (1996). Polonium-210 in mussels and fish from the Baltic-North Sea estuary. Journal of Environmental Radioactivity, 32, 91-96.

[5] Hamam, H. & Landsberger, S. (1994). Studies of radioactivity and heavy metals in phosphate fertilizer. Journal of Radioanalytical Nucl. Chem. 194, 331-336.

[6] Marovic, G. & Sencar, J. (1995). $^{226}Ra$ and possible water contamination due to phosphate fertilizer production, Journal of Radioanalytical Nuclear Chem. 200, 9-18.

[7] Martinez, A. & Garcia, L. M. (1996). Anthropogenic emissions of $^{210}Po$, $^{210}Pb$, $^{226}Ra$ in an estuarine environment, Journal of Radioanalytical Nuclear Chem. 207, 357-367.

[8] McCartney, M., Kershaw, P. J., Allingtu, D. J., Young, A. K., & Turner, D. (1992). Industrial sources of naturally occurring radionuclides in the eastern Irish Sea. Journal of Radioanalytical Protection and Dosimetry, 45, 711-714.

[9] McDonald, P., Cook, G. T. & Baxter M. S. (1991). Natural and artificial radioactivity in coastal regions of the UK. In P. J. Kershaw & D. S. Woodhead (Eds). Radionuclides in the study of marine processes, London: Elsevier Applied Science, (pp. 329-339).

[10] Rutherford, P. M., Dudas, M. J. & Samek, R. A.(1994) Environmental impacts of phosphogypsum, Science of the Total Environ, 149, 1-38.

[11] Timmrmanas, C. W. & Van der Steen, J.(1996). Environmental and occupational impacts of natural radioactivity from some non-nuclear industries in the Netherlands. Journal of Environmental Radioactivity, 32, 97-104.

[12] Al-Masri, M.S., Mamish, S. Budeir Y. & Nashwati, A. (2000). $^{210}Pb$ and $^{210}Po$ concentrations in fish consumed in Syria Journal of Environmental Radioactivity 49, 34-352.

[13] Othman, I., Al-Hushari, M. & Raja, G.(1992) Radiation exposure levels in phosphate mining activities, Radiation Protection Dosimetry, 45, 197 - 201.

[14] Al-Masri, M.S., Al-Kharfa, K., Khaleli, H., Al-Haleem, M.A. & Al-Hares, Z. (2000). Determination of natural radionuclides in air particulates and soil near phosphate




http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

mines and its port, Atomic Energy Commission of Syria, AECS-PR/RSS 322.

[15] Othman, I.; Yassine, T. & Bhat, I. (1994b). Measurements of some radionuclides in the marine coastal environment of Syria. Science Total Environ. 153, 57-60.

[16] Othman, I. & Mamish, S. (1994a). Radioactivity in marine sediment of the east coast of the Mediterranean Sea. Proceedings of the Radiation Protection 70, Rome European Nuclear Energy Agency 17-19 May.

[17] Harley, J.H. (1978). Manual of standard procedures, Environmental Measurement Laboratory, USAEC Report HASL-300. New York. Department of Energy.

[18] Flynn, W.W. (1968). The determination of low levels of polonium-210 in environmental materials. Anal. Chem. 43, 221-227.

[19] McDonald, P., Baxter, M. S. & Scott E. M. (1996). Technological enhancement of natural radionuclides in the marine environment, Journal of Environmental Radioactivity. 32, 67-90.

[20] Parfenov, Yu. D.(1974). Polonium-210 in the environment and in the human organism. Atomic Energy Review.1, 75-143.

[21] Robbins, J. & Edgington, D. N., (1975). Determination of recent sedimentation rates in lake Michigan using $^{210}Pb$ and $^{137}Cs$, Geochemi Cosmochim. Acta, 39, 285-301.

[22] Skwarzec, B. (1997), Polonium, uranium and plutonium in the Southern Baltic Sea, Ambio, 26, 113-117.

[23] Stepnowski, P., Skwarzec, B. (2000), A comparison of $^{210}Po$ accumulation in mussels from Southern Baltic, the coast of Spitsbergen and Lasek Wielki Lake in Poland, Journal of Environmental Radioactivity, 49, 201-208.■

☆ ★ ☆



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# تثبيت الآزوت الجوي في الحمص : تأثير الهدروكينون كمثبط لليوريز على ثبات الإغناء بالنظير $^{15}N$ ★

د. فواز كرد علي
قسم الزراعة، هيئة الطاقة الذرّية، ص. ب. 6091، دمشق - سورية

**ملخص**

**أُجريت تجربة أصص بهدف دراسة تأثير تسميد نبات الحمص بسماد اليوريا الموسوم بالنظير $^{15}N$ منفرداً أو بإضافة الهدروكينون كمثبط لأنزيم اليوريز إلى سماد اليوريا أو التسميد بمادة نباتية موسومة بالنظير $^{15}N$، على ثبات الإغناء بالآزوت 15 في آزوت التربة المتاح. استُعملت طريقة التخفيف النظيري لقياس كفاءة تثبيت الآزوت الجوي وذلك بزراعة طراز وراثي من الحمص - الذي يتصف بعدم مقدرته على تشكيل عقد جذرية - بصفة نبات مرجعي.**

**أدت إضافة الهدروكينون إلى اليوريا أو إضافة المادة العضوية الموسومة إلى الحصول على ثبات في قيم $^{15}N$ لآزوت التربة المتاح مقارنة مع الإضافة المنفردة لليوريا وذلك في المراحل المختلفة من النمو. لم تتأثر الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي نتيجة اتباع الطرائق المختلفة من إضافة الأسمدة الموسومة. إن تمتع الحمص بكفاءة تثبيتية عالية للآزوت الجوي من جهة، واستعمال نبات مرجعي مناسب من حيث طبيعة امتصاص الآزوت من جهة أخرى، قد أدى إلى التغلب على الأخطاء الكامنة في حساب كفاءة تثبيت الآزوت الجوي وذلك عند حدوث انخفاض في قيم الإغناء بالآزوت 15. من ناحية أخرى، أدت إضافة الهدروكينون إلى اليوريا إلى الحصول على ارتفاع معنوي في كفاءة استخدام السماد مقارنة مع الإضافة المنفردة لليوريا.**

**الكلمات المفتاحية:** تثبيت الآزوت الجوي - الحمص - يوريا - هدروكينون - $^{15}N$.

## المقدمة

تُستعمل تقنية التمديد النظيري للآزوت 15، $^{15}N$ isotope dilution technique بشكل واسع لتقدير كفاءة التثبيت الحيوي للآزوت الجوي في النباتات البقولية. وتعتمد هذه التقنية على الاختلافات في التركيب النظيري لمصادر الآزوت المتاحة لنمو النباتات كالتربة والسماد والآزوت الجوي [1، 2] يمكن أن تنشأ هذه الاختلافات من الآزوت 15 الطبيعي في التربة ومن جراء إضافة الأسمدة المغناة أو المستنفدة بالنظير $^{15}N$ [3].

تؤدي عادة إضافة الأسمدة الموسومة بالآزوت 15 للتربة إلى إغناء أولي مرتفع في آزوت المتاح والذي يتناقص تدريجياً مع الزمن. وقد ينجم هذا الانخفاض عن امتصاص النبات للآزوت و عن عمليات فَقْدٍ أخرى لآزوت التربة المتاح والمترافقة مع التمديد بالآزوت الناجم عن معدنة الآزوت العضوي، حيث يسبب ذلك أخطاءً في قياس كفاءة تثبيت الآزوت الجوي [4]. و للحصول على ثبات في قيم الإغناء بالآزوت 15 القابل للإفادة خلال نمو النباتات، اتُّبعت طرائق مختلفة من الإضافات السمادية بهدف تقليص مثل هذه الأخطاء. ويتضمن ذلك إضافة الآزوت 15 إلى التربة بأشكالٍ تتصف بإتاحتها البطيئة للنباتات، كإضافة مواد عضوية تحوي على $^{15}N$ مثلاً [5، 6]، أو إضافة الأسمدة مع مصدر من الكربون [7] أو إجراء إضافات متكررة من الأسمدة الموسومة، حيث تسهم هذه الطرائق في تقليص خطأ حساب كفاءة تثبيت الآزوت الجوي؛ ولكن، حسب رأي Witty [4] يبقى تطبيق هذه الطرائق أمراً غير ممكن دوماً.

تضاف الأسمدة الآزوتية الموسومة، عموماً، بأشكال مختلفة، بحيث تحتوي إما على جذر $NH_4^+$ أو جذر $NO_3^-$ أو يوريا. وتعتبر اليوريا من الأسمدة الواسعة الانتشار، والمستعملة كمواد تعليم في دراسات تثبيت الآزوت الجوي. وقد أظهرت الدراسات أن اليوريا تتحلمه سريعاً في التربة بوجود أنزيم اليوريز Urease حيث تتحرر الأمونيا التي يُفقد قسم منها بالتطاير Volatilization، وخاصة في الظروف الجافة. لقد قام بعض الباحثين بإضافة مواد مثبطة لأنزيم اليوريز إلى اليوريا في دراسات عن التسميد الآزوتي [8، 9]، حيث تسهم هذه المواد في تنظيم حلمهة اليوريا، وبالتالي تقليل فقد آزوتها الأمونياكي عن طريق التطاير. ويُعدّ الهدروكينون واحداً من المركّبات المثبطة لليوريز والمستعمل في العديد من التجارب [8، 9، 10]. ومن الجدير ذكره عدم توفر معلومات حول استعمال مثبطات اليوريز في دراسات تثبيت الآزوت الجوي عند استعمال اليوريا كسماد موسوم. ويعالج هذا العمل، لأول مرة، استعمال الهدروكينون مع اليوريا في دراسة قياس كفاءة تثبيت الآزوت الجوي في الحمص خلال مراحل مختلفة من النمو، وذلك في تجربة أصص. وتنحصر أهداف هذه التجربة في النقاط التالية:

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Communication in soil science & plant analysis* (2001).



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

1 – تقييم إضافة الهدروكينون إلى اليوريا، ومعرفة تأثير هذه الإضافة على ثبات الإغناء بالآزوت 15 في آزوت التربة المتاح مع الزمن.

2 – مقارنة إضافة الهدروكينون إلى اليوريا مع إضافة اليوريا فقط ومع إضافة بقايا نباتية موسومة ناجمة من تجربة سابقة.

3 – تحديد كفاءة استعمال السماد الآزوتي في المعاملات المختلفة.

4 – قياس الآزوت الجوي المثبت في الحمص Cicer arietinum L.، الذي يتصف عادة بكفاءة تثبيتية عالية في الظروف الحقلية [11].

## المواد والطرائق

أُجريت التجربة في أصص مملوءة بتربة جُمعت من محطة البحوث الزراعية في جلّين الواقعة جنوب سورية. وقد تمّ عرض أهم المواصفات الفيزيائية و الكيميائية للتربة في بحث سابق [12]. لقد تبيَّن – في دراسة سابقة – أن التربة المستعملة حوت عدداً كبيراً من الريزوبيا المستوطنة بالتربة، وأن نباتات الحمص المزروعة في هذه التربة حملت عقداً وفيرة على جذورها [11].

ملىء كل أصيص بـ 2 كغ تربة منخولة (2 مم) و زُرع ستون أصيصاً بالحمص الشتوي (صنف ILC 482) وستون أصيصاً بسلالة من الحمص الهندي غير مثبت للآزوت الجوي بصفة نبات مرجعي (PM - 233 – إيكاردا). وبعد الإنبات تمّ إبقاء نبات واحد في كل أصيص ثم أُضيفت الأسمدة الموسومة بمعدل 22 مغ N في الأصيص الواحد (20 كغ N / هـ) باستعمال المعاملات الثلاثة التالية:

1 – أربعون أصيصاً (20 حمص مثبت و 20 حمص غير مثبت) أُضيف إليها يوريا موسومة بنسبة إغناء قدرها 9.6337 ذرّة $^{15}N$ فوق الحد الطبيعي.

2 – أربعون أصيصاً (20 حمص مثبت و 20 حمص غير مثبت) أُضيف إليها يوريا موسومة بنسبة إغناء قدرها 9.6337 ذرّة $^{15}N$ فوق الحد الطبيعي مع هدروكينون بنسبة 10%.

3 – أربعون أصيصاً (20 حمص مثبت و 20 حمص غير مثبت) أُضيف إليها آزوت عضوي موسوم من بقايا نباتية لمحصول القمح استحصل عليها من تجربة سابقة، تحوي على الآزوت بنسبة = 1.35% و موسومة بنسبة إغناء قدرها 4.0037 ذرّة $^{15}N$ فوق الحد الطبيعي.

جرى ترتيب المعاملات وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة بأربعة مكررات. ووضعت النباتات ضمن ظروف مناخية طبيعية ورويت حسب الحاجة. تمّ حصاد المجموع الخضري للنباتات في مواعيد مختلفة بعد الزراعة (35، 55، 75، 90، و 105 يوم بعد الزراعة DAP). جُففت العيّنات على درجة حرارة 70 درجة مئوية لمدة 72 ساعة، وقُدِّر الوزن الجاف لها. طُحنت العيّنات فيما بعد وقُدِّر محتواها من الآزوت الكلي وفق طريقة كلداهل، ثم قيست نسب $^{15}N / ^{14}N$ في العينات باستعمال جهاز مطياف الإصدار الضوئي (Emission Spectrometer, Jasco - 150, Japan). وجرى تقدير النسب المئوية للآزوت الجوي المثبت Ndfa% باستعمال معادلة [2] Fried and Middelboe. خضعت البيانات المستحصل عليها إلى تحليل إحصائي وجرى تبيان الفروق بين متوسطات المعاملات المختلفة بحساب أقل فرق معنوي (L. S. D.) على مستوى ثقة 0.05.

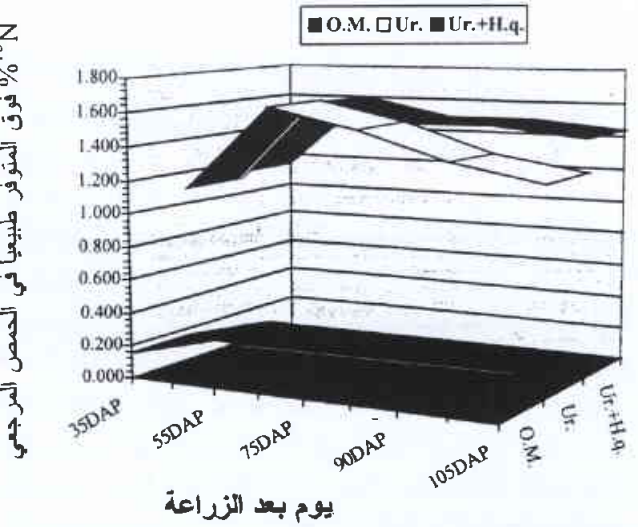
## النتائج

### ديناميكية الإغناء بالآزوت 15 في آزوت التربة المتاح

حدد مستوى الإغناء بـ $^{15}N$ في آزوت التربة المتاح في النبات المرجعي، وذلك اعتماداً على مبدأ طريقة التخفيف النظيري التي تستعمل، عادةً، لحساب كفاءة التثبيت الحيوي للآزوت الجوي. ويتضح من الشكل 1 انخفاض النسب المئوية للآزوت $^{15}N$ فوق المتوفر طبيعياً بدءاً من المرحلة (75 يوماً بعد الزراعة) وذلك في المعاملة التي أُضيف إليها اليوريا فقط (Ur.)، في حين كان مستوى الإغناء بالآزوت 15 أكثر ثباتاً مع الزمن في كل من معاملة اليوريا + الهدروكينون (Ur. + H.q) والمعاملة التي استعملت فيها المادة العضوية الموسومة (OM).

### إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي

يبيّن الجدولان 1 و 2 إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي في النباتات النامية في تربة أُضيف لها يوريا موسومة،و يوريا موسومة مع هدروكينون، وبقايا نباتية موسومة، وذلك في سلالتي الحمص المثبتة و غير المثبتة للآزوت الجوي، على التوالي. ويتضح من الجدولين المذكورين آنفاً ازدياد إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي في المعاملات كافة مع تقدم النباتات في العمر. كان إنتاج المادة الجافة في الحمص المثبت في معاملة اليوريا فقط أكثر ارتفاعاً (بسوية طفيفة) منه في المعاملات الأخرى، في حين لم تلاحظ فروق معنوية في قيم الآزوت الكلي، وذلك بعد 105 أيام من الزراعة (الجدول 1). وبالنسبة للنباتات المرجعية فقد تبيّن عدم وجود فروق معنوية في قيم إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي وتراكيز الآزوت بين المعاملات المختلفة في مراحل النمو المدروسة كافة (الجدول 2).




**الشكل 1– $^{15}N$% فوق المتوفر طبيعياً في الحمص المرجعي نتيجة إضافة اليوريا (Ur.)، واليوريا مع الهدروكينون (Ur. + Hq)، ومادة عضوية (OM) موسومة وذلك في مراحل مختلفة من النمو.**



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الجدول 1- إنتاج المادة الجافة (غ/ أصيص) والآزوت الكلّي (مغ N/ أصيص) في الحمص المزروع في تربة أُضيف لها اليوريا، واليوريا مع الهدروكينون (Urea+H.q)، و مادة عضوية (OM) موسومة، بعد أيام مختلفة من الزراعة (DAP).

| المادة الجافة (غ/أصيص) | DAP | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| المعاملة | 35 | 55 | 75 | 90 | 105 |
| Urea | 0.54b* | 1.18a | 2.65a | 3.38a | 3.90a |
| Urea+Hq. | 0.57ab | 1.20a | 2.63a | 3.50a | 3.87ab |
| O.M | 0.60a | 1.23a | 2.45b | 3.53a | 3.68b |
| الآزوت الكلي (مغ N/ اصيص) | | | | | |
| المعاملة | 35 | 55 | 75 | 90 | 105 |
| Urea | 31.96a | 49.85a | 92.18a | 126.25b | 154.45a |
| Urea+Hq. | 33.68a | 50.59a | 93.45a | 133.93a | 153.24a |
| O.M | 34.85a | 53.95a | 90.70a | 133.26a | 147.05a |

* المتوسطات المشار إليها بأحرف متشابهة ضمن عمود واحد لاتختلف معنوياً على مستوى ثقة = 0.05.

الجدول 2- إنتاج المادة الجافة (غ/ أصيص) والآزوت الكلّي (مغ N / أصيص) في الحمص المرجعي غير المثبت للآزوت الجوي المزروع في تربة أُضيف لها اليوريا، واليوريا مع الهدروكينون (Urea+H.q)، ومادة عضوية OM موسومة، بعد أيام مختلفة من الزراعة (DAP).

| المادة الجافة (غ/أصيص) | DAP | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| المعاملة | 35 | 55 | 75 | 90 | 105 |
| Urea | 0.35a | 0.90a | 2.23a | 3.15a | 3.73a |
| Urea+Hq. | 0.32a | 0.85a | 2.33a | 3.03a | 3.73a |
| O.M | 0.35a | 0.80a | 2.15a | 3.08a | 3.64a |
| الآزوت الكلي (مع N/ اصيص) | | | | | |
| المعاملة | 35 | 55 | 75 | 90 | 105 |
| Urea | 21.86a | 42.19a | 98.28a | 119.42a | 124.75a |
| Urea+Hq. | 19.52a | 39.47a | 97.78a | 122.09a | 130.81a |
| O.M | 21.42a | 37.90a | 91.09±8.18a | 121.83a | 126.25a |

* المتوسطات المشار إليها بأحرف متشابهة ضمن عمود واحد لاتختلف معنوياً على مستوى ثقة = 0.05.

## مصادر الآزوت في نباتات الحمص المثبتة للآزوت الجوي

يبيّن الجدول 3 النسب المئوية للآزوت المثبت من الجو (Ndfa%)، والممتص من التربة (Ndfs%) ومن السماد (Ndff%). لوحظ وجود زيادة طفيفة ولكنها معنوية، في قيم Ndfa% وذلك في معاملة اليوريا مع الهدروكينون مقارنة مع معاملة المادة العضوية الموسومة بعد 55 و 75 يوماً من الزراعة.

بلغت النسب المئوية للآزوت المثبت من الجو Ndfa% في نهاية التجربة (105 DAP) 58.1% و 60% و 58.34% في معاملات اليوريا، و اليوريا + الهدروكينون، والمادة العضوية، على التوالي. وعلى الرغم من الزيادة المعنوية في قيمة Ndfa% في معاملة اليوريا مع الهدروكينون بالمقارنة مع اليوريا المنفردة إلا أن هذه الزيادة قليلة جداً من حيث تحسين كفاءة تثبيت الآزوت الجوي. يلاحظ من الجدول ذاته ازدياد قيم الآزوت المثبت من الجو (Ndfa%) مع تقدم النبات بالعمر، وذلك بعكس قيم الآزوت الممتص من التربة (Ndfs%). لقد أدت إضافة المادة العضوية الموسومة إلى زيادة في النسب المئوية للآزوت الممتص من التربة Ndfs% مقارنة مع المعاملات الأخرى في المراحل كافة، بينما كانت النسب المئوية للآزوت الممتص من السماد Ndff% أقل. لقد أدت إضافة الهدروكينون إلى اليوريا إلى زيادة معنوية في نسب الآزوت الممتص من السماد بعد 90 و 105 يوم من الزراعة، وذلك مقارنة بالمعاملة التي استخدمت فيها اليوريا فقط. ويبيّن الجدول 4 الاتجاه ذاته فيما يتعلق بكميات الآزوت الممتصة من التربة ومن السماد.

كانت كميات الآزوت الممتصة من التربة Ndfs عموماً، مرتفعة في معاملة المادة العضوية مقارنة مع المعاملات الأخرى، في حين كانت كميات الآزوت الممتصة من السماد Ndff أقل ارتفاعاً. لم تختلف معنوياً كميات الآزوت الجوي المثبت بين معاملة اليوريا (90 مغ N/ أصيص) ومعاملة اليوريا مع الهدروكينون (92 مغ N/ أصيص)، وذلك بعد 105 أيام من الزراعة. ولم تؤثر إضافة المادة العضوية في كمية الآزوت الجوي المثبت لدى المقارنة بمعاملة اليوريا، في حين كانت هناك زيادة طفيفة في الآزوت الجوي المثبت عند المقارنة مع معاملة اليوريا مع الهدروكينون (الجدول 4).



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

الجدول 3– النسب المئوية للآزوت المثبت من الجو (%Ndfa) والممتص من التربة (%Ndfs) ومن السماد (%Ndff)
في الحمص المزروع في تربة أُضيف لها اليوريا، واليوريا مع الهدروكينون (Urea+H.q)، ومادة عضوية (OM) موسومة ، بعد أيام مختلفة من الزراعة (DAP).

| | DAP | | | | %Ndfa |
|---|---|---|---|---|---|
| المعاملة | 35DAP | 55DAP | 75DAP | 90DAP | 105DAP |
| Urea | 34.40a | 41.28a | 45.18ab | 54.94a | 58.10b |
| Urea+Hq. | 37.34a | 39.45a | 46.22a | 55.81a | 60.00a |
| O.M | 35.38a | 34.74b | 44.53b | 55.52a | 58.34ab |
| | | | | | %Ndfs |
| المعاملة | 35 | 55 | 75 | 90 | 105 |
| Urea | 58.08b | 48.91b | 46.31b | 38.85b | 36.54b |
| Urea+Hq. | 55.28b | 50.51b | 45.48b | 37.35b | 34.05±c |
| O.M | 62.08a | 60.49a | 51.59a | 41.34a | 38.85a |
| | | | | | %Ndff |
| المعاملة | 35 | 55 | 75 | 90 | 105 |
| Urea | 7.51a | 9.81a | 8.51a | 6.21b | 5.36b |
| Urea+Hq. | 7.38a | 10.04a | 8.29a | 6.83a | 5.95a |
| O.M | 2.53b | 4.77b | 3.88b | 3.13c | 2.81c |

• المتوسطات المشار إليها بأحرف متشابهة ضمن عمود واحد لاتختلف معنوياً على مستوى ثقة = 0.05.

الجدول 4– كميات الآزوت (مغ N/ أصيص) المثبتة من الجو (Ndfa) والمتصة من التربة (Ndfs) ومن السماد (Ndff) في الحمص المثبت للآزوت الجوي المزروع في تربة أُضيف لها اليوريا، واليوريا مع الهدروكينون (Urea+H.q)، ومادة عضوية (OM) موسومة ، بعد أيام مختلفة من الزراعة (DAP).

| | DAP | | | | Ndfa |
|---|---|---|---|---|---|
| المعاملة | 35 | 55 | 75 | 90 | 105 |
| Urea | 10.99a | 20.60a | 41.63a | 69.38b | 89.74ab |
| Urea+Hq. | 12.57a | 19.95a | 43.23a | 74.75a | 91.87a |
| O.M | 12.35a | 18.75a | 40.37a | 73.99ab | 85.80b |
| | | | | | Ndfs |
| المعاملة | 35 | 55 | 75 | 90 | 105 |
| Urea | 18.56b | 24.36b | 42.69a | 49.03b | 56.44ab |
| Urea+Hq. | 18.26b | 25.56b | 42.47a | 50.03b | 52.24b |
| O.M | 21.62a | 32.62a | 46.81a | 55.09a | 57.12a |
| | | | | | Ndff |
| المعاملة | 35 | 55 | 75 | 90 | 105 |
| Urea | 2.39a | 4.88a | 7.84a | 7.84b | 8.27b |
| Urea+Hq. | 2.49a | 5.08a | 7.75a | 9.16a | 9.12a |
| O.M | 0.88b | 2.57b | 3.52b | 4.17c | 4.13c |

• المتوسطات المشار إليها بأحرف متشابهة ضمن عمود واحد لا تختلف معنوياً على مستوى ثقة = 0.05.

## مصادر الآزوت في نباتات الحمص غير المثبتة للآزوت الجوي

يظهر الجدول 5 النسب المئوية وكميات الآزوت الممتصة من التربة Ndfs ومن السماد Ndff في نبات الحمص المرجعي، حيث يلاحظ ازدياد واضح في هذه القيم مع تقدم النبات في العمر. كانت النسب المئوية وكميات الآزوت الممتصة من السماد أعلى معنوياً في معاملة اليوريا مع الهدروكينون مقارنة مع المعاملات الأخرى وذلك في المرحلتين الأخيرتين من النمو (90 و 105 يوم بعد الزراعة). كانت Ndfs% في معاملة المادة العضوية أعلى معنوياً من المعاملات الأخرى، وكان منحى كميات الآزوت الممتصة من التربة مماثلاً.

## النسب المئوية لكفاءة استعمال السماد

يبيّن الشكل 2 كفاءة استعمال السماد في المعاملات المدروسة كافة. يلاحظ من هذا الشكل أن قيم كفاءة استعمال السماد كانت أكثر ارتفاعاً في المعاملتين (اليوريا، و اليوريا + الهدروكينون) من القيم المتحصل عليها جراء إضافة المادة العضوية الموسومة. من ناحية أخرى، أدت إضافة

**الجدول 5**– النسب المئوية % وكميات الآزوت (مغ N/ أصيص) المتصة من التربة (Ndfs) ومن السماد (Ndff) في الحمص المرجعي غير المثبت للآزوت الجوي المزروع في تربة أُضيف لها اليوريا، واليوريا مع الهدروكينون (Urea + H.q)، ومادة عضوية (OM) موسومة، بعد أيام مختلفة من الزراعة (DAP).

| | DAP | | | | %Ndff |
|---|---|---|---|---|---|
| المعاملة | 35 | 55 | 75 | 90 | 105 |
| Urea | 11.31a | 16.7a | 15.52a | 13.79b | 12.81b |
| Urea+Hq. | 11.78a | 16.59a | 15.42a | 15.47a | 14.86a |
| O.M | 3.92b | 7.13b | 7.00b | 7.05c | 6.75c |
| | | | | | كمية Ndff |
| المعاملة | 35 | 55 | 75 | 90 | 105 |
| Urea | 2.50a | 7.05a | 15.23a | 16.46b | 15.97b |
| Urea+Hq. | 2.30a | 6.55a | 15.09a | 18.88a | 19.44a |
| O.M | 0.84b | 2.76b | 6.34b | 8.59c | 8.53c |
| | | | | | %Ndfs |
| المعاملة | 35 | 55 | 75 | 90 | 105 |
| Urea | 88.56b | 83.3b | 84.47b | 86.21b | 87.19b |
| Urea+Hq. | 88.22b | 83.41b | 84.58b | 84.53c | 85.14c |
| O.M | 96.08a | 92.69a | 93.00a | 92.96a | 93.25a |
| | | | | | كمية Ndfs |
| المعاملة | 35 | 55 | 75 | 90 | 105 |
| Urea | 19.35a | 35.15a | 83.04a | 102.96b | 108.77b |
| Urea+Hq. | 17.23a | 32.92a | 82.70a | 103.20b | 111.36ab |
| O.M | 20.58a | 35.39±a | 84.75a | 113.23a | 117.81a |

• المتوسطات المشار إليها بأحرف متشابهة ضمن عمود واحد لاتختلف معنوياً على مستوى ثقة = 0.05.

الهدروكينون إلى اليوريا لزيادة معنوية في كفاءة استعمال السماد بالمقارنة مع اليوريا لوحدها وقد بلغت هذه الزيادة 16.7 و 10% في المحصول المثبت وحوالي 15 و 23 في المحصول المرجعي، وذلك في المرحلتين 90 و 105 يوم بعد الزراعة على التوالي.

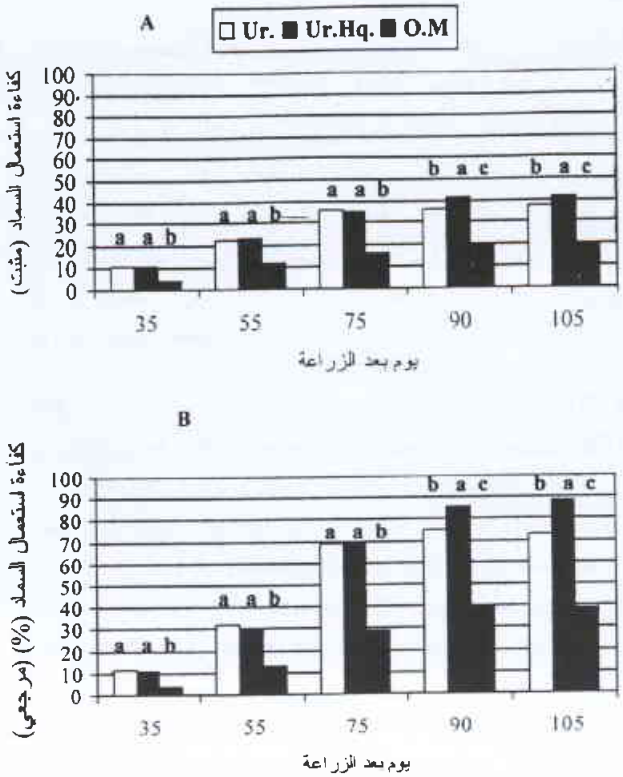
## المناقشة

تُعدّ تقنية الوسم بالآزوت 15 من أكثر التقنيات أهمية في تجارب التمديد النظيري المصممة لتقدير كفاءة تثبيت الآزوت الجوي [13]. أكدت الأبحاث السابقة أن أفضل الظروف لاستعمال تقانة الآزوت 15 هي تلك التي يتحقق فيها ثبات في قيم $^{15}N$ في آزوت التربة المتاح مع الزمن [4]. لوحظ في هذه التجربة انخفاض في $^{15}N$% في آزوت التربة المتاح عند إضافة اليوريا منفردة بعد 90 يوماً من الزراعة والذي استمر حتى نهاية التجربة (105 أيام بعد الزراعة)، في حين أدت إضافة الهدروكينون إلى اليوريا إلى الحصول على منحى أكثر ثباتاً في هذه القيم، وازى نوعاً ما منحى قيم المعاملة التي استعملت فيها المادة العضوية الموسومة (الشكل 1). لقد بيّن Witty [4] أن انخفاض الإغناء بالنظير $^{15}N$ في آزوت التربة المتاح مع الزمن، واختلاف طبيعة امتصاص آزوت التربة بين النبات المثبت والنبات غير المثبت، يمكن أن يؤدي إلى أخطاء في حساب كفاءة تثبيت الآزوت الجوي. فللحصول على نبات مرجعي مناسب، يجب أن يبدأ المحصولان امتصاص آزوت الترب بوقت واحد وبكميات مماثلة قبل بدء تثبيت الآزوت الجوي [4]. وفي هذه الدراسة تبيّن أن كميات الآزوت المتصة من التربة في بداية النمو (35 يوماً من الزراعة) كانت متماثلة بين الحمص المثبت والحمص غير المثبت (الجدولان 4 و 5)؛ و هذا يشير إلى عدم اختلاف في طبيعة امتصاص الآزوت بين المحصولين. وبعد هذه المرحلة، ازدادت كميات الآزوت المتصة من التربة تدريجياً في المحصول المرجعي (الجدول 5)، مقارنة مع المحصول المثبت، جراء عملية تثبيت الآزوت الجوي، التي ازدادت ارتفاعاً مع تقدم النباتات بالعمر. لذلك تشير هذه النتيجة إلى أن المحصول المرجعي المستعمل في هذه التجربة كان مناسباً لتقدير كفاءة تثبيت الآزوت الجوي في الحمص.

لقد بيّن Papastylianou و Danso [5] أن إضافة المواد العضوية الموسومة بالنظير $^{15}N$ تؤدي إلى الحصول على نتائج أكثر صحة من جراء إضافة الآزوت المعدني بسبب تقليص معدل الانخفاض في مستوى الإغناء بالآزوت 15 في آزوت التربة المتاح مع الزمن. وقد أظهرت هذه الدراسة أن كمية الآزوت الجوي المثبتة في الفترة الكاملة للتجربة (105 أيام) لم تختلف بين معاملة اليوريا لوحدها ومعاملة المادة العضوية. علاوة على ذلك، و رغم الحصول على ثبات في مستوى الإغناء بالآزوت 15 في آزوت التربة المتاح مع الزمن نتيجة إضافة الهدروكينون مقارنة مع اليوريا المنفردة إلا أن الفرق في كميات الآزوت الجوي المثبتة بين هاتين المعاملتين لم يكن معنوياً.



هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy




**الشكل 2**– النسب المئوية لكفاءة استعمال السماد Fertilizer use efficiency في الحمص المثبت A وفي الحمص المرجعي B نتيجة إضافة اليوريا (Ur.) أو اليوريا مع الهدروكينون (Ur.+Hq) أو مادة عضوية (OM) موسومة في مراحل مختلفة من النمو.

كانت كفاءة تثبيت الآزوت الجوي في الحمص، المقدرة في المعاملات المختلفة، مرتفعة على الرغم من الانخفاض الحاصل في نسبة $^{15}N / ^{14}N$ في آزوت التربة المتاح مع الزمن، لدى معاملة اليوريا المنفردة وذلك في الفترة التي تلت 75 يوماً من الزراعة. يمكن أن يكون ارتفاع الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي، سبباً إضافياً في تقليص الأخطاء المتعلقة بتقدير تثبيت الآزوت الجوي. فقد بيّن Danso [14] أن أخطاء قياس كفاءة تثبيت الآزوت الجوي الناجمة من اختلاف في طبيعة امتصاص آزوت التربة بين المحصول المثبت والمحصول المرجعي يمكن أن تكون طفيفة عند تمتع النظام التثبيتي بكفاءة مرتفعة في تثبيت الآزوت الجوي. وعملياً يمكن أن يؤدي ذلك إلى انخفاض أقل حدة في مستوى الإغناء بالآزوت 15 في آزوت التربة المتاح مع الزمن [4]. إن تمتع الحمص بكفاءة تثبيتية عالية للآزوت الجوي من جهة واستعمال نبات مرجعي مناسب من حيث طبيعة امتصاص الآزوت من جهة أخرى أدى إلى التغلب على الأخطاء الكامنة في حساب كفاءة تثبيت الآزوت الجوي وذلك عند حدوث انخفاض في قيم الإغناء بالآزوت 15.

يمكن أن يسبب فقد آزوت السماد أخطاءً في قياس الآزوت المثبت وخاصة عند توظيف طريقة القيمة A والتي يتم من خلالها إضافة كميات مختلفة من السماد الآزوتي إلى كل من المحصول المثبت والمرجعي، وبالتالي فإن معدل فقد الآزوت سيكون مختلفاً. فقد بيّنت نتائج Renie [15] وجود فقد في السماد الآزوتي $Na^{15}NO_3$ نتيجة عملية عكس النترجة Denitrification مما سبب خطأً في قياس كفاءة تثبيت الآزوت الجوي في نبات Navy bean عند استعمال طريقة القيمة A. كما بيّن Chalk [3] وجود مثل هذا الخطأ عند إضافة اليوريا $CO(^{15}NH_2)_2$ واستخدام الطريقة المذكورة آنفاً. ونظراً لإضافة كميات متساوية من الآزوت – في هذه التجربة – إلى كل من المحصول المثبت والمحصول المرجعي (طريقة التمديد النظيري)، فإن أي فقد متوقع للآزوت سيكون متساوياً.

لم يتأثر محتوى النباتات المثبتة وغير المثبتة من الآزوت – في أغلب الحالات – باختلاف المعاملات السمادية، على الرغم من اختلاف نسب وكميات الآزوت الممتصة من السماد. كانت قيم Ndff في معاملة اليوريا مع الهدروكينون أعلى معنوياً من تلك في المعاملات الأخرى وذلك بعد 90 و 105 يوم من الزراعة (الجدولان 3 و 5). في حين كانت نسب وكميات Ndff في معاملة المادة العضوية أخفض من معاملة اليوريا ومعاملة اليوريا مع الهدروكينون. غير أن كمية الآزوت الممتصة من التربة في معاملة المادة العضوية كانت – في أغلب الحالات – أكثر ارتفاعاً. أدت زيادة كمية الآزوت الممتصة من التربة وانخفاض كمية الآزوت الممتصة من السماد في معاملة المادة العضوية إلى عدم الحصول على فروق معنوية في قيم الآزوت الكلّي بين المعاملات في كلا المحصولين خلال المراحل المختلفة من النمو (الجدولان 1 و 2).

على الرغم من إضافة كميات متساوية من الآزوت من المصدر المعدني ومن المصدر العضوي، فقد تمّ الحصول على انخفاض واضح في نسب وكميات الآزوت الممتص من السماد نتيجة إضافة المادة العضوية الموسومة مقارنة مع الأسمدة المعدنية (الجدولان 3 و 4). وقد يعود منشأ هذا الانخفاض إلى بطء معدنة الآزوت العضوي والذي أدى – بالتالي – إلى انخفاض في كفاءة استعمال السماد من قبل النباتات في كلٍ من المحصولين المدروسين اللذين خضعا إلى إضافة المادة النباتية الموسومة.

أدت إضافة الهدروكينون إلى اليوريا لزيادة معنوية في كفاءة استعمال السماد بالمقارنة مع اليوريا لوحدها، وبلغت هذه الزيادة 16.7 و 10% في المحصول المثبت وفي حدود 15 و 23% في المحصول المرجعي، وذلك في المرحلتين 90 و 105 يوم بعد الزراعة على التوالي. و قد تكون هذه الزيادة ناجمة، غالباً، عن انخفاض معدل فقد الأمونيا بالتطاير نظراً لوجود الهدروكينون كمركّب مثبط لأنزيم اليوريز [8، 9]. لذلك فإن لإضافة الهدروكينون إلى اليوريا أهمية زراعية من حيث زيادة كفاءة استعمال السماد.

هناك ميزتان هامتان لإضافة المخلّفات النباتية الموسومة الناجمة من تجارب سابقة، حيث تكمن الميزة الأولى في تحقيق تحرر بطيء للنظير $^{15}N$ مع الزمن. في حين تكمن الميزة الثانية في إعادة الاستفادة من هذه المواد في تجارب أخرى، مخففة بالتالي الأعباء المالية التي تسببها الأسمدة المعدنية الموسومة. ونظراً لأن إضافة الهدروكينون إلى اليوريا تؤدي أيضاً إلى تحرر بطيء للنظير $^{15}N$ مع الزمن، فإنه من المتوقع الحصول على فائدة من تطبيق هذه الطريقة في تجارب يستعمل فيها سماد يوريا منخفض الإغناء بالنظير $^{15}N$ مما يوفر، بالتالي، استعمال أسمدة يوريا مرتفعة الإغناء بالنظير $^{15}N$ ذات تكاليف أكثر ارتفاعاً.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

## الاستنتاجات

يمكن الاستنتاج، اعتماداً على النتائج السابقة، أن استعمال الهدروكينون مع اليوريا يؤدي إلى الحصول على ثبات جيد في قيم $^{15}N$ في آزوت التربة المتاح مع الزمن، بحيث يوازي الثبات المتحصل عليه جراء إضافة مادة عضوية موسومة. إذا كان سماد اليوريا الموسوم هو المتوفر والمستعمل لتقدير كفاءة التثبيت الحيوي للآزوت الجوي، عند توظيف طريقة التخفيف النظيري، فإن إضافة الهدروكينون إلى هذا السماد يمكن أن تكون طريقة مجدية للحصول على ثبات في قيم $^{15}N$ في آزوت التربة المتاح مع الزمن، وخاصة عند استعمال نبات مرجعي غير مناسب، حيث يتوقع، من تطبيق هذا الإجراء، تقليل الخطأ المحتمل حصوله في قياس تثبيت الآزوت الجوي. من ناحية أخرى، سببت إضافة الهدروكينون إلى اليوريا الحصول على ارتفاع معنوي في كفاءة استخدام السماد مقارنة مع الإضافة المنفردة لليوريا. ومن المفيد، في تجارب قادمة، اختبار مركّبات مختلفة من مثبطات اليوريز المتوفرة، وتحديد التراكيز المناسبة لاستخدامها في ظروف حقلية مختلفة.

## REFERENCES المراجع


[1] Bergersen, F. J. and G. L. Turner, 1983. An evaluation of $^{15}N$ methods for estimating nitrogen fixation in a subterranean clover - perennial ryegrass sward. Australian Journal of Agricultural Research. 34: 391 - 401.

[2] Fried, M. and V. Middelboe, 1977. Measurements of amount of nitrogen fixed by a legume crop. Plant and Soil. 47: 713 - 715.

[3] Chalk, P. M., 1985. Estimation of $N_2$ fixation by isotope dilution: an appraisal of techniques involving $^{15}N$ enrichment and their application. Soil Biol. Biochem. 17: 389 - 410.

[4] Witty, J. G. 1983. Estimation $N_2$-fixation in the field using $^{15}N$-labelled fertilizer: some problems and solutions. Soil Biol. Biochem. 15: 631 - 639.

[5] Papastylianou, I. and S. K. A. Danso, 1991. Nitrogen fixation and transfer in Vetch and Vetch - Oats mixture. Soil Biochem. 21: 447 - 452.

[6] Witty, J. F. and K. Ritz, 1984. Slow-release $^{15}N$ fertilizer formulations to measure $N_2$. fixation by isotope dilution. Soil. Biol Biochem. 16: 657 - 661.

[7] Legg, J. O. and C. Sloger 1975. A tracer method for determining symbiotic nitrogen fixation in field studies. In Proceedings of the Second International Conference on Stable Isotopes, Oak Brook, Illinois, pp. 661 - 666.

[8] Rao, D. L. N., and S. K. Ghai, 1986. Urease inhibitors: effect on wheat growth in an alkali soil. Soil Biol. Biochem. 18: 255 - 258.

[9] Xiaoyan, Z., Z. Lika, L. Ronghua, A. Guiru, and Z. Bo, 1993. Effect of hydroquinone on maize yield and urea efficiency. Soil Biol. Biochem. 25: 147 - 148.

[10] Zhengping, W., O. V. Cleemput, and L. Baert, 1996. Movement of urea and its hydrolysis products as influenced by moisture content and urease inhibitors. Biol. Fertil. Soils 22: 101 - 108.

[11] Kurdali, F. 1996. Nitrogen and phosphorus assimilation, mobilization and partitioning in rainfed chickpea (Cicer arietinum L.). Field Crop Research. 47: 81 - 92.

[12] Arslan, A. and F. Kurdali, 1996. Rainfed vetch-barley mixed cropping in the Syrian semiarid conditions. II. Water use efficiency and root distribution. Plant and Soil. 183: 149 - 160.

[13] Chalk, P. M. and C. J. Smith, 1994. $^{15}N$ isotope dilution methodology for evaluating the dynamics of biologically fixed N in legume - non - legume associations. Biol Fertil soils. 17: 80 - 84.

[14] Danso, S. K. A., 1986: Review: estimation of $N_2$- fixation by isotope dilution: an appraisal of techniques involving $^{15}N$ enrichement and their application - comments. Soil Biol. Biochem. 18: 243 - 244.

[15] Rennie, R. J., 1979. Comparison of $^{15}N$- aided methods for determining symbiotic dinitrogen fixation. Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol. 16: 455-463.■


☆ ★ ☆



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# التقارير العلمية

# رصد الهزات الأرضية الصغيرة في محافظة اللاذقية*

**د. مظهر بايرلي**
قسم الجيولوجيا - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية
**ج. ف. محمد رضا سيناتي، ج. ف. رياض الدراوشة**
قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية
**د. يانس ماكريس، د.يورك شتيكر**
معهد الجيوفيزياء - جامعة هامبورغ - ألمانية

**ملخص**

**بهدف تحديد الصدوع النشطة في محافظة اللاذقية، وضعت شبكة رصد زلزالية صغيرة (مكروية) في المحافظة في الفترة الممتدة من 25 شباط إلى 12 أيار 2000 م، تتألف من 30 محطة رصد زلزالية قصيرة الدور، ثلاثية المركبة ورقمية التسجيل. بيَّن تحليل المعطيات المسجَّلة ما يلي:**

**1) تمثّل النشاط الزلزالي في حدوث 78 هزة أرضية مكروية توزعت على مناطق واسعة، إلا أن هزات مكروية كثيرة تركزت على صدع اللاذقية - كِلّس.**

**2) يمكن نسب عدد من هذه الهزات إلى بعض الصدوع السائدة في منطقة الدراسة.**

**3) تبين باستخدام حلول مستوي الصدع لثلاث هزات أرضية مسجلة أن الصدوع المولدة لمثل هذه الهزات هي من النوع العادي مع مركبة صغيرة لحركة انزياح يسارية.**

**4) يظهر تقدير احتمالية حدوث الزلازل المحسوب لفترات تكرار الزلازل ذات القدر من 1 إلى 4 دجات، أن النشاط الزلزالي في المحافظة قليل إلى متوسط.**

**الكلمات المفتاحية:** هزات أرضية مكروية، تكتونيك نشط، سورية.

## مقدمة

نظراً لكون الدراسات التكتونية الزلزالية في سورية قليلة جداً، وبخاصة فيما يتعلق بالمنطقة الساحلية التي تشهد نهضة عمرانية ومشاريع إنمائية متنوعة، مثل إقامة السدود والمصانع ... إلخ، يعتبر فهم الطبيعة التكتونية الزلزالية لمنطقة اللاذقية هاماً جداً لمعرفة العلاقة بين نظام صدع الغاب وصدع اللاذقية - كلّس، ولتحديد الصدوع النشطة بدقة في منطقة الدراسة، وصولاً إلى تقدير المخاطر الزلزالية في المحافظة.

من ناحية ثانية، تعد طريقة رصد الهزات الأرضية صغيرة القدر ($M \leqslant 3.0$) العامل الرئيس في تحديد الصدوع النشطة في محافظة اللاذقية وفي دراسة النشاط التكتوني للصدوع في المدينة وبالقرب منها حيث قام كل من معهد الجيوفيزياء التابع لجامعة هامبورغ (ألمانيا)، وجامعة تشرين (في اللاذقية)، وهيئة الطاقة الذرّية السورية بتركيب وتشغيل شبكة رصد زلزالية صغيرة (مكروية) في المحافظة المذكورة في الفترة الممتدة من 25 شباط إلى 12 أيار 2000 م، يتألف من 30 محطة رصد زلزالية رقمية التسجيل من أنموذج SEDIS-III (صنع شركة Geopro في هامبورغ). حيث جُهزت كل محطة رصد بلاقط اهتزازات أرضية ثلاثي المركبة وبساعة كوارتزية داخلية وبشريط ممغنط بسعة تخزين 2 جيغابايت، إضافة إلى جهاز نظام تحديد المواقع على الكرة الأرضية (GPS). ووزعت هذه المحطات وفق ستة خطوط شبه متوازية باتجاه شمال شرق - جنوب غرب، ليتضمَّن كل خط رصد خمس محطات بتباعد يتراوح من خمسة إلى ثمانية كيلو مترات فيما بينها. غطت هذه الشبكة محافظة اللاذقية من البحر غرباً حتى صدع الغاب شرقاً، ومن جبلة جنوباً حتى منطقة كسب شمالاً بمساحة 2400 كم$^2$.

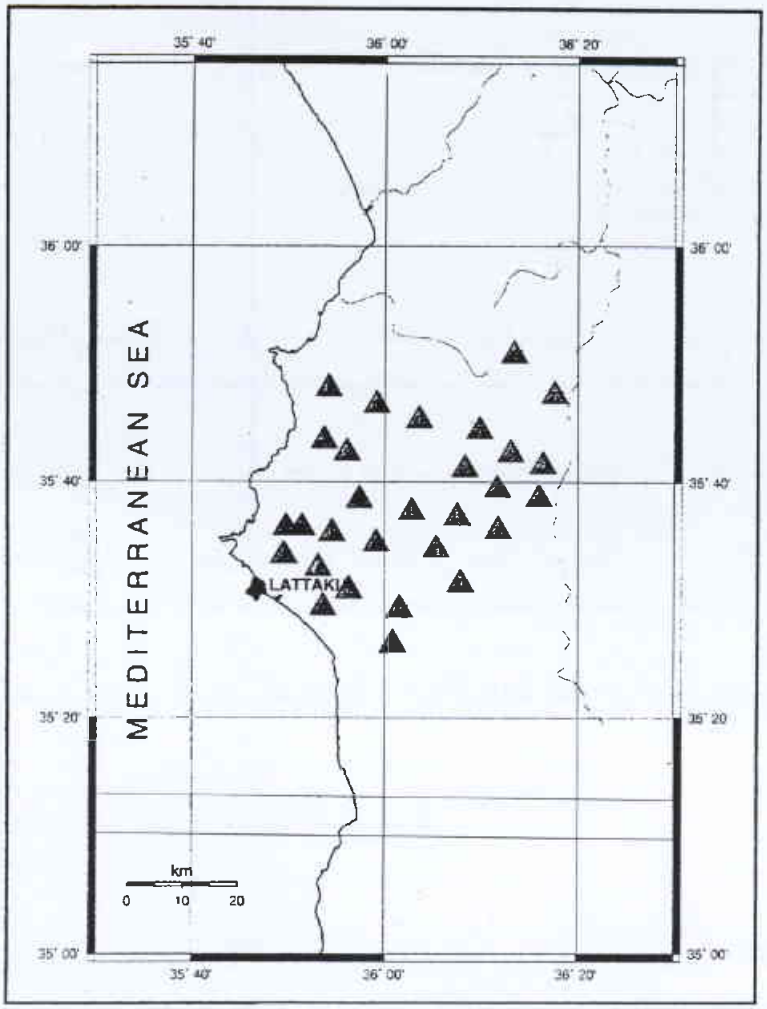
يبين الشكل 1 توزع شبكة محطات رصد الهزات الأرضية المكروية المستخدمة في المحافظة.

تغطي المنطقة التي زُرعت فيها الشبكة الزاوية الشمالية الغربية من الصفيحة العربية، أي عند التقاء نطاق صدع الغاب بنظام صدع شرق الأناضول. ويعد صدع الغاب الفرع الشمالي من نظام صدع البحر الميت الممتد باتجاه عام: شمال - جنوب، من خليج العقبة جنوباً حتى أنطاكية شمالاً. وتكون الحركة على طول مسار صدع الغاب، الذي يأخذ اتجاهاً عاماً شمال - جنوب، يسارية انزياحية المضرب كما هو الحال على مسار صدع البحر الميت. ويعد هذا النطاق الصدعي بمجمله مولِّداً للزلازل. وقد تأثر الوضع التكتوني في منطقة الدراسة، وبقدر كبير، بصدع الغاب الواقع إلى الشرق من منطقة الدراسة. من ناحية أخرى، يمتد صدع اللاذقية - كلّس (يساري الانزياح) في منخفض نهر الكبير الشمالي ذي الاتجاه شمال - شرق، من قبرص إلى الساحل السوري إلى أن يلتقي بصدع

* تقرير مختصر عن دراسة علمية أنجزت في قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرّية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية




**الشكل 1**– توزع شبكة محطات الرصد الزلزالي المكروية في محافظة اللاذقية.

الغاب في منطقة أنطاكية، بينما يوجد في كتلة البسيط عدد من الصدوع الثانوية [1].

بالنسبة للنشاط الزلزالي التاريخي في منطقة الدراسة وما حولها، فقد تعرضت المنطقة وجوارها لعدد من الزلازل التاريخية الكبيرة القدر ($M \geqslant 7.0$) مثل زلازل 20 شباط 1404 و 29 كانون الثاني 1408 و 26 نيسان 1796 [2]. أما في القرن الماضي فقد تعرضت منطقة الدراسة إلى سلسلة من الزلازل متوسطة القدر حتى الـ 5 درجات على مقياس ريختر [3].

## نتائج الرصد والمناقشة

عولجت معطيات شبكة الرصد المسجّلة على شرائط ممغنطة سعة 2 جيغابايت على نحو شبه مؤتمت في مخابر معهد الجيوفيزياء في جامعة هامبورغ، باستخدام برمجيات زلزالية متقدمة.

وبعد ذلك تمَّ إعداد سجل بالحوادث المسجلة للمنطقة المدروسة خلال فترة المسح، وتتضمن: تاريخ وزمن وقوع الهزة الأرضية المكروية، والإحداثيات الجغرافية للمركز السطحي للهزة وعمق بؤرتها، وقدرة الهزة. حيث تبين أنه خلال 64 يوماً من الرصد الفعلي سُجّلت 78 حادثة، ما يعني حدوث هزة واحدة - وسطياً - كل يوم. يبين الشكل 2 توزع المراكز السطحية للزلازل المسجلة في منطقة الدراسة، ويلاحظ فيه أن النشاط الزلزالي يتوزع على مساحة واسعة، علماً بأنه يمكن نسب عدد من هذه الهزات إلى الصدوع السائدة في منطقة الدراسة إلا أن التأكيد على ذلك يحتاج لرصد زلزالي لفترة زمنية أطول (ستة أشهر) للحصول على نتائج أكثر وثوقاً، نظراً لعدم رصد كمية كبيرة (أو كافية) من الأحداث الزلزالية خلال فترة الـ 64 يوماً المنفَّذة.

ولتقدير حلول آلية البؤرة الزلزالية وتحديد طبيعة الصدع المولِّد لها، استخدمت أهم ثلاثة أحداث زلزالية مسجلة. فتبين أن الصدوع المولدة للهزات المسجلة هي من النوع العادي مع مركبة صغيرة للحركة الانزياحية.

ووفقاً لعلاقة ريختر التالية [1958]، التي تربط تكرار تردد الزلازل بدلالة مجال من القدر في منطقة محددة:

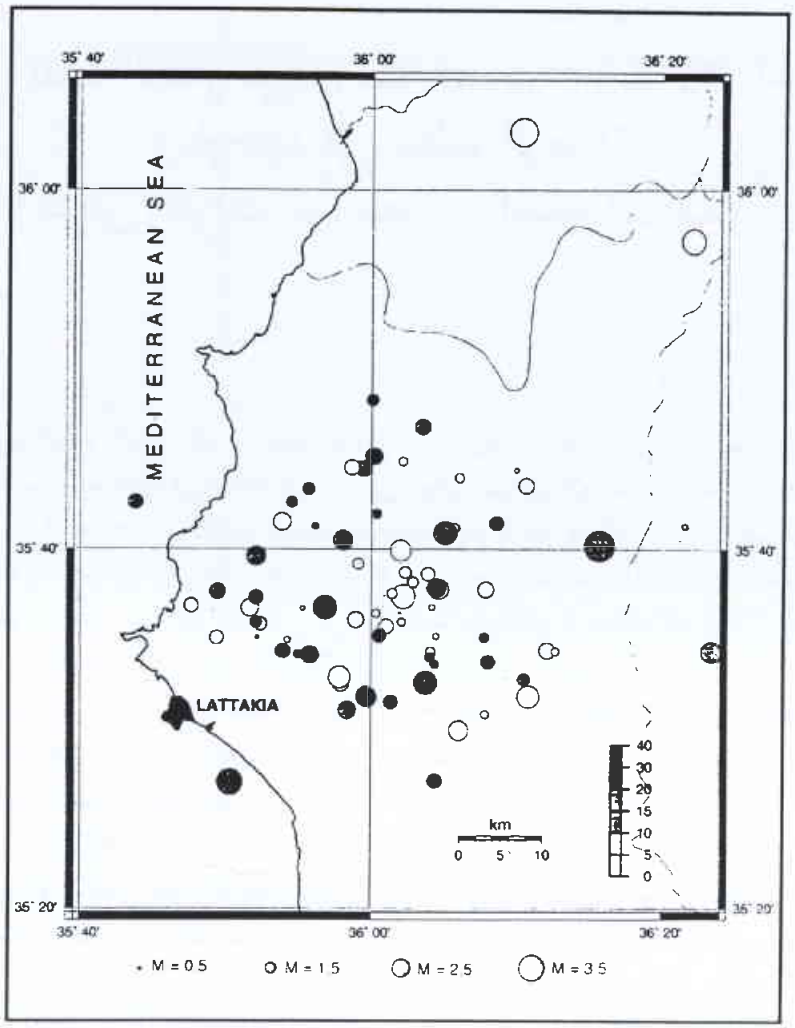
$$\text{Log } N = a - b\,M$$

حيث تمثل Log N اللوغاريتم العشري للعدد التراكمي للحوادث N.

a: قيمة النشاط الزلزالي لمنطقة معينة خلال فترة الرصد.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية




**الشكل 2**– توزع المراكز السطحية للزلازل المكروية المسجلة في منطقة الدراسة.
وتشير ألوان الدوائر إلى أعماق البؤر المختلفة (بالكم) في حين يدل حجم الدائرة على قدر الزلزال.

b: ميل الدالة اللوغاريتمية على توزع قدر الزلازل خلال فترة الرصد.

فقد أظهرت الدراسة أن النشاط الزلزالي في محافظة اللاذقية يمكن تمثيله بالعلاقة التالية:

$$\text{LogN} = 3.147 - 0.787\ M$$

وأوضحت عملية الرصد هذه أن قيم القدر تراوحت بين الصفر و 4 درجات. ووُجد أن قيمة المعامل b تساوي 0.787.

ولتقدير احتمالية حدوث زلالزل بقدر معين في منطقة الدراسة، حُسِبت فترة تكرار الزلازل ذات القدر من 1 إلى 4 لكامل المنطقة فكانت النتائج كما في الجدول 1.

**الجدول 1**– تكرارية الزلازل في محافظة اللاذقية بدلالة القدر.

| قدر الزلزال | M≥1 | M≥2 | M≥3 | M≥4 |
|---|---|---|---|---|
| فترة تكراره | كل 17 ساعة | كل يومين | كل 11 يوم | كل شهرين |

## المراجع REFERENCES


[1] Ponikarov, V. P. (Editor)[1966] "The Geological map of Syria, scale 1:200,000 sheets: I-37-XIX and I-36-XXIV", Ministry of Industry, Syrian Arab Republic, Damascus.

[2] Mouty, M., M. R. Sbeinati and R. Darawcheh [1998] " Seismic data for siting and site-revalidation of nuclear facilities': Part 1: Catalogue of historical earhthquakes in and around Syria', Internal report, Atomic Energy Commission of Syria G/FRSR 176, Damascus.

[3] Bulletin of the USGS between 1975-2000. ■




http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# تطبيق تقنية النظائر في دراسة مصادر تغذية المياه الجوفية وملوحتها في منطقة الرصافة (حوض الفرات الأوسط - الضفة الشامية)*

د.عبد الرحمن شريدة
قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

**ملخص**

**على قاعدة استخدام تقنية النظائر البيئية، فقد تمّ تحديد مصادر تغذية المياه الجوفية وتقييم علاقة نهر الفرات بتلك المياه وذلك في التوضعات الرباعية والباليورباعية والنيوجينية في منطقة الرصافة من حوض الفرات الأوسط "الضفة الشامية".**

**تشير نتائج استخدام نموذج المزج النظائري isotopic mixing model المتقاربة جداً مع نموذج المزج الجيوكيميائي (Netpath Model)، والتي تؤكد مصداقيّة كل نموذج للنموذج الآخر، تشير إلى أن مساهمة نهرالفرات في تغذية المياه الجوفية تصل بشكل وسطي إلى 70% مقابل 30% للرشح من الهاطل المطري، مع منحى عام يشير إلى أن الطبقة الجوفية في توضعات التورتونيان والهلفيت تكون فيها مساهمة نهر الفرات أعلى من الطبقة الجوفية في التوضعات الباليورباعية.**

**وإذا كانت كل المياه الجوفية في المنطقة تحتوي على التريتيوم، فإن خريطة التوزع المكاني لتراكيز التريتيوم تشير وبشكل واضح إلى النطاقات المميزة لحركة المياه الجوفية والمرتبطة بالتكتونيك العرضي مع منظومة فالق الرصافة، وأن زمن مكوث تلك المياه (MRT) قصير ويبقى ضمن حدود استخدامات عنصر التريتيوم لتقدير أعمار المياه الجوفية والتي تترافق بشكل عام مع فعالية عالية للكربون - 14 والتي تؤكد حداثة تشكل تلك المياه. وأخيراً فإن دراسة الملوحة وسيناريو التملح تشير إلى أن الانحلال يشكل العامل الرئيسي في الملوحة العالية وأن الحمولة الملحية مرتبطة بشكل أساسي بأيون السلفات الناتج عن انحلال الجبس، وأن النموذج المختار في تفسير هذه الظاهرة يرتبط بظاهرة الضخ الجائر في المنطقة وتشكيل منخفض ضخ محلي يؤدي بدوره إلى زيادة جبهة التسرب من نهر وسد الفرات.**

**الكلمات المفتاحية:** الفرات، الرصافة، نظائر، نموذج Netpath، تغذية، زمن مكوث المياه الجوفية، ملوحة، سلفات، جبس.

## مقدمة

تقع منطقة الدراسة في الجزء الأوسط من مسار نهر الفرات من الجهة الشامية. لقد تمّ حفر مجموعة من الآبار من قِبَل إدارة البادية في كل من محافظتي الرقة وحلب في المنطقة، أتبعت بجملة ضخمة من الآبار السطحية من قبل سكان المنطقة والتي تركزت على طول منظومة فالق الرصافة ومنخفض وادي جعدين؛ والخاصية التي تنفرد بها تلك الآبار هي الإنتاجية الكمونية المرتفعة والتي تجاوزت 250 م$^3$/ سا (بئر الرصافة السطحي) والملوحة المرتفعة نسبياً من 3 - 5 غ/ ل.

وضمن إطار إدارة مصادر المياه الجوفية، فإن الأهداف المتوخاة من إجراء هذا البحث تتضمن: تحديد مختلف مصادر التغذية والتحديد الكمي لها، وتحديد وقت مكوث المياه الجوفية ودراسة تفاصيل عملية التملح على قاعدة الانحلال أو التبخر.

## النتائج والمناقشة

تمّ رفع 30 عينة من السويات المائية للتوضعات الباليورباعية وتوضعات الهلفيت والتورونيان والتي تمّ إخضاعها للتحاليل الكيميائية والنظائرية.

الملف النظائري للمياه الجوفية يشير إلى عدم تأثر هذه المياه بعمليات التبخر ووجود قطبي تغذية: الأول يمثل التغذية الواردة من نهر الفرات، والقطب الآخر يمثل التغذية القادمة من التدمرية الشمالية. إن استخدام مختلف النماذج للتحديد الكمي لمصادر التغذية (النموذج النظائري - برنامج Netpath) يشير إلى أن نسبة مساهمة الفرات في آبار منظومة فالق الرصافة ومنخفض وادي جعدين تصل إلى 70% مقابل 30% للرشح من الهطولات المطرية.

فضلاً عن ذلك فإن تراكيز التريتيوم في المياه الجوفية تؤكد على حداثة تلك المياه وأن (MRT) لا يتجاوز عدة سنوات، بالإضافة إلى ذلك فإن التوزع المكاني لقيم التريتيوم يشير إلى نطاقات مميزة لحركة المياه الجوفية.

* تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرّية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

وترتبط الملوحة وتفاصيل عملية تملح المياه الجوفية بشكل أساسي بعمليات الانحلال لصخور الجبس، أما الآلية فتقوم على ظاهرة تشكل مخروط انخفاض في المنطقة نتيجة الضخ الجائر الذي يؤدي إلى زيادة جبهة التسرب من بحيرة السد بشكل رئيسي ...

ولا بد من التنويه أخيراً إلى أن تواجد تراكيز عالية لأيون $NO_3^{-2}$ في بعض الآبار ناتجة عن الفعاليات البشرية يقودنا إلى التفكير في إمكانية وجود رشح فعّال من خلال تدوير مياه الري. وهذه المياه الجوفية تتميز بفعالية إشعاعية للكربون – 14، والتريتيوم والتي كانت أعلى ما يمكن في بئر الرصافة السطحي.■

# تأثير المعالجة بأشعة غاما على الحمولة المكروبية والخصائص النوعية للعرق سوس (Glycyrrhiza glabra L.) ★

د. محفوظ البشير
قسم تكنولوجيا الإشعاع – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية
د. جورج لحام
جامعة دمشق – كلية الصيدلة

**ملخص**

**عرض مسحوق جذور العرق سوس للجرع 0 و 5 و 10 و 15 و 20 كيلو غراي من أشعة غاما الصادرة عن النظير المشع كوبالت 60، وحفظت العينات المشعة وغير المشعة ضمن جو الغرفة العادي ولمدة 12 شهراً بدءاً من تاريخ التشعيع. تمَّ تقدير كل من الحمولة المكروبية في المسحوق الجاف للجذور، ونسبة بعض العناصر المعدنية في الخلاصة المائية لهذا المسحوق، إضافة إلى تقدير اللزوجة والخصائص الحسية للخلاصة المائية والمتمثلة بالطعم واللون والرائحة حيث تمَّ تنفيذ جميع هذه الاختبارات بعد التشعيع مباشرة وبعد مرور 12 شهراً.**

**بيَّنت نتائج هذه التجارب أن للجرع المستخدمة من أشعة غاما تأثيراً معنوياً في خفض الحمولة المكروبية للمسحوق بعد التشعيع مباشرة وخلال مراحل التخزين المختلفة وكانت قيمة الجرعة الإشعاعية اللازمة لتخفيض الحمولة المكروبية دورة لوغارتمية واحدة (الـ D10) في حدود 2 كيلو غراي. لم يلاحظ أي تأثير للجرع المستخدمة من الأشعة على كمية المواد الصلبة المنحلة ضمن الخلاصة المائية، وكان لجميع الجرع الإشعاعية المستخدمة أثر واضح في خفض كمية عناصر الصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم وذلك عندما تمَّت عملية الاستخلاص بعد مرور 12 شهراً على التشعيع. وسجل انخفاض معنوي واضح في تركيز حمض الغليسيريزي في الخلاصة المائية الناتجة من مسحوق معالج بالأشعة مقارنةً مع ما هو عليه في خلاصة عينات الشاهد. وكان لجميع الجرع الإشعاعية المستخدمة تأثير معنوي في خفض لزوجة الخلاصة المائية الناتجة من مسحوق مشعع وذلك بعد التشعيع مباشرة. وزالت هذه الفروق في اللزوجة بين الخلاصة الناتجة عن مسحوق معالج وبين الخلاصة الناتجة من مسحوق شاهد بعد مرور 12 شهراً على التخزين، ولم تظهر الاختبارات أي تأثير للجرع المستخدمة من الأشعة على الطعم والرائحة واللون في الخلاصة المائية للعرق سوس سواء بعد التشعيع مباشرة أو في نهاية مرحلة التخزين.**

**الكلمات المفتاحية:** خفض الحمولة المكروبية، خصائص الخلاصة المائية، التشعيع، العرق سوس، الخصائص الحسية.

## مقدمة

يعتبر العرق سوس نباتاً ذا فوائد غذائية وطبية عديدة، تُستعمل منه جذوره التي تحتوي على حمولة مكروبية عالية نتيجةً لتماسها المباشر مع التربة، ولاختبار تأثير أشعة غاما على الحمولة المكروبية والخصائص النوعية للجزء المستخدم من العرق سوس، فقد تمَّ تعريض مسحوق جذوره للجرع 0 و 5 و 10 و 15 و 20 كيلو غراي من أشعة غاما الصادرة عن النظير المشع كوبالت 60، وقُدِّر بعد التشعيع مباشرة وبعد مرور 6 و 12 شهراً على التشعيع كل من الحمولة المكروبية في المسحوق الجاف للجذور، ونسبة كل من المادة الجافة والرماد والصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم وحمض الغليسيريزي في الخلاصة المائية لهذا المسحوق، إضافة إلى تقدير قيم الحموضة والناقلية الكهربائية ولزوجة هذه الخلاصة، كما تمَّ

★ تقرير مختصر عن بحث أنجز في قسم تكنولوجيا الإشعاع – هيئة الطاقة الذرّية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

تقدير الخصائص الحسية للخلاصة، والمتمثلة بالطعم واللون والقوام والرائحة.

## النتائج

بيّنت نتائج هذه التجارب أن للجرع المستخدمة من أشعة غاما تأثيراً معنوياً في خفض الحمولة المكروبية للمسحوق بعد التشعيع مباشرة وخلال مراحل التخزين المختلفة، وسُجّل انخفاض معنوي في حمض الغليسيريزي الناتج من مسحوق معالج بالأشعة وذلك عندما تمّ الاستخلاص بعد التشعيع مباشرة، وكان لجميع الجرع الإشعاعية المستخدمة تأثير واضح في خفض كمية عناصر الصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم وقيم الناقلية والرماد وذلك عندما تمّت عملية الاستخلاص بعد مرور 12 شهراً على التشعيع. وكان لجميع الجرع الإشعاعية المستخدمة تأثير معنوي في خفض لزوجة الخلاصة الناتجة من المسحوق بعد التشعيع مباشرة، في حين زالت الفروق في اللزوجة بين الخلاصة الناتجة عن مسحوق معالج وبين الخلاصة الناتجة من مسحوق شاهد وذلك بعد مرور 12 شهراً على التخزين. هذا ولم يلاحظ أي تأثير للجرع المنخفضة من الأشعة (5 و10 كيلو غراي) على الطعم والرائحة واللون في الخلاصة المائية، في حين كان لاستخدام الجرع المرتفعة من الأشعة (20 كيلو غراي) تأثير معنوي في الطعم والرائحة والقوام.

## المناقشة

لقد كان لجميع الجرع الإشعاعية المستخدمة تأثير واضح في خفض الحمولة المكروبية في مسحوق العرق سوس، وكان لاستخدام الجرعة 10 كيلو غراي –وهو المستوى المسموح باستخدامه في معالجة المواد الغذائية استناداً إلى المواصفة القياسية السورية رقم 304– تأثير واضح في خفض الحمولة المكروبية إلى الحدود المقبولة للتداول التجاري للمسحوق (بضع مئات من المكروبات في الغرام).

ربما يعود انخفاض كمية الصوديوم والكالسيوم في الخلاصة المائية الناتجة من مسحوق جذور العرق سوس المعالج بالأشعة بعد مرور 12 شهراً على تشعيعه إلى تأثير الأشعة وفترة التخزين على الأشكال الحرة من هذه العناصر، فالتشعيع يؤدي إلى تحطيم الجزيئات الكبيرة وخاصة أملاح حمض الغليسيريزي، التي هي عبارة عن أملاح كلسية وبوتاسية داخل الجذور، وتحولها إلى أملاح حمض الغليسيريزي التي تعتبر أقل ذوباناً في الماء.

هذا الانخفاض في كمية الصوديوم والكالسيوم يؤدي بدوره إلى انخفاض في قيم الناقلية لدى العصير المستخلص، بالرغم من وجود تأثير سلبي للجرع الإشعاعية المستخدمة على كمية حمض الغليسيريزي في الخلاصة المائية للجذور المعالجة بالأشعة. إلا أن هذا التأثير زال عند تخزين المسحوق المعالج بالأشعة لمدة تزيد على 6 أشهر.

وربما يعود الأثر الواضح للأشعة في حمض الغليسيريزي إلى عدم ثباته وسهولة تخربه تحت تأثير العوامل الخارجية وتحوله إلى مكونات الحمض الغليسيريتي (glycoronic acid) والحمض الغلوكوروني (glycyrrhetince acid). ويعزز هذا التعليل التفكك الطبيعي له خلال التخزين، إذ تشير نتائج هذه التجارب إلى تفكك حوالي 70% من هذا الحمض خلال فترة التخزين التي استمرت لمدة 12 شهراً، وبما أن حمض الغليسيريزي وأملاحه هما المسؤولان عن الطعم الحلو المميز لجذور العرق سوس، فإن تخرب هذا الحمض يؤدي إلى تغير الطعم وفقدان الخصائص التذوقية للخلاصة المائية.

ترتبط لزوجة المعلقات أو المزيج المتجانس لمساحيق المواد البيولوجية في المذيبات المحلة لها كالماء في سرعة دخول المذيب إلى الخلايا وفي نفاذية الجدار الخلوي وفي محتوى النسج من الجزيئات المعقدة (macro-molecules) المسؤولة أساساً عن قوام النسج وتشكل الهلام في هذه النسج (gel-forming). وفي هذا السياق بيّنت نتائج التجارب المنفذة في هذا المجال وجود تأثير واضح للأشعة على الخصائص المكونة للزوجة.

لم يكن لمستوى الجرع المسموح باستخدامه في مجال تشعيع الأغذية (أقل من 10 كيلو غراي) تأثير معنوي على الخصائص الحسية (اللون والطعم و الرائحة) للخلاصة المائية الناتجة عنها، وذلك عند مقارنتها بالخلاصة المائية الناتجة عن مسحوق غير معالج بالأشعة.■



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# القيمة الغذائية لنبات السيسبان (Sesbania aculeata) وتأثيره على الأداء التناسلي عند إناث الماعز الشامي*

د. معتز زرقاوي، د. محمد راتب المصري، د. خلف خليفة
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

**ملخص**

**قُيمت القيمة الغذائية لنبات السيسبان (Sesbania aculeata) المتحمل للملوحة، بتقدير محتواه من المكونات الغذائية (الرماد الخام CA، البروتين الخام CP، الألياف الخام CF، الدهن الخام CL، ألياف المنظف المتعادل NDF، ألياف المنظف الحامضي ADF، اللغنين الخام ADL)، إضافةً إلى تقدير معامل هضم المادة العضوية مخبرياً (IVOMD) والطاقة الاستقلابية (ME) والطاقة الصافية لإنتاج الحليب (NEL) والطاقة الكلية (GE). وجرى حساب كمية الطاقة الاستقلابية والطاقة الصافية لإنتاج الحليب. كما درس تأثير تغذية عنزات الماعز الشامي على دريس نبات السيسبان (كامل النبات) على الوزن الحي، الأداء التناسلي خلال مراحل تناسلية مختلفة وعلى التغيرات في تراكيز هرمون البروجستيرون في مصل الدم. أشارت النتائج إلى ما يلي:**

**1 - بلغت قيم المكونات الغذائية في نبات السيسبان الكامل (غ/ كغ مادة جافة): 76 (CA)، 144 (CP)، 341 (CF)، 23 (CL)، 562 (NDF)، 435 (ADF)، 72 (ADL). كما بلغ معامل هضم المادة العضوية 50.7% وقيم (ميغا جول/ كغ مادة جافة) الطاقة الكلية 28.27 والطاقة الاستقلابية 6.84 والطاقة الصافية لإنتاج الحليب 3.50.**

**2 - بلغت كمية المادة الجافة المنتجة من دريس نبات السيسبان 8269 كغ/ هكتار، وكمية البروتين الخام 1190 كغ/ هكتار، والطاقة المنتجة (ميغا جول/ هكتار): GE 2338، ME 799، NEL 607.**

**3 - لم تؤثر الكمية المتناولة من نبات السيسبان على معدل التلقيح، وعلى طول فترة الحمل، وعلى وزن المواليد أو على وزن الفطام.**

**4 - أثرت الكمية المتناولة من نبات السيسبان على معدل الخصوبة، حيث بلغت نسبة الإناث التي لقحت ولم تلد 50%.**

**5 - كان المنحى لتركيز هرمون البروجستيرون في مصل الدم طبيعياً عند العنزات كافة منذ التغذية على دريس نبات السيسبان وحتى التلقيح، وخلال فترة الحمل بالنسبة للعنزات التي كان تلقيحها مخصباً، بينما كان هذا المنحى غير طبيعي عند تلك التي لقحت ولم تحمل وتلد.**

**الكلمات المفتاحية:** سيسبان، قيمة غذائية، تغذية، تناسل، بروجستيرون، مقايسة مناعية إشعاعية، ماعز شامي.

## النتائج والمناقشة

زرعت بذور السيسبان في شهر أيار 1999 بمعدل 80 كغ/ هكتار في محطة دير الحجر، وحشت النباتات على ارتفاع 10 سم من سطح الأرض في شهر أيلول 1999. جففت النباتات وقطعت لأجزاء بلغت حوالي 8 سم، حيث استخدمت بعد التجانس لتغذية إناث الماعز الشامي. بعد الخلط والتجانس أخذت عدة عينات بشكل عشوائي، ثم خلطت العينات ثانيةً للحصول على عينة متماثلة لدريس نبات السيسبان، حيث طحنت على منخل قطر خرمه 1 مم وحفظت تحت التجميد لحين إجراء التحاليل اللازمة.

نُفِّذت التجربة على إناث الماعز الشامي البالغة والتي لا تعاني من مشاكل أو اضطرابات تناسلية سابقة (12 عنزة) بعمر 3-5 سنوات، وبمتوسط وزن عند بدء التجربة 52.2 ± 8.6 كغ. أعطيت العنزات عليقة تجريبية (تبن عدس، دريس السيسبان، علف مركز) حسب الحالة التناسلية للعنزات وحسب عمر الحمل، بحيث تغطي المتطلبات الغذائية لكل مرحلة من مراحل الحمل. هذا وتمَّ تثبيت كمية دريس السيسبان المعطى للحيوانات التجريبية (300 غ يومياً). بلغت كمية المادة الجافة التي استهلكتها العنزة يومياً 1436 غ خلال الفترة الممتدة من 23 يوماً قبل التلقيح وحتى 105 أيام من الحمل، و 2132 غ من عمر 106 أيام من الحمل وحتى الولادة. قيست أوزان الحيوانات مرة بالأسبوع طوال فترة التجربة وعند الولادة، كما قيست أوزان المواليد حتى مرحلة الفطام. جمعت عينات الدم من العرق الوداجي للعنزات وفق برنامج معين. حُضِّر المصل وحفظ مجمداً على درجة حرارة مقدارها 20°C لحين تقدير مستوى هرمون البروجستيرون بوساطة المقايسة المناعية الإشعاعية. أدخل

* تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية حقلية أنجزت في قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

ذكران خصيان من عرق الماعز الشامي إلى العنزات كافة بعد نحو 23 يوماً من بدء التغذية على السيسبان من أجل كشف الشياع والتلقيح الطبيعي.

حُسِبَ معامل هضم المادة العضوية في المخبر وحسبت الطاقة الاستقلابية والطاقة الصافية لإنتاج الحليب للمكونات. قدرت المكونات الغذائية (الرماد الخام، الدهن الخام، الألياف الخام، البروتين الخام)؛ وألياف المنظف المتعادل، وألياف المنظف الحامضي، واللغنين الخام. كما قدر كل من الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم.

بلغت نسبة البروتين الخام في دريس نبات السيسبان (كامل النبات) 13.1%، وهي أقل من 17.5-27.5% التي ذكرت في المراجع ولكن باستخدام أوراق نبات السيسبان فقط. وكانت تراكيز ألياف (562) NDF و ADF (455)، وتراكيز الألياف الخام (341) غ/ كغ مادة جافة في نتائجنا عالية، مما أدى إلى انخفاض قيم معامل هضم المادة الجافة إلى 51% وكذلك الطاقة الاستقلابية إلى 6.84 ميغا جول/ كغ مادة جافة. وكانت قيمة الطاقة الكلية 28.27 ميغا جول/ كغ مادة جافة أعلى من قيم نتائج المراجع العلمية ويعود ذلك إلى ارتفاع تراكيز الألياف الخام والمواد اللغنوسلّولوزية في نبات السيسبان الكامل مقارنةً مع الأوراق، حيث أنَّ قيمة الطاقة الكلية للمواد اللغنوسلّولوزية أعلى من المواد النشوية وأعلى من البروتين، ويعود ذلك لارتفاع نسبة مواد الجدران الخشبية والمواد اللغنوسلّولوزية الموجودة في أفرع وسوق النبات مقارنةً مع الأوراق.

استخدم في التجربة تركيز هرمون البروجستيرون لتقويم تأثير نبات السيسبان على الأداء التناسلي عند عنزات الماعز الشامي خلال مراحل تناسلية مختلفة، حيث يُعدّ الهرمون المذكور من أهم الهرمونات التناسلية ويستخدم بنجاح كمؤشر هام في الدراسات المتعلقة بفيزيولوجيا التناسل عند الحيوان.

أشارت النتائج إلى عدم وجود تأثير السيسبان على تركيز هرمون البروجستيرون في مصل الدم خلال الفترة منذ التغذية عليه وحتى التلقيح، حيث كان المنحى لتركيز هرمون البروجستيرون طبيعياً وكانت دورات الشبق طبيعية عند كافة العنزات. يُعدّ شكل هرمون البروجستيرون عند عنزات التجربة خلال الفترة المنوه بها آنفاً مشابهاً لمنحاه في دراسة سابقة على عنزات ماعز شامي لم تتغذَّ على نبات السيسبان.

كان منحى تركيز هرمون البروجستيرون في مصل الدم منذ التلقيح وحتى الولادة عند العنزات طبيعياً. ووجدت اختلافات في قيم تراكيز هرمون البروجستيرون عند العنزات التي حملت وولدت، ويمكن أن يعزى ذلك إلى الاختلافات الفردية ضمن العرق. على أي حال، وبالرغم من وجود الاختلافات الفردية في تركيز بروجستيرون الدم، فإن منحاه العام كان متشابهاً عند العنزات. بينما كان المنحى العام لتركيز الهرمون غير طبيعي عند العنزات اللواتي لقحت ولم تلد، حيث كان هذا المنحى لا دورياً ولا يماثل المنحى الطبيعي لهذا الهرمون، سواء خلال دورة الشبق، أو خلال فترة الحمل.

لم يؤثر السيسبان على الأداء التناسلي منذ التغذية عليه وحتى التلقيح، وأبدت العنزات المستخدمة في التجربة شياعاً ولقحت كافة، وبلغ معدل ظهور الشياع والتلقيح 100%. على أي حال، ربما لم يكن لتناول السيسبان تأثير على الأداء التناسلي خلال هذه الفترة، بالرغم من تأثيره على الوظيفة التناسلية كما سيبين لاحقاً، بسبب قصر مدة التغذية (23 يوماً) بحيث لم يبدأ التأثير بعد.

أشارت نتائج التجربة إلى وجود تأثير هام لنبات السيسبان على الوظيفة التناسلية عند عنزات الماعز الشامي، حيث بلغت نسبة العنزات التي لقحت ولم تلد 50%. فلم تعرف آلية تأثير السيسبان بشكل دقيق، حيث يمكن أن يكون التأثير على مستوى الدماغ تحت السريري، و/ أو على مستوى الغدة النخامية، و/ أو على مستوى المبيض، حيث يعد المحور المذكور المسؤول عن الوظيفة التناسلية عند الإناث. ويوجد مواد ذات نشاط أستروجيني في محاصيل علقية مختلفة تؤثر على مستوى المعادن في الدم وهذا هام خاصة خلال مرحلة الحمل. لم تؤثر التغذية بالسيسبان على طول فترة الحمل عند العنزات والتي بلغت بالمتوسط 148.8 ± 1.5 يوماً، وكانت الولادات طبيعية دون أي مشاكل كعسر ولادة أو ولادة مبكرة، أو مشاكل بالمشيمة وغيرها، وكانت حالة الأمهات والمواليد جيدة. كما لم يؤثر نبات السيسبان على وزن المواليد الذي بلغ بالمتوسط 4.6 ± 1.1 كغ، أو على وزن الفطام الذي بلغ بالمتوسط 18.8 ± 5.0 كغ.

أخيراً، تعدُّ هذه الدراسة لنبات السيسبان الأولى في سورية حيث تتعرّض للقيمة الغذائية والإنتاجية لهذا النبات، وهي الأولى عالمياً إذ تدرس تأثير نبات السيسبان على الأداء التناسلي عند الماعز خلال مراحل تناسلية مختلفة. النتائج هامة وتتطلب المزيد من الدراسات والأبحاث لمعرفة آلية تأثير السيسبان، والفترة الحرجة التي تؤثر، والكمية الدنيا من السيسبان التي يمكن أن لا تؤثر على الأداء التناسلي، ودراسة تأثير نبات السيسبان على الأداء التناسلي عند أغنام العواس، والحيوانات المجترة الصغيرة والهامة جداً في سورية وفي العديد من دول العالم.■



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# تأثير إضافة الفسفوجبسوم إلى التربة في نمو وإنتاج بعض المحاصيل الزراعية الهامة وفي انتقال العناصر المشعة والنادرة والفلور إليها★

د. محمد العودات
قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية
د. نجم الدين الشرابي م. سلوى كناكري
قسم التقانة الحيوية - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

**ملخص**

**يوجد في سورية كميات كبيرة من الفسفوجبسوم، وهو ناتج ثانوي من صناعة السماد الفسفاتي، والتي تكدس قرياً من المناطق الحضرية، ويمكن أن يكون لها تأثيرات سلبية على الوسط المحيط.**

**تبيّن دراسات عديدة التأثير الإيجابي لإضافة الفسفوجبسوم إلى الترب الزراعية، في إتاحة العناصر الغذائية، والخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة، ولكن هناك مخاوف من أن تؤدي إضافة الفسفوجبسوم، للأراضي الزراعية، إلى امتصاص النباتات للعناصر المشعة والفلور والعناصر النادرة.**

**خلط الفسفوجبسوم ذو النشاط الإشعاعي 430 بكريل/ كغ، بتربة لومية - سلتية بمعدل 0 و 10 و 20 و 40 و80 كغ/ هـ. واستعمل في التجارب نباتات الحمص والذرة والقطن والسبانخ.**

**أوضحت النتائج أن إضافة الفسفوجبسوم إلى التربة زادت من معدل الرشح والناقلية الكهربائية ومن تركيز الكبريتات والمغنزيوم والكالسيوم والفسفور المتاح، كما ازداد إنتاج المحاصيل المدروسة معنوياً، وأوضحت أيضاً أن النشاط الإشعاعي للمجموع الخضري وحبوب النباتات المزروعة بقي دون حد الكشف. كما لم تنعكس إضافة الفسفوجبسوم إلى التربة في زيادة تراكم العناصر النادرة في التربة والنباتات، أما الفلور فبالرغم من زيادة تراكيزه في النباتات بقي دون السويات المسموح بها (30 ppm).**

**وهكذا يمكن أن تكون طريقة إضافة الفسفوجبسوم إلى التربة بمعدل 10-20 طن/ هـ وسيلة فعالة لتحسين خصائص التربة وزيادة الإنتاج، ووسيلة فعالة للتخلص من الفسفوجبسوم وآثاره السلبية على البيئة.**

**الكلمات المفتاحية: الفسفوجبسوم، النشاط الإشعاعي، العناصر النادرة، الفلور.**

توجد في سورية كميات كبيرة من الفسفوجبسوم وهو ناتج ثانوي من صناعة السماد الفسفاتي، تكوّم بالقرب من معمل السماد الفسفاتي. وقد تنجم عن أكوام الفسفوجبسوم أو عن إلقائه في المسطحات المائية تأثيرات مختلفة في مكونات النظام البيئي، أهمها تلوث الهواء والماء والتربة بالمواد المشعة والعناصر النادرة والفلور وغيرها.

تشير المعطيات المختلفة إلى أن إضافة الفسفوجبسوم إلى التربة تعتبر طريقة للتخلص منه تزيد من درجة إتاحة المواد الغذائية للنباتات، وتحسن من الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، وهذا ينعكس إيجابياً على زيادة الإنتاج النباتي، ولكن قد تؤدي إضافته إلى التربة إلى زيادة تراكيز العناصر المشعة والفلور وبعض العناصر النادرة في النباتات المزروعة فيها.

هدفت التجارب إلى تبيان تأثير إضافة الفسفوجبسوم السوري إلى التربة، كطريقة للتخلص منه، في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، وفي نمو النباتات والنشاط الإشعاعي وتراكيز العناصر النادرة والفلور في التربة والنباتات المزروعة فيها. وجرى اختيار النباتات بحيث تمثل مجموعات المحاصيل المزروعة في سورية وهي:

- الحمص من النباتات البقولية.
- الذرة الصفراء من نباتات الحبوب كما أنها من النباتات العلفية أيضاً.
- القطن من النباتات الصناعية والعلفية.
- السبانخ من الخضار العريضة الأوراق والمستعملة بشكل واسع في الغذاء.

جرت التجارب في مزرعة هيئة الطاقة الذرّية، في دير الحجر، واستعمل فيها الفسفوجبسوم السوري، ذو النشاط الإشعاعي

★ تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية حقلية أنجزت في قسم الوقاية - هيئة الطاقة الذرّية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

430 بكريل/كغ، الذي أضيف إلى تربة سلتية - لومية بمعدلات: 0 و10 و20 و40 و80 طن/ هـ، في تجارب الحمص والذرة، وبمعدلات 0 و5 و10 و20 و40 طن/ هـ، في تجارب القطن والسبانخ. وروعي في التجارب دراسة تأثير الإضافة المباشرة للفسفوجبسوم إضافة إلى تأثير المتبقي منه في التربة.

أوضحت النتائج أن إضافة الفسفوجبسوم إلى التربة زادت من معدل الرشح، ومن قيم الناقلية الكهربائية (ECe)، ومن تركيز الكبريتات والكالسيوم والمغنزيوم في التربة، كما ارتفع تركيز الفسفور في طبقة التربة السطحية (0 - 15 سم) من 10.2 ppm في الشاهد، إلى 142 ppm عند إضافة 80 طن/ هـ. والأمر نفسه كان في طبقتي التربة 15 - 30 سم و 30 - 45 سم، حيث ارتفعت تراكيزه من 3.7 إلى 49.5 ppm للطبقة 15-30 سم، ومن 1.8 إلى 11.1 ppm للطبقة 30 - 45 سم. كما أوضحت القياسات أن تركيز الفسفور المتاح انخفض، بعد أربع سنوات من الإضافة، إلى الثلث تقريباً في طبقة التربة السطحية، مقارنة بتركيزه بعد الإضافة مباشرةً. أما في طبقتي التربة 15 - 30 و 30 - 45 سم فلم تنخفض تراكيزه عنها عند إضافته، مما يعني أن تأثير إضافة الفسفوجبسوم لا يقتصر على سنة الإضافة وإنما يستمر لسنوات عدة، كما ارتفع كذلك النشاط الإشعاعي للطبقة السطحية من التربة من 24 إلى نحو 50 بكريل/ كغ، وهو ضمن مجال النشاط الإشعاعي للتربة الطبيعية. وبقيت تراكيز العناصر النادرة في التربة (الكادميوم والنحاس والزنك والرصاص) ضمن التراكيز الطبيعية الأكثر مصادفة، أما تركيز الفلور فقد ارتفع من 40 ملغ/ كغ، في تربة الشاهد، إلى نحو 414 ملغ/ كغ للإضافة 80 طن/ هـ، علماً بأن تركيز الفلور في الفسفوجبسوم المستعمل بلغ معدلاً قدره 8722 ملغ/ كغ. هذا وتتراوح التراكيز الطبيعية، الأكثر مصادفة، للفلور في التربة بين 150 و 400 ملغ/ كغ.

وأدت إضافة الفسفوجبسوم إلى زيادة تركيز الفلور في المجموع الخضري وحبوب النباتات المدروسة، ولكنها بقيت دون السويات المسموح بها (30 ملغ/ كغ /وزن جاف) والتي لا تنعكس سلباً في نمو النباتات أو في الحيوانات التي تتغذى بها، ولم تؤد إضافة الفسفوجبسوم إلى زيادة النشاط الإشعاعي في النباتات، وبقي دون حد الكشف، والأمر نفسه كان بالنسبة للعناصر النادرة التي لم ترتفع تراكيزها بشكل ملموس، مقارنةً بالشاهد.

كان للإضافة المباشرة للفسفوجبسوم إلى التربة، أو للفسفوجبسوم المتبقي تأثير واضح ومعنوي في زيادة الإنتاج النباتي الكلي أو الحبي، بمعدلات تراوحت بين 14 و 34% لحبوب الحمص، وبين 3 و24 لحبوب الذرة، كما ازداد وزن القطن المحبوب بين 13 و22%، ووزن المجموع الخضري للسبانخ بمعدلات وصلت إلى 12 و56 و23%، وذلك في القطفات الأولى والثانية والثالثة على التتالي.

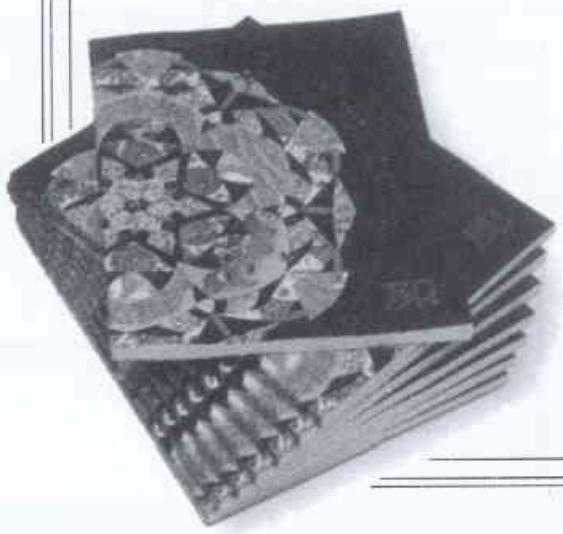
أوضحت نتائج التجارب أن إضافة الفسفوجبسوم إلى التربة، وخاصة بمعدلات 10 - 20 طن/ هـ، تعتبر وسيلة لتحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، وتحسين إنتاج المحاصيل المزروعة فيها، كما تعد وسيلة فعّالة للتخلص من الفسفوجبسوم.■

☆ ★ ☆



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# كتب حديثة مختارة



# 1- ذروة هوبرت: النقص في كمية النفط العالمي على وشك الحدوث

## Hubbert's Peak: The Impending World Oil Shortage ☆

تأليف: كينيث س. ديفيس

# 2- الميغاواطات والميغاأطنان: نقطة تحول في العصر النووي؟

## Megawatts and Megatons: A Turning Point in the Nuclear Age? ☆☆

تأليف: ريتشارد ل. غاروين وجورجز شارباك

# 3- طاقة الغد: الهدروجين، الخلايا الوقودية والتوقعات بشأن كوكب أنظف

## Tomorrow's Energy: Hydrogen, Fuel Cells and the Prospects for a Cleaner Planet ☆☆☆

تأليف: بيتر هوفمان

عرض وتحليل: ستيوارت يونغ****

كنّا نسمع بعبارة "أزمة الطاقة" على نحو متكرر على مدى الأعوام الثلاثين الماضية، ونحن ننظر إلى الشرق الأوسط الآن، يمكن أن نتوقّع سماعها مرة أخرى. مع ذلك، إذا ما ظهرت الأزمة بأي حال، فلن تبرز نتيجة نضوب أحد مصادر الإنتاج، ولكن سنكون نحن، مستهلكو الطاقة، السبب في ذلك إذا لم نقم بالاستفادة الفعّالة والآنيّة من بدائل الطاقة التقليدية كالنفط. وهذه الكتب الثلاثة تحمل بين طياتها هذه الرسالة حول المستقبل (غير البعيد) للطاقة العالمية مع أنها تفعل ذلك من خلال وجهات نظر مختلفة، معالجةً بذلك مسائل النفط، والطاقة، والهدروجين على التوالي.

يشتمل الكتاب الأول الذي عنوانه Hubbert's Peak (ذروة هوبرت) على بعض المعلومات العملية جداً حول منشأ النفط واستكشافه وإنتاجه. وبصدّد هذه المسائل وضع المؤلف الجيولوجي كينيث ديفيس K. Deffeyes كتاباً مرجعياً سهل القراءة إلى حدٍّ كبير يتصف بالوضوح ويشتمل على ملاحظات غنية بالمعلومات. لكن كتابه ذهب إلى أبعد من ذلك. لقد تعرّفنا على هوبرت Hubbert من العنوان، وهو الجيولوجي الذي، على الرغم من سخرية الآخرين في الصناعة، تنبأ في عام 1956 بأن إنتاج الولايات المتحدة من النفط سيصل إلى ذروته ومن ثم يبدأ بالتناقص مباشرة بعد عام 1970، وكان ذلك. يشرح ديفيس كيف عدّل طريقة هوبرت الإحصائية بعناصرها المتعلقة بالواقع والأفكار الحدسية للتنبؤ بنقطة التحوّل في إنتاج النفط العالمي. وليست تلك هي النقطة التي سوف تُستنفَد عندها احتياطات النفط العالمية، لكنها مجرد العلامة الأولى لاتجاهٍ آخذٍ بالتنازل دائماً. وهو هنا يتوقع بداية الذعر جرّاء ذلك.

متى سيحدث ذلك؟ سيحدث ذلك في حوالي عام 2005 - وربما قبل ذلك - ولكن بدون أي توسع في الأرقام إلى أبعد من نهاية هذا العقد. وبالتالي إذا كان على صواب فيما يقول، فأمامنا على أبعد تقدير سنتان أو ثلاث سنوات ينبغي خلالها الاستعداد لتلقّي صدمة أخرى في الأسعار، والإسراع في ابتعادنا عن النفط كوقود. تكمن قوة الكتاب في تماسك خلفيته ووضوح قاعدته من أجل ذلك التنبؤ الفريد. يمتلك ديفيس طريقة جذلة في التعامل مع المسائل الهامة جداً وتتميز طريقة سرده بالحيوية التي، مع أنها أحياناً تكون مشوّشة، تتجلى بالنوادر الشخصية. يكمل المؤلف تقريره بذكر بعض مصادر الطاقة الأخرى التي ينساق العالم لاستخدامها، لكن بحيوية أقل مما تميّز به استعراضه للمسائل المتعلقة مباشرة بالنفط. وعلى أفضل تقدير سيُستخدم الكتاب كملحق عملي ومنوّع للدراسات الفنية والاقتصادية المتعلقة بإنتاج النفط.

البديل الأسود: إذا نضبت مصادر النفط، سيكون هنالك اعتماد أكبر على الفحم في المدى القصير.

★ By Kenneth S. Deffeyes, 2001.

★★ By Richard L. Garwin & G. Charpak, 2001.

★★★ By P. Hoffmann, 2001.

**** س. يونغ: نوردهيك 7985 - جنوب إفريقيا.

- العرض والتحليل عن مجلة *Nature*, November 2001. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

نهاية مصافي تكرير النفط؟ توحي الإحصائيات إلى انخفاض دائم في احتياطي النفط بحلول عام 2005

إن استبدال النفط كوقود من أجل توليد الكهرباء لن يؤسف عليه. فالنفط الخام يعدّ سلعة ذات قيمة عالية تستخدم للحرق على نطاق واسع، وبذلك نكون قد عملنا على زيادة تأثير الاحترار العالمي. وتبدو العودة إلى الاعتماد الأكبر على الفحم محتومة لا مناص منها، لكن في المدى القريب فقط، لأنه يواجه نقداً أشدّ كمولّد لغازات الدفيئة أكثر مما يولّده النفط.

إن الطاقة النووية تتجنب غالباً وبصورة تامة هذا الخطر البيئي الأساسي للوقود الأحفوري، لكنها تتحمل عبء مخاطره وتبعياته. ففي المقام الأول هنالك علاقة واضحة بين توليد الطاقة النووية والأسلحة النووية. ومنذ عدة أعوام ذكر مؤيدو الطاقة النووية أن هذه العلاقة سواء أتم تصوّرها أم لا فيما يتعلق بتطبيقها، مع ذلك فإن الخوف المتأتي على نطاق واسع من الطاقة النووية والممتد إلى مخاطر الإشعاع عموماً، لم يبتعد كثيراً. والآن أمامنا كتاب آخر بعنوان Megawatts and Megatons الذي تتوضح فيه جوانب التأثر كافة بين هذين التطبيقين للطاقة النووية وتخضع للاختبار بلا ريب، وتغدو المضامين العالمية المرعبة عارية. إن مؤلفي هذا الكتاب، Garwin و Charpak Georges، هما فيزيائيان متميزان يتمتعان بكفاءة عالية في هذا المجال. يعتمد الكتاب المذكور على عملهما باللغة الفرنسية Feux Follets et Champignon Nucleaires (النيران المجنونة والفطور النووية) لكنه يتضمن بعض التلميحات والمعلومات.

يغطي غاروين وشارباك مجالاً عريضاً ومعقداً بشكل جريء، ولكن ترتيب عرض المقال جاء منطقياً ويشتمل النص على نقاط علاّم مهمة ودقيقة. وفي هذه المجموعة يمكنك أن تعرف موقعك. ويخلو السرد من الأخطاء وتغدو قراءته ممتعة، حتى لو كان الكتاب طويلاً والتفاصيل الواردة في النص كثيرة. ويمكن إدراك مبدأ دليلي يدعو للإعجاب من خلال الكتاب – وهو أن القارىء المهتم ينبغي عليه ألا يرفض أية تفاصيل مهما تكن ضئيلة، لا سيما إذا كان من المحتمل أن تؤثر في حكمها على القضايا المثيرة للنزاع أمامهم. وهذا يؤدي بشكل محتوم إلى بعض المقاطع الصعبة التي يمكن أن يحصل نزاع بشأنها مع القارىء الذي لا يتمتع بأية معرفة عن الفيزياء النووية الأساسية. وبلا شك سيقول خصوم ديهارد Diehard بشأن الطاقة النووية، لدى افتراض مسار آمن لاستخداماتها المستقبلية، إن غاروين وشارباك هما من مؤيديها. وليس هنالك قارىء دقيق لهذا الكتاب يمكن أن يدعم ذلك الادعاء. ويتألف هذا الكتاب من مجموعة من النصوص ويُعدّ مساهمة شاملة وجيدة في عملية الفهم، وينبغي أن يطلع عليه كلّ من له اهتمامات بمشكلات الطاقة النووية.

أما بيتر هوفمان فقد وضع كتابه حول مستقبل الهدروجين والخلايا الوقودية وعنوانه Tomorrow's Energy (طاقة الغد). وبما أنه محرّرٌ وناشرٌ للمطبوعة The Hydrogen & Fuel Cell Letter، فلديه معلومات حول مشاريع التطوير ذات العلاقة في العالم. وبنظر المتحمسين، يُعدّ الهدروجين وقوداً مثالياً لأنه سواء أتمّ حرقه في محرك من أجل الدفع، أم استُخدم في خلية وقودية لتوليد الكهرباء فإن الإصدار الوحيد هو الماء. ومع ذلك فإن القسم الأكبر من الرأي العام يوحي بالشكوك، ومن بينها المسائل المتعلقة بالتوليد الفعّال للغاز، ويمكن أن يُنظر إلى الهدروجين كوسيط لنقل وتخزين الطاقة بدلاً من كونه مصدراً أساسياً.

يُعدّ كتاب هوفمان غنياً بالمراجع المتعلقة بالتطورات على نطاق محدود، لكنه يفتقر إلى طريقة لعرض المعلومات. وهنالك أكثر من 250 صفحة في الكتاب تخلو من شكل تخطيطي واحد، أو جدول أو صورة. ومع ذلك توجد أربع وعشرون صورة فوتوغرافية للمركّبات التجريبية التي لا تضيف شيئاً إلى الفهم التقني للمشاريع التجارية والإعلان. وبالتالي سيشعر القرّاء المعتمدون على العلم جرّاء ذلك بالحرمان.■

# 4- مختصر تاريخ العلوم: كما يُرى من خلال تطور الأدوات العلمية

# A Brief History of Science: As Seen Through the Development of Scientific Instruments ☆

تأليف: توماس كرمب
عرض وتحليل: كيفن جونسون**

يجب أن لا يُفاجأ القارىء، في ما يتصل بعنوان يغطي مثل هذا الحقل الواسع من المقالات، بأن هذا الكتاب يُعدّ انتقائياً حقاً بالنسبة للمواضيع التي يغطيها. يوجز توماس كرمب في المقدمة بوضوح نهجه في الكتابة. إنه يركّز على العلوم الغربية في الفترة الحديثة - من القرن السادس عشر حتى الوقت الحاضر. ويقوم بمناقشة مختصرة للفترة السابقة لذلك يؤكد فقط على نجاحات العلوم الأوربية في العالم القديم. وعندما كان كرمب يعترف بإنجازات البلدان الأخرى كالصين والهند فإنه كان يعتقد أن الأصل والميزات الاستثنائية للعلوم قد أتت من بلاد الإغريق القديمة، وهذه فكرة يمكن أن تخضع للنقاش.

وعلاوة على ذلك، فإن العمل مقتصر على ما يمكن أن يسمى بالعلوم العالية أو حسب تعبير كرمب العلوم "الدقيقة" ونعني تلك المجالات التي تغلب فيها الأسس الرياضياتية. وبكلمة أخرى، تلك المجالات من العلوم التي تتعامل مع تطور الفيزياء والكيمياء والفلك والفروع المرتبطة بها، وتتجاهل معظم فروع العلوم الطبيعية.

يستخدم كرمب في كتابته أسلوباً واضحاً ومقنعاً موجهاً بصراحة إلى الشخص العلماني، مع تضمينه بعض الصيغ عند الضرورة. لكل فصل عنوان وظيفي يتصل مباشرة مع الاكتشافات النوعية والتفكير العلمي اللاحق. وباستخدام هذا الشكل من الكتابة، يعالج بنجاح المواضيع المتنوعة في الكهرباء والطاقة والكيمياء. ويواصل ليبيّن كيف أصبحت الفيزياء في القرن التاسع عشر نهجاً موحداً في الفيزياء، وكيف أُعيد ترتيبها بعد ذلك عند بزوغ النظرية الكهرطيسية وفيزياء الجسيمات. ولسوء الحظ، يفضي هذا الأسلوب العقلاني لأن يتجاهل السياق التاريخي الأوسع الذي فيه أخذت هذه التطورات مكانها. لقد عولجت بعض هذه المسائل تحت العناوين المنفصلة من التقانة والاتصالات، ولكن ذلك أدّى إلى عزلها عن بقية الكتاب. كما أنه ضغط أيضاً موضوع التغير التقني في فصل وحيد، مما يعني أن أسلوب معالجته أضحى إلى حدٍ ما سطحياً. وبصورة مشابهة، فإن تعقيد هذا التاريخ يعني أن كثيراً من المواضيع الأوسع قد تمّت معالجتها والعرض لها بشكلٍ سطحي.

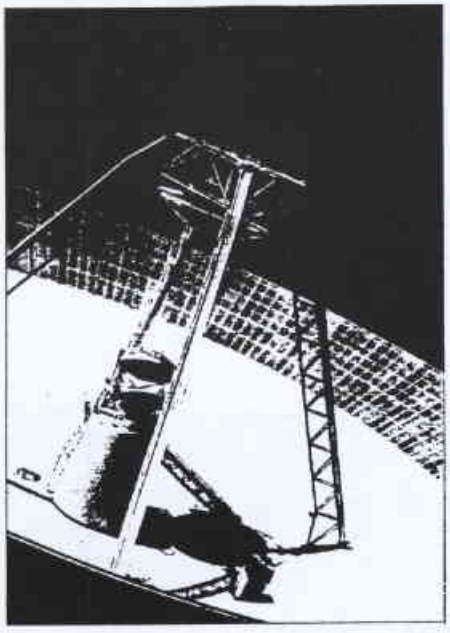
رغم التقييدات المفروضة من محاولة تغطية هذا الزخم الواسع من المواضيع، فقد أورد المؤلف قصة أكبر لبعض العلماء، ولكنها مهمة. ومن الأمثلة الجيدة على ذلك وصفه لغاليليو Galileo، الذي غالباً ما صُوِّر بالشهيد الطاهر الذيل من أجل العلم. لقد تمّ وصفه هنا، عوضاً عن ذلك، بالداعية الشخصي الناجح الذي دافع وناصر نظرية كوبرنيك عند كل منعطف، مستخدماً فقط الدليل الذي أيد وجهة نظره. إن المجال الأوسع لهذه الروايات يعطي القارىء منظوراً عن رَدِّ فعل الكنيسة الكاثوليكية لأعمال غاليليو وارتباطه بالاضطراب السياسي ضد الإصلاح الديني.

وبطريقة مماثلة، وُصِف نيوتن Newton بعمق أكثر وتمّ إظهاره كشخص أكثر واقعية بخلاف ما كان يوصف به غالباً كقديس. وقد تمّ توقيره أيضاً إلى جانب معاصريه الأقل شهرة مثل رينيه ديكارت R. Descartes وكريستيان ويغنز C.Huygens.

فقد وُصِف الأول كمتشامخ ومتحفظ، وصُوِّر الثاني كمعارض لنشر أعماله وكشخص تُعدّ حياته نموذجاً من الفرص الضائعة.

وأما العلماء الأكثر حداثة، مثل نيلز بور N. Bohr، فقد عوملوا بالمثل. إذ صُوِّر ن. بور على أنه كالأب والمركز للنهج الجديد للفيزياء ما تحت الذرّية. يكشف كرمب أيضاً الطبيعة التنافسية للعلوم، والتي غالباً بقدر ما تكون معيقة فهي مساعدة. لقد جرى توضيح هذه الحالة جيداً بالنزاع الذي حصل بين وليام رامسي W. Ramsey وجيمس ديوار J. Dewar حول سَدّ الحاجة إلى الهليوم من أجل أبحاث درجات الحرارة المنخفضة. كان رامسي يتحكم بالموارد الوحيدة من الهليوم الطبيعي في بريطانيا ورفض أن يقتسمها - رغم حاجته إلى الهدروجين السائل لأبحاثه، والتي لا يستطيع إنتاجها في ذلك الوقت إلاّ ديوار.

يستكشف الفصل النهائي من الكتاب "العلم الكبير" فيما يخص المصادر والآلات الضرورية للنجاح في عالم الفيزياء ما تحت الذرّية والتي تكلّف ملايين عديدة من



الآلات والمقاريب والاختراعات الأخرى أمور حاسمة في التقدم العلمي

★ By T. Crump 2001.
★★ ك. جونسون: متحف العلوم - لندن.
- العرض والتحليل عن مجلة *Physics World*, March 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

## "يجب وضع التاريخ في السياق الحضاري الأوسع"

الدولارات. لقد نوقشت مسألة البحث المتواصل عن بوزون هيغز Higgs باختصار فيما يتعلق بالبحوث التي تمّت في سيرن CERN بجنيف. وبينما جرى الاهتمام بفيزياء الجسيمات، فإن هذا المقطع الختامي يتجاهل مشاريع العلم الكبير المشابهة التي تتم في مجالات أخرى كعلم الفلك.

رغم أسلوب الكتاب المقبول، فإنه يعاني من ضعف، كعادة العديد من كتب تاريخ العلوم، من حيث أنه يطرح موضوعه من منظورٍ معاصر. وبهذا الخصوص فقد جرى تصوير التطوّر العلمي كشيء محتوم مع وصف تقانته المنتشرة كقوة من أجل الأفضل. على أية حال، يجب تقديم تبني الكنيسة الغربية لتعاليم أرسطو Aristotle وغاليليو على ضوء الزمن الذي تمّت فيه بدلاً من إدراكه مؤخراً اليوم. وأما فيما يتصل بنعت هذه الحوادث "بالخطأ" أو "على مسارٍ خاطىء" – وهي مقاطع استُعملت عدة مرات في الكتاب – فهذا ليس صحيحاً من الناحية التاريخية.

ولكي نقدّر تماماً كيف تطور العلم من تنافس الأفكار والنظريات، يحتاج المرء أن يأخذ بعين الاعتبار المنظور الشعبي لهذه الأشياء في ذلك الوقت. يجب وضع تاريخ العلوم في السياق الحضاري الواسع بدلاً من وضعه في فراغ لا سياسي كما هو الحال غالباً. بالإضافة إلى ذلك، وبينما يجب استحسان المراجع الموجودة، فإن أهمية بعض الملاحظات السفلية مشكوك في أمرها. فمثلاً نجد أن المرجع الخاص بمقولة وليام هيرشيل W. Herschel المتعلقة بالمقراب الذي طوله 400 قدم، والذي يشير بالرجوع إلى عملٍ ثانوي بدون أي مصدر لذلك، من الصعب فهم الفائدة منه وسيحبط القارىء.

وكما ينمو العلم ويتجزأ إلى تفرعات تخصصية، فإن مجال كتابة الروايات الموسوعية لتاريخ العلوم يتناقص. إن هذا الكتاب محاولة شجاعة في تجريب وضم الجدائل المتباعدة من العلوم الحديثة بعضها مع بعض، مع ما تحمله من أصولها المختلفة والمتعاكسة غالباً. يقدِّم الكتاب مقدمة ممتعة للمواضيع الأوسع في تاريخ العلوم، ويوفر معالم مفيدة لاستكشاف الموضوع بشكلٍ أكثر اكتمالاً. ■

☆ ★ ☆

*Correction:*

In the issue No. 79, p.110, the key words of the report entitled "Removal of Cadmium from Phosphoric Acid by Liquid-Liquid Extraction with Topo in Kerosene" by S. K. Khorfan, are:
cadmium, phosphoric acid, topo, kerosene.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# تعريف بمنشورات هيئة الطاقة الذرّية المعدَّة للبيع
# Publications of the AEC of SYRIA

| منشورات عامة | الشكل | السعر (ل.س من داخل القطر) ($ من خارج القطر) |
|---|---|---|
| 1- النظائر المشعة في الحياة اليومية Isotopes Day Life<br>(ترجمة دائرة الإعلام والترجمة والنشر) | كتيب مطبوع<br>Printed Book | 15 ل.س<br>$ 3 |
| 2- ما يجب أن يعرفه الطبيب الممارس في معالجة المتعرضين للإشعاع<br>What The General Practitioner (MD) Should Know About Medical Handling of overexposed Individuals<br>(ترجمة قسم الوقاية والأمان) | كتيب مطبوع<br>Printed Book | 40 ل.س<br>$ 9 |
| 3- مستويات التدخل المقدرة لمواجهة تلوث الطعام بالنظائر المشعة<br>(إرشادات للتطبيق بعد الانتشار الواسع للتلوث الإشعاعي الناتج عن حادث نووي كبير)<br>Derived Intervention Levels for Radionuclides in Food<br>(ترجمة الدكتور إبراهيم عثمان) | كتاب مطبوع<br>Printed Book | 80 ل.س<br>$ 7 |
| 4- تشعيع الغذاء (تقنية لحفظ الغذاء وتحسين سلامته)<br>Food Irradiation<br>(A technique for Preserving and Imporoving the Safety of Food)<br>(ترجمة الدكتور نجم الدين شرابي) | كتاب مطبوع<br>Printed Book | 160 ل.س<br>$ 15 |
| 5- نظرية الكم وقصتها الغريبة L'étrange Histoire des Quanta<br>(ترجمة محمد وائل الأتاسي) | كتاب مطبوع<br>Printed Book | 250 ل.س<br>$ 25 |
| 6- حقائق حول تشعيع الأغذية<br>سلسلة نشرات الحقائق صادرة عن المجموعة الاستشارية الدولية لتشعيع الأغذية<br>Facts about Food Irradiation<br>(ترجمة الدكتور نزار حمد) | كتاب مطبوع<br>Printed Book | 160 ل.س<br>$ 8 |
| 7- الإشعاع: الجرعات -الآثار -المخاطر Radiation: Doses, Effects, Risks<br>(ترجمة الدكتور إبراهيم عثمان-المهندسة مها عبد الرحيم) | كتاب مطبوع<br>Printed Book | 100 ل.س<br>$ 10 |
| 8- دروس من حوادث وقعت في منشآت التشعيع الصناعية<br>Lessons Learned From Accidents In Industrial Irradiation Facilities<br>(ترجمة الدكتور محمد قعقع) | كتيب مطبوع<br>Printed Book | 100 ل.س<br>$ 6 |
| 9- الاختبارات اللاإتلافية: طريقة التصوير الشعاعي الصناعي<br>Industrial Radiography Method<br>(تأليف الدكتور وفيق حرارة) | كتاب مطبوع<br>Printed Book | 200 ل.س<br>$ 10 |
| 10- الطاقة الذرّية لأغراض عسكرية<br>Atomic Energy for Military Purposes<br>(ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر) | كتاب مطبوع<br>Printed Book | 300 ل.س<br>$ 25 |
| 11- معجم المصطلحات العلمية والتقنية (إنكليزي-عربي)<br>Dictionary of Technical Terms in the Field of Atomic Energy<br>(طبعة جديدة موسعة) | كتاب مطبوع<br>Printed Book | 300 ل.س<br>$ 25 |
| 12- التثبيت الحيوي للآزوت الجوي<br>Biological Nitrogen Fixation<br>(تأليف الدكتور فواز كرد علي) | كتاب مطبوع<br>Printed Book | 350 ل.س<br>$ 15 |

*ملاحظة: يمكن طلب هذه المنشورات من مكتب الترجمة والتأليف والنشر في هيئة الطاقة الذرّية -دمشق - شارع 17 نيسان -هاتف 6111926/7.*

1 - Nutritive components of Sesbania aculeata (whole plant) were (g/kg dry matter): CA 76, CP 144, CF 341, CL 23, NDF 562, ADF 435 and ADL 72. IVOMD was 50.7%, and values (MJ/kg dry matter) were: GE 28.27, ME 6.84 and NEL 3.50.

2 - Dry matter and crude protein yields of Sesbania hay were 8269 and 1190 kg/ha, respectively; and the energy produced (MJ/ha) was: GE 2338, ME 799 and NEL 607.

3 - Sesbania had no effects on mating rate (100%), duration of pregnancy (148.8 ± 1.5 days), birth weight (4.6 ± 1.1 kg) or weaning weight (18.8 ± 5.0 kg) of kids.

4 - There was a pronounced effect of Sesbania on fertility rate since percentage of does that were mated but failed to conceive reached 50%.

5 - Progesterone pattern in serum was normal in all does from feeding on Sesbania supplement until mating, and likewise was in does that had fertile matings; whereas, the pattern was abnormal in those in which they were mated, but failed to conceive.

**Key Words**

Sesbania aculeata, nutritive value, nutrition, reproduction, progesterone, radioimmunoassay, Damascus goats.

⋆ A short report on exploratory field experiment achieved in the Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria.

# EFFECT OF ADDING PHOSPHOGYPSUM TO THE SOIL ON GROWTH, YIELD, RADIONUCLIDES, TRACE ELEMENTS AND FLUORINE ACCUMULATION IN SOME CROPS⋆

**M. AL-OUDAT**

*Department of protection and safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

**N. AL-SHARABI, S. KANACRI**

*Department of Biotechnology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

## ABSTRACT

Large quantities of phosphogypsum, -by product of phosphate fertilizer industry -,are stacked close to urban areas in Syria. That may pose a negative impacts on environment. Many studies have reported positive effects of phosphogypsum application on nutrient levels, physical and chemical properties of agricultural soils. There are some concerns that the application of phosphogypsum to agricultural lands may lead to the uptake of radionuclides, fluorine and trace elements by plants.

Phosphogypsum, which has radioactivity of 430 $Bq/kg^{-1}$, was mixed with silty-loam soil, at different rates (0, 10, 20, 40 and 80 T/ha), the experiments were carried out using chick pea, maize, cotton and spinach.

The results show that adding phosphogypsum to the soil increased infiltration rate, electrical conductivity and the concentration of available S, Mg, Ca, P. It also increased significantly the yields of studied crops. The radioactivities of shoot systems and the grain yield of crops grown in these soil-phosphogypsum mixtures were blow detection level. In addition phosphogypsum application did not result in accumulation of trace elements in soil or plants. The fluorine concentrations in plants increased but remained less than the allowable level (30 ppm).

Therefore adding phosphogypsum (at a rate of 10-20 T/ha) can be considered an effective way of improving the properties of the soil, increasing the productivity and a way of phosphogypsum utilization and to overcome its negative effect on the environment.

**Key Words**

phosphogypsum, radioactivity, trace elements, fluorine.

⋆ A short report on an exploratory field experiment achieved in the Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission of Syria.

☆ ★ ☆



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

consideration the influence of severe pumping in the area, leading to the formation of local depression pumping which in turn, increases the flowpaths of river and dam Euphrates waters.

**Key Words**

Euphrates, Rasafeh, isotope, Netpath, recharge, main residance time, salinity, sulfate, gypsum.

* A short report on a scientific research achieved in the Department of geology, Atomic Energy Commission of Syria.

# THE EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON THE MICROBIAL LOAD, MINERAL CONCENTRATION AND SENSORY CHARACTERISTICS OF LICORICE (GLYCYRRHIZA GLABRA L.)*

**M. AL-BACHIR**

*Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria.*

**G. LAHHAM**

*Faculty of Pharmacy, Damascus University, Syria*

## ABSTRACT

Ground licorice roots were exposed to 0, 5, 10, 15 and 20 k Gy of gamma radiation in a $^{60}Co$ source. Irradiated and non-irradiated samples were stored at room temperature. Microbial population, viscosity, concentration of some minerals and sensory properties of the extract were evaluated after 0 and 12 months of storage. The results indicated that, immediately after irradiation, used doses reduced the microbial count and $D_{10}$ was at about 2 kGy. No effect was observed in total dissolved solids in the extract of licorice roots. Glycyrrhizinic acid concentration in extract and viscosity of suspension produced from irradiated roots were lower than in non-irradiated ones. Sensory evaluation indicated that no significant differences ($P<0.05$) were found in color, taste or flavor between extract produced from irradiated and non-irradiated roots. However, after 12 months of storage, mineral charges ($Na^+$, $Ca^{++}$ and $K^+$) concentration in extract produced from irradiated roots were lower than in non-irradiated ones, and no significant differences ($P<0.05$) were found in viscosity between suspension of irradiated and non-irradiated roots.

**Key Words**

decontamination, extract characteristics, irradiation, licorice, sensory evaluation.

* A short report on a research achieved in the Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission of Syria.

# NUTRITIONAL EVALUATION AND EFFECT OF SESBANIA ACULEATA ON THE REPRODUCTIVE PERFORMANCE OF DAMASCUS DOES*

**M. ZARKAWI, R. AL-MASRI, K. KHALIFA**

*Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

## ABSTARCT

Nutritional value of Sesbania aculeata, a salt-tolerant plant was evaluated by estimating the nutritive components (crude ash CA, crude protein CP, crude fiber CF, crude lipid CL, neutral-detergent fiber NDF, acid-detergent fiber ADF and crude lignin acid-detergent lignin ADL); and the in vitro organic matter digestibility (IVOMD), metabolizable energy (ME), net energy lactation (NEL) and gross energy (GE). The effects of feeding Sesbania aculeata hay (whole plant) on live-weight, reproductive performance during several reproductive stages and on the serum progesterone levels in the blood of Damascus does were also determined. Results showed the following:



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

## REPORTS

# A MICROEARTHQUAKE SURVEY OF LATTAKIA DISTRICT, SYRIA*

**M. BEYERLY**
*Department of Geology, Tishreen University, Lattakia, Syria*
**M. R. SBENATI AND R. DARAWCHEH**
*Department of Geology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*
**J. MAKRIS AND J. STACKER**
*Institute of Geophysics, University of Hamburg, Germany*

## ABSTRACT

For delineating the active faults of Lattakia district, a microearthquake network consisting of 30 short-period, three-component digital seismic stations has been installed and operated during the period from 25 February to 12 May 2000. Analysis of the recorded microearthquake data revealed that: 1) the earthquake activity is represented by occurrence of 78 microearthquakes distributed over a broad area, nevertheless a large bulk of them clustered along Lattakia-Kelles fault, 2) some of them may be correlated wih certain lineaments, 3) fault plane solutions of 3 representative events show dominant normal faulting with a small component of a strike-slip movement, 4) seismic hazard, calculated by return periods for events whose magnitude ranges between 1 to 4, shows a moderate to low earthquake activity in the studied area.

**Key Words**

microearthquakes, active tectonics, Syria.

* A short report on a scientific study achieved in the Department of Geology, Atomic Energy Commission of Syria.

# APPLICATION OF ISOTOPE IN STUDYING THE ORIGIN OF GROUNDWATER RECHARGE AND SALINITY IN THE RASAFEH AREA "MIDDLE EUPHRATES BASIN - THE SHAM BANK"*

**A. AL-CHARIDEH**
*Department of Geology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

## ABSTRACT

By using the enviromental isotopes technique. It is possible to determine the recharge of groundwater resources and establish the relation of Euphrates river with these resources, in Quaternary, Paleoquaternary and Neogene aquifers in the Rasafeh area of the Middle Euphrates basin (Sham Bank).

The results of the isotopic mixing model and Netpath mixing model show that Euphrates river contribution in the recharge of the groundwater reached 70% on the averge compared to 30% of infiltrated rain water with general trend indicating the contribution of Euphrates River in Tortonian and Helvetian aquifers which is higher than its contribution in paleoquaternary aquifer.

Overall groundwater contains tritium. The map of tritium distribution shows the distinct zonation of groundwater circulation, which is associated with Rasafeh fault system. The main residence time is very short and correlated with high radioactivity of C-14, confirming that the groundwater returns to recent age.

In conclusion, study of salinity scenario reveals that dissolution is the main factor of high salinity, and salinity amount is basically related to $SO_4$ from gypsum dissolution. The interpretation of this phenomena takes in



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# THE IMPACT OF PHOSPHATE LOADING ACTIVITIES ON NEAR MARINE ENVIRONMENT: THE SYRIAN COAST*

M. S. Al-MASRI, S. MAMISH, Y. BUDEIR
*Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

## ABSTRACT

The impact of loading cargoes of phosphate ore into ships on the near marine environment at the Syrian coast has been evaluated. Results have shown a significant enhancement of $^{210}Po$, $^{210}Pb$ and other natural radionuclides in sediment and surface water inside the port area. The highest $^{210}Po$ and $^{210}Pb$ concentrations observed in sediment were found to be 170 Bq $kg^{-1}$ and 64 Bq $kg^{-1}$ respectively, while $^{210}Pb$ and $^{210}Po$ concentrations in surface water ranged from 5 to 20 $mBql^{-1}$ and 0.93 to 3.23 $mBql^{-1}$. In addition, comparable values of $^{210}Po$ and $^{210}Pb$ for all marine organisms (algae, crab and fish) suggest that their use as indicators for phosphate pollution is not recommended. However, the effect of loading cargoes on Tartous port marine environment of Tartous was found to be mainly related to wind direction where Radioactive air particulate are either being dispersed to land or sea.

**Key Words**

phosphate industry, marine environment, $^{210}Po$, $^{210}Pb$, Tartous port, Syrian coast.

* This paper appeared in *Environmental Radioactivity* (2001).

# $N_2$ FIXATION IN CHICKPEA: EFFECT OF HYDROQUINONE AS UREASE INHIBITOR ON THE STABILITY OF $^{15}N$ ENRICHMENT*

F. KURDALI
*Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

## ABSTRACT

A pot experiment was conducted to study the effect of fertilizing chickpea with $^{15}N$ - labelled urea alone, urea with hydroquinone, or organic plant materials on the stability of $^{15}N$ enrichment of available soil nitrogen. An isotopic dilution method was used to estimate $N_2$- fixation using a non - nodulating chickpea genotype as a reference crop.

The use of hydroquinone - containing urea as well as the use of labelled organic material resulted in a stable $^{15}N$ enrichment of the available soil N with time as compared with urea alone. Estimates of $N_2$- fixation were not affected by the three different $^{15}N$- labelled fertilizer applications employed. the high $N_2$- fixation in chickpea, and the appropriate use of a reference crop, which has a unique N uptake pattern, can adjust the error in the estimation of $N_2$ fixation when a decline occurs in $^{15}N$ enrichment. On the other hand, the addition of hydroquinone to urea significantly increased its efficient use as a nitrogen fertilizer as compared with urea alone.

**Key Words**

Chickpea, Hydroquinone, $N_2$- fixation, $^{15}N$, Urea.

* This paper appeared in *Communication in soil science & plant analysis* (2001).



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# WILL A CHIP EVERY DAY KEEP THE DOCTOR AWAY?*

L. CANHAM AND R. ASTON
*pSiMedica Ltd. Worcestershire, UK*

## ABSTRACT

Silicon - the raw material of the microelectronics industry- can be developed into biocompatible and biodegradable material that could lead to smaller, smarter and more - interactive implants in the human body.

### Key Words

chip, bionic man, implant, porous silicon, microelectronics, biocompatible, biodegradable, biomaterial, ticking tablets, anodization, etching.

* This article appeared in *Physics World*, July 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

## PAPERS

# SIMULATION OF SUBCOOLED FLOW INSTABILITY FOR HIGH FLUX RESEARCH REACTORS USING THE EXTENDED CODE ATHLET*

A. HAINOUN
*Department of Physics, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria*
A. SCHAFFRATH
*Forschungszentrum Rossendorf (FZR) Dresden, Germany*

## ABSTRACT

Covering the wide range of reactor safety analysis of power reactors, consisting of leak and transients, the thermohydraulic code ATHLET is being developed by the German Society for Plant and Reactor Safety (GRS). In order to extend the application range of the code to the safety analysis of low and medium flux research reactors, a model was developed and implemented permitting a description of the steam formation in the subcooled boiling regime [1].

Considering the specific features of high flux research reactors given by both high heat flux and high flow velocity, further extension to the model of void condensation in subcooled flow has been extended and a new correlation of critical heat flux (CHF) is implemented. To validate the extended Program, the Thermal -Hydraulic Test Loop (THTL) of Oak Ridge National Laboratory (ORNL) was modeled and an extensive series of experiments concerning the onset of thermohydraulic flow instability (OFI) in subcooled boiling regime were calculated. The comparison between experiments and ATHLET postcalculation shows that the extended code can accurately simulate the thermohydraulic conditions of flow instability in a wide range of heat flux up to 15 $MW/m^2$ and inlet flow velocity up to 20 m/s. The thermohydraulic design limit characterized by the mass flux, at which the flow just becomes unstable (OFI), has been predicted in very good agreement with the experiment. However the calculated pressure drop at OFI is overestimated by a maximum deviation of about 25%. The calculated exit bulk temperature of subcooled coolant and the maximum wall temperature at OFI show a maximum deviation from experiment of 12% and 7% respectively.

### Key Words

high flux research reactors, reactor safety, subcooled boiling, thermohydraulic instability, pressure loss, heat flux, THTL of Oak Ridge, ATHLET code.

* This paper appeared in *Nuclear Engineering and Design*, (2001).



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

## ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

## ARTICLES

# A REVIEW OF RADIATION DOSIMETRY APPLICATIONS USING THE MCNP MONTE CARLO CODE*

TIMOTHY D. SOLBERG, JOHN J. DEMARCO, INDRIN J. CHETTY, ALBERT V. MESA, CHRISTOPHER H. CAGNON, ALEX N. LI, KALI K. MATHER, PAUL M. MEDIN, ALONSO R. ARELLANO AND JAMES B. SMATHERS
*Department of Radiation Oncology, UCLA School of Medicine, Los Angeles, California, 90095 - 6951, USA*

### ABSTRACT

The Monte Carlo code MCNP (Monte Carlo N - Particle) has a significant history dating to the early years of the Manhattan Project. More recently, MCNP has been used successfully to solve many problems in the field of medical physics. In radiotherapy applications MCNP has been used successfully to calculate the bremsstrahlung spectra from medical linear accelerators, for modeling the dose distributions around high dose rate branchytherapy sources, and for evaluating the dosimetric properties of new radioactive sources used in intravascular irradiation for prevention of restenosis following angioplasty. MCNP has also been used for radioimmunotherapy and boron neutron capture tnerapy applications. It has been used to predict fast neutron activation of shielding and biological materials. One area that holds tremendous clinical promise is that of radiotherapy treatment planning. In diagnostic applications, MCNP has been used to model X - ray computed tomography and positron emission tomography scanners, to compute the dose delivered from CT procedures, and to determine detector characteristics of nuclear medicine devices. MCNP has been used to determine particle fluxes around radiotherapy treatment devices and to perform shielding calculations in radiotherapy treatment rooms. This manuscript is intended to provide to the reader a comprehensive summary of medical physics applications of the MCNP code..

### Key Words

Monte Carlo code, MCNP, radiation dosimetry, medical physics, treatment planning, dosimetry applications.

*This article appeared in *Radiochimica Acta,* Vol 89, 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

# CANCER TREATMENT USING Bi-213 AND Ac-225 IN RADIOIMMUNOTHERAPY*

C. APOSTOLIDIS, R. CARLOS-MARQUEZ, W. JANSSENS, R. MOLINET, T. NIKULA, A. OUADI
*Institute for Transuranium Elements (ITU), Division of Nuclear Chemistry, Karlsruhe, Germany*

### ABSTRACT

Radioimmunotherapy is an innovative cancer therapy in which a radioactive charge is connected to a cancer cell-specific vector to selectively kill targeted tumor cells.

### Key Words

radioimmunotherapy, alpha-immunotherapy, alpha-emitters, monoclonal antibody, Bi-213 generator, radioactive conjugate, Bi-213 isotope, Ac-225 isotope, micrometastatic tumors, chelates, peritoneal carcinoma, Ra-224 isotope, ankylosing spondylitis.

*This article appeared in *Nuclear News,* December 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

THE ORIGIN OF GROUNDWATER RECHARGE AND SALINITY
IN THE RASAFEH AREA "MIDDLE EUPHRATES BASIN - THE SHAM BANK"

☐ THE EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON . . . . . M. AL-BACHIR, . . . . . 87
THE MICROBIAL LOAD, MINERAL CONCENTRATION G. LAHHAM
AND SENSORY CHARACTERISTICS OF LICORICE (GLYCYRRHIZA GLABRA L.)

☐ NUTRITIONAL EVALUATION AND EFFECT . . . . . M. ZARKAWI, . . . . . 89
OF SESBANIA ACULEATA ON THE REPRODUCTIVE R. AL-MASRI, K. KHALIFA
PERFORMANCE OF DAMASCUS DOES

☐ EFFECT OF ADDING PHOSPHOGYPSUM TO . . . . . M. AL-OUDAT, . . . . . 91
THE SOIL ON GROWTH, YIELD, RADIONUCLIDES, N. AL-SHARABI, S. KANACRI
TRACE ELEMENTS AND FLUORINE ACCUMULATION IN SOME CROPS

**SELECTED NEW BOOKS** (Review and analysis)

☐ HUBBERT'S PEAK: THE IMPENDING . . . . . By: Kenneth S. Deffeyes . . . . . 94
WORLD OIL SHORTAGE OVERVIEW & ANALYSIS: STUART YOUNG

☐ MEGAWATTS AND MEGATONS: A TURNING . . . . . BY: Richard L. Garwin & G. Charpak . . . 94
POINT IN THE NUCLEAR AGE ? OVERVIEW & ANALYSIS: STUART YOUNG

☐ TOMORROW'S ENERGY: HYDROGEN, FUEL . . . . . BY: P. Hoffmann . . . . . 94
CELLS AND THE PROSPECTS FOR OVERVIEW & ANALYSIS: STUART YOUNG
A CLEANER PLANET

☐ A MODERN VIEW OF THE HISTORY OF SCIENCE DYNAMICS: . . BY: T. Crump . . . . . 96
A CASE STUDY IN MECHANICAL VIBRATION OVERVIEW & ANALYSIS: KEVIN JOHNSON

**ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH** . . . . . 104

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# CONTENTS

## ARTICLES


☐ A REVIEW OF RADIATION DOSIMETRY APPLICATIONS USING THE MCNP MONTE CARLO CODE — TIMOTHY D. SOLBERG et al — 7

☐ CANCER TREATMENT USING Bi-213 AND Ac-225 IN RADIOIMMUNOTHERAPY — C. APOSTOLIDIS et al. — 29

☐ WILL A CHIP EVERY DAY KEEP THE DOCTOR AWAY ? — L. CANHAM AND R. ASTON — 35


## NEWS


☐ GOING FOR GOLD — *NATURE* — 42

☐ BEEFING UP THE STRONG FORCE — *PHYSICS WORLD* — 43

☐ SLICK SWITCHING OF X-RAYS — *NATURE* — 45

☐ PUTTING METALS INTO POLYMERS — *SCIENCE* — 46

☐ LIGHT WORK WITH WATER — *NATURE* — 49

☐ NEW PATHS TO THE ULTIMATE THEORY — *PHYSICS WORLD* — 50

☐ COLLISIONS FEEL THE COLD — *PHYSICS WORLD* — 52

☐ FOOTBALL PHYSICS — *PHYSICS WORLD* — 53


## PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)


☐ SIMULATION OF SUBCOOLED FLOW INSTABILITY FOR HIGH FLUX RESEARCH REACTORS USING THE EXTENDED CODE ATHLET — A. HAINOUN, A. SCHAFFRATH — 60

☐ THE IMPACT OF PHOSPHATE LOADING ACTIVITIES ON NEAR MARINE ENVIRONMENT: THE SYRIAN COAST — M. S. Al-MASRI et al — 69

☐ $N_2$ FIXATION IN CHICKPEA: EFFECT OF HYDROQUINONE AS UREASE INHIBITOR ON THE STABILITY OF $^{15}N$ ENRICHMENT — F. KURDALI — 74


## REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)


☐ A MICROEARTHQUAKE SURVEY OF LATTAKIA DISTRICT, SYRIA — M. BEYERLY et al — 83

☐ APPLICATION OF ISOTOPE IN STUDYING — A. AL-CHARIDEH — 86



http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

*Notice: Scientific matters and different inquiries; subscriptions, address changes, advertisements and single copy orders, should be addressed to the journal's address:*
***Damascus, P.O. Box 6091 Phone 6111926/7, Fax 6112289, Cable; TAKA.***

*Subscription rates, including first class postage charges:* a) *Individuals* $ 30 *for one year*
b) *Establishments* $ 60 *for one year*
c) *For one issue* $ 6

*It is preferable to transfer the requested amount to:*
***The Commercial Bank of Syria N-13 P.O. Box 16005 Damascus-Syria account N-3012\|2***
*Cheques may also be sent directly to the journal's address.*

*The views expressed in any signed article in this journal do not necessarily represent those of the AEC of Syria, and the commission accepts no responsibility for them.*

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

# AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

*A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate knowledge of nuclear and atomic sciences and of the different applications of atomic energy.*

N° 80 | 17th Year | JULY/AUGUST 2002

*Managing Editor*

***Dr. Ibrahim Othman***

*Director General of A. E. C. S.*

*Editorial Board*

***Dr. Tawfik Kassam*** *(Editor In-Chief)*

***Dr. Mohammed Ka'aka*** ***Dr. Fouad Al-Ijel***

***Dr. Ahmad Haj Said*** ***Dr. M. Fouad Al-Rabbat***

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية