

استخدام تقنية التنشيط النيوترونى
فى دراسات وبحوث البيئة
الأستاذ الدكتور / ممدوح فتحى عبد الصبور
وحدة تلوث المياه والتربة - الطاقة الذرية - مصر

مقدمة :

لقد أصبحت قضية التلوث البيئى ذات أهمية بالغة على الصعيدين الإقليمى والعالمى وغدت مشكلة فى كثير من بلدان العالم وبمستويات متفاوتة ، وأصبح النظام البيئى فى كثير من بقاع الأرض فريسة للتلوث بسبب النشاط الصناعى ، وإهمال الأسس العلمية السليمة للوقاية من التلوث والتقاى عن إتباع الأساليب العلاجية الصحيحة .

لقد آن الأوان لأن ندرك - وبجدية - أن الموارد الطبيعية ليست غنائم وأن قهر الكائنات الحية ليس انتصاراً ، بل دليلاً على جهل الإنسان وإساءته للعلاقة مع البيئة ، ولهذا أصبحت قضية التلوث البيئى أمراً ملحاً يجب أن نتعايش معه من أجل علاجه ومنع امتداده ، ولا يكون ذلك إلا بتحقيق الانسجام بين الأنشطة الإنسانية وموارد البيئة .

ويهتم هذا الفصل باستخدام التقنيات النووية فى قياسات ودراسات تلوث البيئة ، وكما هو معروف فإن الباحث يختار الطريقة المناسبة للتحليل طبقاً لظروف وملابسات العمل، وبالطبع يلجأ إلى الطريقة التى توفر له أكبر قدر ممكن من الدقة لأكبر عدد من العناصر المتنوعة وعند تركيزات صغيرة جداً (مثلاً جزء فى المليون أو أقل) وإلى جانب ذلك هناك ميزة أخرى ، وهى عدم الاحتياج إلى معاملة العينات معاملة كيميائية قبل إتمام التحليل (كما هو متبع فى طرق التحليل الكيميائى) ، ولهذا وجد أن التحليل بالتنشيط الإشعاعى بالنيوترونات INAA يوفر كل هذه المزايا للباحث فى مجالات كثيرة ومنها مجال البيئة والأراضى والمناخ والجيوكيمياء والمياه .

وتعتبر هذه الطريقة من الطرق الحساسة والدقيقة المستخدمة بنجاح فى تحليل أكثر من ٧٠ عنصراً ، وهى تلائم التحليلات الدورية ، كما تستخدم لقياس ، وتقويم دقة العديد من طرق التحليل الدقيقة الأخرى .

وفيما يلى سوف نورد بعضاً من تطبيقات واستخدامات التشعيع النيوترونى فى مجال قياسات المياه والتربة والبيئة مع الإشارة لبعض البحوث المنشورة سواء فى الخارج أو فى داخل مصر .

فى طريقة التحليل بالتنشيط النيوترونى تستخدم طريقة المقارنة بمعنى أنه يمكن تشعيع محلول أو عينة قياسية (معرفة التركيب والتركيز لعنصر ما أو أكثر) مع نفس العينة المجهولة وتحت نفس الظروف ، وبهذا يمكن اعتبار كل العوامل ثابتة بين كل من العينة القياسية والمجهولة ، وبالتالي يمكن اعتبار أن النسبة بين النشاط الإشعاعى لهما هى نفسها النسبة بين الكتلتين ومنه نستنتج الكتلة فى العينة المجهولة مع الأخذ فى الاعتبار التصحيح الناشئ عن فرق زمن الإنحلال بين كل من العينتين كما فى المعادلة الآتية :

$$\frac{\text{مقدار النشاط الإشعاعى لعينة التربة}}{\text{مقدار النشاط الإشعاعى للعينة القياسية}} = \frac{\text{كتلة العنصر فى عينة التربة المجهولة}}{\text{كتلة العنصر فى العينة القياسية}}$$

وطريقة التنشيط النيوترونى يمكنها التمييز أو الكشف عن العناصر - وليس فقط بالتمييز بين طاقات الأشعة المستحدثة - عن طريق حساب معدل الاضمحلال الإشعاعى حيث يمكن ذلك بالتحديد الدقيق لكل من زمن التشعيع وزمن الانحلال ، مما يمكن من تحديد العناصر وتقديرها بدقة ، ولكى يتم ذلك بدرجة عالية من الكفاءة فى عينة تحتوى على عدد كبير من العناصر المختلفة فإنه يلزم برنامج حاسب آلى مناسب يربط ما بين التوزيع الجامى للعناصر المشعة المختلفة والمقاسة تحت ظروف ثابتة ، وتوجد عدة برامج من هذا النوع يمكن الاستفادة منها فى عمليات تحليل النتائج المختلفة ، وهناك فرض شائع هو أن فترة الانحلال التى تساوى فترة نصف العمر سوف تحسن من قياس النبضة الناتجة من نظير معين ، وكلما

كان زمن التقدير معقولاً ومستمراً لفترة أطول أمكن قياس ، وتقدير وكشف عدد أكبر من النظائر في العينة الواحدة .

وخلاصة القول أن العينة بعد إعدادها وتشيعها وقياسها تعطى طيف جامى يمكن تحليله ودراسته نوعياً للتعرف على مكونات العينة من عناصر ونظائر مختلفة كميأ لتقدير التركيزات المختلفة لهذه المكونات ، وقد تم التأكد من دقة وحساسية هذا الأسلوب فى التحليل إلى درجة عالية من الحساسية .

تفاصيل عملية التحليل :

١- جمع وتجهيز العينات :

لتطبيق واستخدام هذه التقنية فى تقدير العناصر فى التربة يلزم إتباع أسلوب خاص فى جمع وتجهيز العينة ، وبالرغم من أن معظم عينات التربة تؤخذ بواسطة بريمة التربة أو مجراف التربة إلا أنه يجب أن تكون الأداة المستخدمة كمسبار للتربة ذات مساحة مقطع معلوم حتى يمكن استخدامها فى قياسات البيئة مثل مدخلات لمركبات معينة أو عناصر معينة من الغلاف الجوى إلى الأرض مثال ذلك التساقط الذرى لأن من المرغوب فيه معرفة معدلات التساقط أو الترسيب على وحدة المساحة .

وتستخدم أنواع عديدة من مسبارات التربة ، ويفضل أن يكون مسبار التربة الأسطوانى من الصلب أو من البولى إيثيلين ؛ وذلك لتفادى تلوث العينة بأى معادن من المسبار المستخدم ، وفى تحليلات التربة العادية يستخدم ١٠٠ جم تربة جافة هوائياً (التي سبق نخلها فى منخل ٢ مم) ، ولكن فى حالة تقنية التنشيط الإشعاعى نحتاج عينات صغيرة الحجم من ٥٠-٢٠٠ ملليجرام بحيث تكون عينة متماثلة ومتجانسة ، ويجب أن يتراوح قطر جزيئاتها ما بين ٣٠٠-٥٠٠ ميكرومتر ، وهذا الأمر فى غاية الأهمية حيث ثبت من تحليل بعض المواد القياسية (معلومة التركيز) إن اختلاف نسب أقطار الجزيئات تؤثر على تجانس العينة ، وبالتالي على النتائج المتحصل عليها ، وهناك العديد من المراجع التى تشرح كيفية إعداد وطحن ونخل العينة ولكنها لا تعطى تفاصيل كاملة عن تحضير العينة وإعدادها قبل التنشيط النيوترونى ، إلا أنه من المهم جداً تجنب تلوث العينة أثناء الطحن سواء بمعدن أداة الطحن أو تلوث ما بين

العينات ، ولذلك ينصح باستخدام أجهزة الطحن التي تستخدم كور طحن من العقيق أو الصلب أو طواحين من الصلب .

وأوضحت النتائج أن ١٥ جم تربة جافة (أصغر من ٢ مم) يمكن طحنها طحناً دقيقاً إلى جزيئات ناعمة أقطارها أقل من ٢٠٠ ميكرومتر بواسطة دوران كور العقيق فى المطاحن الاسطوانية ذات السعة ٥٠ سم^٣ فى ٢٠ دقيقة فقط ، وعملية طحن وتجانس التربة موضوع فى غاية الأهمية ؛ لأنه يؤثر على النتائج المتحصل عليها ، فمثلاً تركيز العناصر النادرة فى التربة يتوقف على حجم جزيئات التربة المنخولة (كما نعلم أن حبيبات الطين الناعمة تحتوى على أغلب العناصر المطلوب تحليلها) ، وهذا الموضوع مخصص له أبواب فى مراجع التحليلات المعملية .

أما عن تعبئة العينة وإعدادها للتشيع فإنه ينصح باستخدام أنابيب من السيلكا النقية، ويجب أن تكون الأنابيب المستخدمة مغسولة بالحامض والماء المقطر لضمان نقاءها وعدم احتوائها على عناصر قد تؤثر فى التحليلات المطلوبة ، كما يجب الاعتناء بإحكام غلق الأنبوية لمنع فقد أو تسرب العينة أثناء أو بعد التشيع ، كما اقترح استخدام زجاجات من البولى إيثيلين وخاصة فى أغراض التشيع قصير الأجل ، أما فى حالة الرغبة فى تشيع عينات ماء (مياه صرف صحى أو صناعى ... الخ - عينة سائل) ، يجرى جمع عينات المياه من المصارف أو المجارى أو من الماء الأرضى فى أوعية من البولييثين التى سبق غسلها بحمض النيتريك حتى يتشبع الجدران بأيونات الهيدروجين .

ويجب أيضاً أن تحمض المياه بنفس الحمض بحيث يصبح الرقم الهيدروجينى لها أقل من (١) حتى لا تدمص العناصر فى العينة على الجدار ، ويجب أن تكون عينة المياه خالية من المواد الغير ذائبة (العوالق) فإذا كانت تحتوى على مواد عالقة فيجب الترشيح وإذا كانت هذه المواد العالقة موجودة بكمية كبيرة فيمكن فصلها باستخدام الطرد المركزى ، وإذا أريد تقدير محتوياتها فيمكن أخذها وتجفيفها ووزنها ثم تحليلها .

تؤخذ عينة المياه الخالية من العوالق والمواد الغير ذائبة ويجرى لها عملية تجفيف على ورقة ترشيح وهى أبسط الطرق أو إجراء عملية تركيز مسبق Preconcentration عن طريق عمل التجفيف بالتجميد Freeze drying ، وهى غير مناسبة لبعض العناصر المتطايرة

مثل I. Hg ، أو باستخدام طريقة التبادل الأيوني Ion exchange ، ويتم إجراؤها بأنواع مختلفة من الـ Resin ، كذلك يمكن استخدام طريقة الاستخلاص بالامتصاص Sorption/Scavenging ، ويستعمل فيها الكربون النشط لامتصاص وامتزاز بعض العناصر مثل Zn, Cr, Cu, Co ، وهناك تقنية أخرى تعرف بطريقة Co-precipitation ، ويتم فيها ترسيب الـ Radionuclide فى عينة ماء البحر أو مياه الصرف الصناعى أو المجرى المائى حيث يتم الترسيب باستخدام أملاح $Fe(OH)_3$ أو الألومنيوم وغيرها .

وهناك أيضاً العديد من الطرق الأخرى :

- الفصل الكروموتوجرافى للسوائل liquid chromatography .
- التطاير Volatilization .
- الطفو Flotation .
- الترسيب الكهربائى Electrical deposition .
- استخلاص المذيبات Solvent extract ، وهو يستخدم لعنصر واحد أو مركب معين .

أما عند تعبئة العينة فيفضل استخدام Clear silica tubes كبسولات من السليكا النظيفة المغسولة بعامل مؤكسد قوى ثم بماء الصنبور ثم بماء مقطر فى حالة Long irradiation ، ويتم وضع حجم معلوم من سائل العينة مع مراعاة ترك مسافة فارغة فى الكبسولة مساوية على الأقل لنصف حجم العينة بعد ذلك فيتم استخدام تقفل العينة باستخدام اللهب أما فى حالة الـ short irradiation أنابيب سليكا غير محكمة مسدودة برقائق الألومنيوم أو يستخدم Vial من Polythene ثم تعبأ وتشفع . ويجب ألا تحتوى العينة على مادة متفجرة مثل حمض النيتريك مثلاً .

٢- تشعيع العينات :

معظم عمليات التشعيع النيترونى لعينات التربة تم فيها استخدام المفاعل كمصدر للنيترونات ، هذا ليس فقط لغزارة الفيض النيترونى الناتج منه ، والذي يصل إلى 10^{14} نيترون لكل سم²/ثانية ، والذي يرفع ليس فقط من حساسية الطريقة ، وإنما أيضاً لانتظام عملية التشعيع نظراً لتجانس الشعاع النيترونى الناتج من المفاعل .

والدراسات الجارية حالياً فى مركز البحوث النووية تعمل على توفير مصادر أخرى للتشعيع بخلاف المفاعلات ، وذلك لتوفير مصادر أخرى عالية الشدة من فيض النيوترونات الحرارية ، وأصبح من الممكن استخدام مصادر للنيوترونات غير المفاعلات مثل مصدر الكاليفورنيوم ^{252}Cf ، والذي أصبح متاحاً حالياً ، ويعطى فيضاً قدره ٧١٠ نيوترون/سم^٢/ثانية من النيوترونات الحرارية (فيض النيوترون يتوقف على كمية الكاليفورنيوم والمواصفات الخاصة بالتصنيع) ، وهناك مصدر آخر بديل ، وهو المولد النيوتروني Neutron Generator ، وفيه تتم إثارة التريتيوم بواسطة الديوتيريم ، وناتج التفاعل $^4\text{He} (d,n) ^3\text{H}$ ، والذي ينتج عنه فيضاً يصل إلى ١٠١٠ نيوترون لكل سم^٢/ثانية ، ولكن الشعاع النيوتروني الناتج من هذا المصدر يكون غير متجانس ، ولهذا فإن هذا المصدر يصلح فى حالة التفاعلات النووية مع العناصر ذات العدد الذرى المنخفض ولا يجب استخدام هذا المصدر فى حالة تحليل العناصر صغيرة التركيز .

والشدة النسبية لكل من النيوترونات الحرارية وفوق الحرارية تتغير كثيراً ، وتعتمد على نوع المصدر المولد للنيوترونات ، وعموماً فإنه من المفيد أن يكون المصدر الخاص بالنيوترونات ذا طاقة منخفضة كلما أمكن ذلك ، لأن احتمال حدوث التفاعل يكون أكبر فى النيوترونات ذات الطاقة المنخفضة مما يزيد من حساسية الطريقة ؛ ولأن زيادة الطاقة تزيد من احتمال حدوث تفاعلات أخرى مما يزيد من التداخل فى تقدير عنصر ما نتيجة زيادة النشاط الإشعاعى بواسطة تفاعل نيوتروني آخر لعنصر آخر . وهناك عامل آخر جدير بالاعتبار ألا وهو طول فترة التشعيع (الزمن المستغرق) وبالتالي زمن الانحلال قبل القياس (زمن التبريد) .

ولكى نحصل على أكبر تنشيط مستحث يجب أن يكون زمن التشعيع عدة مضاعفات لفترة نصف العمر ، وعموماً فإن التحكم فى الإشعاع الكلى الناتج من العينة (المستحدث من عملية التشعيع) يتم بالاختيار الأمثل لوزن العينة ، وبفيض النيوترونات المستخدمة بينما زمن التشعيع يجب أن يكون قصيراً ومتناسباً مع فترة نصف العمر (للعنصر المراد تحليله).

أيضاً فترة الانحلال الإشعاعى يجب أن تختار بعناية بحيث يكون لها تأثير إيجابى على القوة النسبية للنبضات الناتجة ؛ لأن القياسات لا تتم عن باقى العناصر الموجودة ، ويمكن الاستعانة بتنسيق هذه العناصر واختيار الأزمنة المختلفة للتشعيع أو التبريد أو القياس

باستخدام برامج حاسب عن طريق التوزيع لشعاع جامى قياسى فى عينة قياسية من عينة تربة أو ماء نهر معروف تركيز العناصر المختلفة بها ، وبالتالي يمكن استنتاج تركيز العناصر محل الاهتمام فى العينة تحت الاختبار .

وعادة ما يستخدم أسلوب التشعيع النيترونى فى التحليل المتعدد للعناصر Multi-Element Analysis ، وفى حالات تصل إلى ٣٠-٤٠ عنصراً ، وبالطبع مع هذا العدد الكبير للعناصر التى يتم تحليلها لحظياً لا يمكن أن تكون ظروف التحليل مثالية لكل العناصر ، ولا بد أن يكون هناك نوعاً من التفاضلية بينهم طبقاً لأهمية كل منهم ، ويجب الأخذ فى الاعتبار أن جميع العينات يجب أن تشعع بانتظام بواسطة شعاع متجانس من النيوترونات حتى لا تسبب العينة اضمحلالاً له ، وهذا يحدث بالطبع فى حالة العينات صغيرة الحجم حيث إن عامل الاضمحلال أو مساحة مقطع الأسر يكون صغيراً .

ويجب الانتباه إلى أن كلاً من إناء التشعيع أو أى مواد قريبة من العينة فى المفاعل يمكن أن تكون لها مساحة مقطع (احتمالية) كبيرة لإنتاج نيوترونات أو يمكن أن تغير من فيض شعاع النيوترونات المستخدمة ، وعادة ما يتم تشعيع عدد من العينات القياسية لمختلف العناصر المراد تحليلها من العينات المجهولة ، وبالطبع فإنه من الصعوبة بمكان تشعيع عدد كبير منها فى نفس الوقت للمحافظة على تماثل الظروف العملية ، ولهذا فقد اتفق على تقسيم العينات القياسية إلى مجموعات يتم تشعيها مع العينات المجهولة .

ومما سبق تتبدى أهمية عامل الوقت ومدى فيض النيوترونات من المصدر المستخدم وزمن التشعيع نفسه الذى ربما يصل فى بعض الأحيان إلى أسابيع ؛ حيث يلزم التأكد من أنه خلال تلك الفترة لن يتغير مقدار الفيض النيترونى لكى تتماثل ظروف التشعيع تماماً ، وكما سبق قوله يتم وضع عينة أو اثنتين قياسيتين مع العينات المجهولة كى تعمل ككاشف لأى تغير يحدث فى الفيض النيترونى لأخذه فى الاعتبار ، وعند تحضير عينات قياسية من كيمواويات نقية فإنه يجب تحضيرها من تركيزات تقارب تلك المراد قياسها ، وبعد ذلك وضعها فى أنابيب صغيرة من السليكات أو من مواد غير نشطة حفاظاً على دقة النتائج .

قياس النشاط الإشعاعى :

قياس الطيف الجامى يتم عادة باستخدام كاشف يتم عزله تماماً عن كل ما يحيط به حيث لا يتعامل إلا مع الشعاع الجامى المراد قياسه والخارج من العينة محل التحليل ، ويجب تحديد مكان الكاشف بالنسبة للعينة التى غالباً ما يتم وضعها فى وضع هندسى معين متماثل بالنسبة للكاشف يحقق كل هذه الاعتبارات ، ولا بد من القياس الدورى للخلفية الإشعاعية لملاحظة أى تغيير فيه لارتباط ذلك بالكميات المقاسة، وعادة ما يستخدم الرصاص المبطن بطبقات من الكاديوم والنحاس والألومنيوم لامتصاص الأشعة السينية الناتجة من الرصاص والعوازل الأخرى ، التى تتعرض للتشعيع أثناء العمل ، وعند أخذ كل هذه الاعتبارات موضع الاهتمام يكون لدينا فى النهاية مجموعة من القياسات المسجلة لطيف الجاما المستحث من العينة فى زمن معقول نسبياً ، مع الحرص بأنه فى حالة العمل لفترة طويلة فإن جهاز التكبير فى الكاشف (الخاص بالنبضة الكهربية) يحدث بعض التشوه لها ، كذلك إذا كان المصدر ذا قوة إشعاع كبيرة بحيث أن العينة ستكون على بعد معين كبير نسبياً منه فسوف تنتج هنا بعض التأثيرات نتيجة التشتت خلال هذه المسافة ، وهذه التأثيرات غير مرغوب فيها لأنها تؤثر على استمرارية الطيف الجامى بشكل سليم ومنتظم .

ولا ننسى أن العينة مهما تغيرت يجب أن تكون هندسياً فى نفس الوضع من المصدر بمعنى أن الزاوية المجسمة للعينة (يشمل حجم العينة وبعدها عن المصدر وخلافه) ، فيجب أن تكون ثابتة لكل العينات فى كل الأوقات ، وأن هذا العامل من أهم العوامل المحددة لكفاءة القياس ؛ ولهذا يجب أن نظل عوامل نظام الكشف والقياس ككل ثابتة ، وبدون تغيير فى حالة قياس كل من العينة المجهولة والعينة القياسية ، وكذلك جهاز الكاشف لا بد أن يعمل عند درجة حرارة ثابتة ، وهذا عادة ما يتم باستخدام كاشف الحالة الصلبة ، وتبريده بسائل النيتروجين ، وعدم اهتزاز النظام أثناء التشغيل ، بعد ذلك يتم تحويل النبضات الكهربية الناتجة إلى رقمية ، وهذه يتم تخزينها فى جهاز محلل النبضات كلاً طبقاً لمكانه فى قناة معينة أو عدة قنوات تخصص لكل طاقة ؛ حيث يتم التخزين فى ذاكرة محلل متعدد القنوات أو الحاسب ، ويلزم وقت مناسب كى يمكن تجميع بيانات يمكن الاعتماد عليها إحصائياً ، ولزيادة الدقة يمكن استخدام برامج جاهزة يمكن تخزينها مسبقاً فى الحاسب لتسهيل العمليات الحسابية والإحصائية .

وتوجد الآن حاسبات صغيرة يمكن عن طريقها التحكم فى كل العوامل فى نفس الوقت بالنسبة لمختلف أنواع الكواشف ولمختلف أنواع التطبيقات والتحليل المطلوب إجرائها ، ويمكن تخزين قياسات مدى كبير من الطاقة لعدد كبير من القنوات على شرائط ورقية أو مغناطيسية أو على الأقراص المرنة ، ويمكن عمل اتصال بين وحدة التشعيع ذات السعة الصغيرة نسبياً وحاسب مركزى يمكنه عمل المزيد من البرامج وتبادل المعلومات وعمل اتصالات مع مراكز بحثية أخرى .

معالجة وتفسير الطيف الجامى :

نحن نريد - فى الأصل - معلومات عن العنصر محل الاهتمام فى العينة ، إذن لا بد من قراءة هذه المعلومات من خلال رسم بيانى يعرف بالطيف الجامى غالباً ، ما يعبر عن العلاقة بين الطاقة ورقم القناة Channel number ، أو الطاقة وعدد (N) يعطى دلالة على احتمال أو كثافة وجود هذه الطاقة، وفى الماضى كانت تتم معالجة هذه البيانات يدوياً ولكن حالياً يقوم الحاسب الشخصى بعمليات كثيرة كانت تستهلك الكثير من الوقت والمجهود ، ويمكن استنتاج القيم الخاصة بطاقة كل نبضة تظهر فى الرسم باستخدام طريقة معايرة مناسبة .
وطريقة التحليل النوعى تتم بالتعرف على الطاقة الخاصة بالنبضة وشدتها النسبية مع الأخذ فى الاعتبار الخلفية الإشعاعية الموجودة .

أهم مميزات طريقة التنشيط الإشعاعى :

- ١- تعتبر طريقة اقتصادية عند الحاجة لتحليل العديد من العناصر للعينة الواحدة ومناسبة جداً لعمليات ميكنة ومعالجة البيانات .
- ٢- حساسية الطريقة عالية جداً للعديد من العناصر المهمة فى دراسات تغذية النبات والحيوان ، وفى دراسات السمية المتعلقة بالبيئة .
- ٣- تجنب تلوث العينات بالعناصر النادرة نتيجة استخدام المواد الكيميائية والطرق الكيميائية لتحضير العينة كما هو متبع فى طرق التحليل التقليدية الأخرى ، كما يمكن تجنب وإضمحلال بعض العناصر المراد معرفة كميتها الكلية دون فقد .
- ٤- يتم التعامل مع نواة العنصر مباشرة وليس مع الكثرونات التفاعل فى المدارات الخارجية لذرة العناصر كما هو متبع فى طرق التحليل الطيفى (الامتصاص الذرى والانبعث الذرى

والانبعاث الفلورنسي) ، وهى الأكثر استخداماً فى التحاليل الكيميائية، وبالتالي يمكن تجنب مشاكل التداخل Interference ، ويمكن إيجازها فى الآتى :

أ- التداخل من مادة الترابط Matrix interference .

ب- التداخل الكيميائى Chemical interference .

ج- التداخل الناتج من التأين Ionization interference .

د- التداخل الطيفى Spectral interference .

وبالرغم من المميزات العديدة لطريقة INNA فإنه يجب علينا أن نذكر عيوبها ، والتي

يمكن إيجازها فى التالى :

١- تقتضى طبيعة واقتصاديات تشعيع العينة ألا يزيد وزنها عن جرامات قليلة ، ويفضل الأقل ، ومن هنا تظهر مشكلة اختيار العينة الممثلة للتحليل ، وخاصة عند التعامل مع مادة غير متجانسة مثل عينات البيئة من مياه أو تربة أو رواسب والعينات البيولوجية.

٢- للحصول على مدى واسع من العناصر المراد تحليلها يجب أن يكون مصدر التشعيع مفاعل نووى ، وهذا غير متوفر بالقدر المناسب أو الكافى ، كما تظهر مشكلة عدم تيسر وسائل تشعيع مناسبة للعناصر ذات فترة نصف عمر تمتد ثوان أو ساعات .

٣- الحاجة للعديد من التقنيات المتقدمة الغالية لأن تحضير العينات القياسية يصاحبها غالباً بعض العوامل التى تؤثر على النتيجة ، وكذلك هناك تأثير سلبى لعدم انتظام الفيض النيترونى واختلاف الأوضاع الهندسية النسبية بين الشعاع والعينة ، كل هذا يحتاج إلى تقنيات ذات تصميم جيد وثابت وقابلية التكرار للحصول على نتائج دقيقة .

استخدامات INNA فى تحليل العناصر الكلية فى التربة :

فى العشرين سنة الأخيرة تمت العديد من الدراسات الأساسية باستخدام التشعيع النيترونى لعدد من أنواع التربة المختلفة ، ودراسة نشاط جاما المستحث منها ، ولكن هذه الدراسات ركزت على تقديم تفاصيل عملية التشعيع والأجهزة المستخدمة وتحليل طيف جاما ، ولم تقدم معلومات كافية عن تطبيقات هذه التقنية فى مختلف مجالات البحوث ، ومع تطورات الكواشف وظهور الجرمانيوم-ليثيوم قدم Salmon and Creevy عام ١٩٧١ نظام كمبيوتر للتعامل مع عينات الهواء والماء والتربة ، والتي تم تعريضها للتنشيط النيترونى ،

حيث أمكن تحليل طيف جاما الناتج باستخدام كاشف NaI(Tl) لكشف النظائر قصيرة العمر واستخدام الكاشف Ge(Li) للكشف عن النظائر طويلة العمر ، وقد أشار الباحثون إلى مشكلة عدم مرونة جهاز محلل وارتفاع النبضات فى تجميع البيانات من عدة كواشف خاصة عند الحاجة للتعامل مع عدد كبير من العينات متباينة الأصل وتحليل عناصر متعددة فيها ، وقد اقترحوا إدخال نظام التحليل بالحاسب الآلى ، وقام Kerr الإنجليزى فى عام ١٩٨٧ باستخدام التشعيع بالنيوترون الحرارى ثم تحليل الطيف الجامى باستخدام Ge(Li) ، وأظهر بيانات لأكثر من ١١ عنصر مثل : Al, Ba, Br, Ca, Cl, K, V, Ti, Mg, Mn, Na ، وباستخدام كاشف الفوتون منخفض الطاقة تم الحصول على نتائج لعناصر Co, Dy, Eu, Sm, Th, U ، كما أوضح أن وضع رقائى من الكاديوم حول العينات فى مركز التشعيع واستخدام أسلوب التشعيع الدورى (٣٠ دورة تشعيع عبارة عن ٥ ثوانى تشعيع ثم ٥ ثوانى عد) كان مفيداً فى تقدير كل من السكانيوم والسلينيوم والهافنيوم ، ولكن ظهر أن هذه الطريقة تتأثر جداً بتداخل ^{28}Al الناتج من أسر النيوترونات من النظائر الأخرى .

وفى مصر أوضح سند (١٩٧٣) أنه باستخدام نيوترونات فوق حرارية فى التنشيط النيوترونى مع استخدام مرشح من الكاديوم أمكن التعرف على أحد عشر عنصر مثل Sc, Fe, Co, Sb, Cs, Ba, Ce, Eu, Tb, Ta and Th ، وأمکن تقديرها بنجاح تام .

كما قام زغلول وآخرون (١٩٨٧) بدراسة ١٤ عينة طين مفصول من أراضي جيرية ورسوبية وصحراوية باستخدام طريقة التنشيط النيوترونى ، وتم تحليل التركيب المعدنى بتحليل طيف جاما الناتج بعد تشعيع العينات بنيوترونات المفاعل ، وتم تقدير أكثر من ١٧ عنصراً كيميائياً بالإضافة إلى Na, K, Ca ، وقد أوضحت النتائج أن عناصر As, Cs, Hf, Sp, Sc, Th, Sm, U وجدت تقريباً ثابتة بالرغم من اختلاف المنطقة أو العمق المأخوذة منه العينة على عكس عناصر أخرى مثل Cr, Ce, Li ، والتي كان لها مدى اختلافات أوسع ، وأشار الباحثون إلى الاختلاف فى مستويات العناصر فى عينات الطين مرجعه إلى العديد من العوامل منها مادة الأصل وما تحمله من معادن كذلك ظروف تكوين تواجد هذه الرواسب .

تقدير كمية العناصر النادرة فى مستخلص التربة :

دراسات قياس العناصر النادرة فى مستخلصات التربة بواسطة طريقة INAA تعتبر قليلة نسبياً بالمقارنة بكمية الدراسات المنشورة عن تقدير العناصر الكلية فى التربة ، هذا بالرغم من أن الجزء من العنصر المتبادل أو الذائب فى محلول التربة يشكل الجزء الميسر للنبات ، والذى يهتم القائمين على الزراعة لأهمية ذلك للنباتات النامية وحاجتها للعناصر الكبرى والصغرى ، والتي تمده بها التربة ، ولاستخلاص الجزء الميسر للنبات (فى التربة) من العنصر اقترحت العديد من المركبات لمحاكاة الكيفية التى يستخلص بها النبات هذه العناصر . ومن هذه الطرق الاستخلاص بواسطة حمض الخليك ولمدة ساعتين (Mitchell, 1971) وكذلك هناك محاليل استخلاص تم استعمالها مثل كلوريد البوتاسيوم وأستيات الأمونيوم ، وحديثاً استخدمت المركبات المخيلية EDTA ، وكذلك DTPA ، والتي ينصح باستخدامها فى حالة الأراضى ذات المستويات المنخفضة من العناصر النادرة ، من كل هذه المستخلصات ينصح باستخدام أستيات الأمونيوم فى طريقة INAA لتلافى أية تداخلات من العناصر المكونة لمحلول الاستخلاص مع عناصر التربة المراد تحليلها مثل Na Cl بالإضافة إلى إمكانية تحضير خلات الأمونيوم فى صورة نقية حيث يتم تشيع ٠,١-٠,٥ مل من المستخلص ، ويتم تقدير الطيف الجامى لكل عنصر كما سبق توضيحه .

فى تغذية الحيوان والنبات :

نوقش تقدير الأساسية (الكبرى والصغرى) بواسطة طريقة INAA فى بحوث علوم الحياة بتوسع بواسطة Bowen عام ١٩٦٧ ، وأصبح من المعترف به أن هذه الطريقة مناسبة عند الحاجة لمعرفة العديد من مستويات العناصر المختلفة فى العينات النباتية أو الحيوانية ، كما بين Rahman عام ١٩٧٢ أهمية طريقة INAA فى تقدير العناصر المغذية الصغرى فى البحوث المهمة بعلاقات الأرض والنبات ، قدم Johansen and Steimes عام ١٩٧٢ دراسة عن استخدام INAA على عينات أرضية والمادة الجافة للنبات ، والتي تركت بعد التشيع لمدة ٤ أسابيع قبل قياس ^{60}Co باستخدام كاشف [Na(Ti)] . وكان معدل الانحراف القياسى لبيانات عينات التربة حوالى ٧,٢% بينما كانت للنبات ٦% (على أساس مكررات مزدوجة لـ ١٤ عينة لكل نوع) ، وقد أشار الباحثون أنه إذ لم تكن هناك حاجة ملحة لسرعة تحليل العينات فيمكن

تبريد العينات لفترات فإن هذه الطريقة تناسب تحليل أعداد كبيرة من العينات المختلفة وبدقة عالية .

وفي مصر قام عوض الله وآخرون (١٩٨٦) بتقدير عناصر Al, Br, Ca, Ce, Co, Mg, Mn, Na, Rb, Se, Sb, Cr, Cs, Eu, Fe, K, La, Zn بواسطة INAA ومقارنتها بطريقة الامتصاص الطيفي الذري (ICP and Flameles AAS) لعينات الباذنجان والبطاطس والفلفل الأخضر والتفاح والخس ، وكذلك لعينات تربة فى محافظة أسوان .

ومن أهم الموضوعات فى مجال تغذية النبات والحيوان موضوع العلاقات المتبادلة بين العناصر لأن الزيادة فى عنصر معين قد تؤدى إلى خفض أو إحداث نقص فى عنصر آخر داخل النبات أو الحيوان (أمثلة : حديد/منجنيز ، نحاس/موليبدينم ، كادميوم/زنك....الخ) ، وفى هذا الخصوص وباستخدام طريقة حساسة مثل INAA فإن تحليل التربة وعينات النبات أو الحيوان قد تساعد كثيراً فى تشخيص أثر تداخل هذه العناصر مع بعضها، على سبيل المثال قام عبد الصبور وعبد الشافى (١٩٨٩) باستخدام INAA فى الكشف عن الأثر المتبادل لعنصرى Cd, Zn على محتوى سوق نبات الذرة من Zn, Cd, Fe, Co, Cr ، وقد ظهر أن عنصر الكادميوم له تأثير سالب على محتوى النبات من Fe, Co, Cr فى حين أن إضافة Zn أدت إلى تأثير موجب على محتوى النبات من Cr, Co, Zn وقللت من تراكيز Cd, Fe فى سوق الذرة .

دراسات تلوث البيئة :

تم - وبتوسع - استخدام طريقة INAA فى تقدير مدى تلوث التربة سواء من محطات القوى - المناجم - معامل التكرير وتنقية المعادن - إلقاء المخلفات الصناعية ، ومن حين إلى آخر تتم كثير من الدراسات على الغلاف الجوى أو المائى باستخدام هذه التقنية بهدف التحديد الدقيق للواقع البيئى لأى نشاط إنسانى (زراعى- صناعى - بيئى) ، فمثلاً إضافة سماد المجرى للأراضى الزراعية للتخلص منه من ناحية واستعماله كسماد من ناحية أخرى قد يؤدى إلى مشكلة بيئية بسبب تزايد محتوى التربة من العناصر الثقيلة والموجودة فى خبث المجرى ، والتي قد تتراكم فى التربة وتصبح سامة للمحاصيل النامية ثم انتقالها إلى سلسلة

الغذاء ، والتي تؤثر عاجلاً أو آجلاً على الإنسان كذلك احتمالات تلويث المياه الجوفية وتأثر مياه الشرب بها .

فكل هذه المشكلات تتطلب تحليل العديد من العناصر وبالتالي استخدام تقنية للتحليل متعدد العناصر ، قام Weaver وآخرون عام (١٩٧٤) بتقدير العناصر فى خبث المجارى فى ستة مدن فى ولاية نورث كالورينا بواسطة طريقة INAA ، وأمكن تقدير العناصر Se, Sb, Hg, Fe, Cr, Co ، واقتراح الباحثين أنه يمكن الكشف عن Ag, Sn, Zn ولكن بعد فترة تبريد طويلة ، واستخدام الباحثين كواشف جاما وكواشف الأشعة السينية فى هذه الدراسة ، وفى اليابان كان لتلوث بعض الأنهار بعنصر النحاس تأثير ضار على نمو المحاصيل ، لذا تم استخدام طريقة INAA لتقدير النحاس فى أنسجة النبات والتربة ومحلول التربة باستخدام فيض نيوترونى $^{110} \times 5$ نيوترون/سم²/ثانية ، ولمدة خمسين ساعة تبريد ثم تحليل طيف جاما الناتج .

وفى مصر قام عبد الصبور وآخرون (١٩٨٨) باستخدام طريقة INAA فى دراسة تأثير استخدام مياه المجارى فى مزرعة الجبل الأصفر على تراكم العناصر الثقيلة فى التربة والنباتات النامية ، وقد أوضحت النتائج تراكم العناصر الثقيلة Zn, Fe, Co, Cr, Sc, Cd مع زيادة فترات الري بمياه المجارى خاصة فى الأراضى ثقيلة القوام ، ولكن كانت مستويات هذه العناصر فى أوراق النباتات النامية فى حدود المسموح به .

ولدراسة تأثير النشاط الإنسانى على تلوث التربة تم تحليل عينات للتربة بمناطق زراعية وصناعية وسكنية (عبد الصبور وآخرون ١٩٧٧) ، وفى هذه الدراسة تم اختيار أراضى من مناطق مختلفة ، تم أخذ ثلاث عينات ممثلة من : أراضى رسوبية فى مصر العليا ، محافظة قنا تمثل الأرض الزراعية ، ومن المحلة بجوار مصانع النسيج تمثل التلوث الصناعى ، وعلى جانبى ترعة الزمر تمثل التلوث بالمخلفات الصلبة فى منطقة سكنية ، وأيضاً عينتين من تربة رملية من أبو زعبل الأولى بدون إضافة ملوثات عضوية والثانية بعد إضافة ملوثات عضوية .

أوضحت النتائج أن تقنية التنشيط النيوترونى ذات فائدة عالية فى الكشف عن هذه العناصر النادرة فى الأراضى للتقييم البيئى علاوة على ذلك ظهر أن نوع الأنشطة القائمة على

الأرض تؤثر حتماً على محتواها من العناصر الثقيلة، ولهذا يجب الاهتمام بعمل مسح دورى لمستويات العناصر الثقيلة وتراكمها فى مثل هذه الأراضى لتفادى حدوث التلوث البيئى ، كما أوضحت أن أهم العناصر ذات الوقع البيئى مثل الزرنيخ والكاديوم والزنبق قد تتراكم خاصة فى التربة المعرضة للمخلفات الصناعية والعضوية .

كما تم دراسة الملوثات البيئية فى بعض المجارى المائية مثل مجرى النيل وبعض الترع والمصارف عن طريق نبات ورد النيل (عبد الصبور وآخرون ١٩٩٦) ، وفى هذا البحث تم أخذ عينات من ورد النيل من ثلاث مجارى مائية مختلفة من مجرى النيل وترعة الإسماعيلية ومصرف زراعى ، وذلك لتقدير مستويات بعض العناصر الضارة للنبات والعناصر الأرضية النادرة ، وذلك لبحث إمكانية استخدام نباتات ورد النيل كدليل حيوى لتلوث البيئة المائية ، ومن نتائج هذا البحث : أن عينات ورد النيل المأخوذة من المصرف الزراعى كانت تحتوى على كميات أكبر من عناصر الأسترنشيوم والفانديوم والزنبيخ والانتيمون والفسفور والبورون واليود سواء فى الساق أو الجذور ، وقد وجد أن طريق التنشيط النيوترونى الفورى كانت حساسة ومناسبة للقياسات متعددة العناصر فى العينات البيئية ، كما وجد أن نباتات ورد النيل يمكن استخدامها كدليل حيوى حساس للتلوث بالعناصر الثقيلة والنادرة من المجارى المائية .

وأيضاً تم دراسة الملوثات المختلفة وتقديرها فى بحيرة التمساح (رسالة ماجستير تحت إشراف المؤلف) بمنطقة قناة السويس ؛ حيث أن بحيرة التمساح من البحيرات المهمة فى مصر لموقعها المتميز لوقوعها على مجرى قناة السويس ويوجد على شاطئى البحيرة عدة مصادر للتلوث مثل ورش شركة المقاولون العرب لإصلاح السفن ، وورش التمساح وورش إصلاح الكراكات ومصرف الفرسان وغيرها .

وكان هدفنا هو تقدير تركيز العناصر النادرة والشحيحة فى رسوبيات البحيرة واستنتاج العلاقة بين بعضها البعض وكذا العلاقة بينهما وبين مواقع التلوث المختلفة وذلك لإيجاد طريق وأسلوب للتحكم فى التلوث ، ثم اختيار سبعة مواقع مختلفة على البحيرة ، وتم أخذ عينات ممثلة على بعد عشرة أمتار حول الموقع فى خلال سنة كاملة من صيف ١٩٩٥ إلى ربيع ١٩٩٦ ، وأيضاً تم أخذ عينات رسوبيات من القاع عند مركز البحيرة وجميع هذه العينات كانت على عمق ٥٠ سم من أسفل قاع البحيرة .

وتم إعداد العينات (تجفيف - طحن - تعقيم) وأخذ ١٠٠ جرام من كل عينة وتم تغليفها في شريحة من الألومنيوم . وبدأ عملية تشيع العينات ، تم إجراء دراسة عن علاقة ارتباط بين العناصر وبعضها البعض ، وكذلك بين المواقع المختلفة الملوثة للبحيرة وبعضها البعض ، وأتضح وجود ارتباط معنوي بينهما باستخدام برنامج تحليل رياضي ، وأعطت النتائج إمكانية التنبؤ بمستويات تركيز العناصر السامة والنادرة داخل البحيرة بمعلومية التركيز عند المواقع المسببة للتلوث ، وعن طريق أخذ عينة من مركز البحيرة استطعنا التعرف على التركيزات المقابلة عند المواقع المسببة للتلوث .

كذلك تمت عدة دراسات على التلوث في المجال الزراعي من أسمدة مستخدمة في السوق المحلي من أسمدة عضوية وحيوية مختلفة .

وقد تم تحليل ٤ أنواع من الأسمدة الحيوية (عبد الصبور وآخرون ١٩٩٧) تلك المستخدمة بكثرة في مصر وهي نترولين ، رايزويكترين ، سيريلين ، وهي مثبتات للنتروجين والنوع الرابع فوسفورين ، وهو مذيب للفوسفور ، وتم دراسة هذه الأنواع باستخدام PGNA ، وتم تقدير ٢٣ عنصراً ، وتعيين تركيزاتهم ، ومعرفة العناصر السامة والضارة فيهم .

وكذلك تم دراسة وتحليل السماد العضوي ، أخذت عينات من الأسمدة البلدية وأسمدة القمامة وأسمدة فضلات المجارى وخليط من القمامة والفضلات بنسب متساوية ، وقد أكدت لنا النتائج عن وجود بعض العناصر الضارة وغير المرغوب فيها ، والتي تؤثر على البيئة باستخدام بعض الأسمدة العضوية مما قد يؤدي إلى تراكم بعض العناصر السامة مثل Cr, Sc, Sb, Th في التربة ، ونتيجة لذلك سوف يتحول إلى جسم الإنسان عن طريق الأغذية، وكذلك تم دراسة تأثير الأسمدة العضوية المختلفة المضافة للتربة على النباتات مثل الذرة والسهم .

وفي هذا البحث تم دراسة حبوب محصولية (سهم وذرة) نامية على تربة ملوثة بمصادر عضوية مختلفة مثل سماد المجارى وسماد القمامة عند ثلاث مستويات للتركيز [٤، ٦، ٨%] ، وأوضحت النتائج أن زيادة مستويات المخلفات العضوية في التربة أدت إلى زيادة تراكيز العناصر الثقيلة في حبوب النبات مثل (الحديد - الزنك - الكوبلت - الكروميوم - السكندنيوم - الزئبق) ، وكانت بذور السهم تحتوى على تركيزات أعلى من حبوب الذرة في

معظم الحالات . كما أدت إضافة سماد القمامة إلى احتواء الحبوب على مستويات أعلى من العناصر الثقيلة بالمقارنة بمعاملة سماد المجارى .

ومن هذه النتائج نجد خطورتها على صحة الإنسان ؛ حيث يمكن انتقال هذه المعادن الثقيلة من التربة إلى النبات ، أو الحيوان ومنه إلى الإنسان ، وهى ما يسمى بسلسلة الغذاء ولهذا يجب قياس مستويات المعادن الثقيلة فى أنواع الغذاء المختلفة دورياً (منتجة محلية أو مستوردة) .

كذلك تم استخدام أسلوب التنشيط النيترونى فى دراسة بعض العينات الصناعية التى يكون لاستخدامها بعض الانعكاسات والمردودات البيئية مثل دراسة بعض أنواع من السجائر المستوردة والمحلية وانعكاساتها على صحة الإنسان بما تسببه من ملوثات مختلفة .

وقد وجد بصورة عامة أن تركيزات العناصر عالية فى النوع المحلى عنها فى الأنواع المستوردة . كذلك تم حساب انتقال Br إلى الإنسان فوجد أنها ٧١,٥% فى النوع المحلى بينما كانت قيمته ٥٦,٨% فى النوع المستورد من السجائر تحت الدراسة ، وكان انتقال الكوبالت بنسبة ٢٥% يتميز بأنه عالى جداً فى المستورد عنه فى المحلى (حوالى ٥ مرات) ، وهذا من الخطورة بمكان ارتباط هذه العناصر بانتشار سرطان الرئة . وكان انتقال الانتيمون عالياً فى النوعين حيث يقع بين ٤٠-٥٠% ، وهذه النسبة عالية لزيادة مقدار سمية هذا العنصر .

ومن الدراسة نستطيع أن نستخلص أن تعاطى السجائر عند المدخنين يسبب دخول عناصر عالية السمية إلى جسم وأجهزة الإنسان سواء أكانت مستوردة أم محلية علماً بأن نسبة العناصر السامة فى النوع المحلى أعلى منها فى النوع المستورد وإذا قارنا هذا بزيادة المدخنين للنوع المحلى لوضحت خطورتها على صحة عدد أكبر من المدخنين والمرافقين لهم من غير المدخنين .

من كل ما سبق يمكن إجمال القول فى أن تتبع المحتوى البيئى من ناحية الملوثات المختلفة ومصادرها ومسبباتها بأسلوب تقنى عالى الحساسية يكون له المردود الطيب فى تجنب الكثير من التداعيات الخطيرة على البيئة وبالتالي على الإنسان الذى هو أعلى وأثمن ما فى الوجود .

المراجع :

- 1- Abdel-Haleem, A.S., M.F. Abdel-Sabour and R.A. Zajhloul, Proc. of Environ. Contam., CEP Consultants Ltd., UK, PP. 263-265 (1992) .
- 2- Abdel-Sabour, M.F., and H. Abdel-Shafy, Environ. Prot. Engi., Warrsow, Poland, Vol. 16 (1) : 13-23 (1990) .
- 3- Abdel-Soubour, M.F., W. Sand, M.A. Massoud, A.F. ElKholi, Proc. first National Conf. on Environ. Studies and Res., Cairo Egypt, (1) : 679-684 (1988) .
- 4- Awdallah, R.M., M.K. Sherif and A.H. Amrallah, J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles. 98 (2) : 235-246 (1986) .
- 5- Bowen, H.J.M., in Nuclear Activation techniques in life Sci. TAEA, Vienna (1967) .
- 6- El-Kholi, A.F., A.A. Hamdy, A.T. Al-Metwally and A.H.El-Damaty, Arab. J. Nucl. Sci. Appl. 9 (1) : 1-9 : (1976) .
- 7- Fengxiang, C., Z. Jiamrhoul, L. Deshao and L. Huing Nucl. Tech. 10 (7) : 29-32 (1987) .
- 8- Iskander, F.Y., Environmental pollution (Series B) 11 (1986) : 291-301 .
- 9- Iskander, F.Y., and A.Askar ERNAHRUNG/Nutrition, Vol. 11 / NR . 11,(1987) .
- 10- Johanesen, O. and E. Strinnes, Acta Agric. Scand., 22 : 104, (1972) .
- 11- Kerr, S.A., Ph. D. Thesis, Part, Univ., Surrey, England, (1978) .
- 12- Mc, Neilly, J. H. and E. Eichler, Tech. Report CWLR, 2299, U.S Army Chemical center, Maryland, (1959) .
- 13- Mickown, D., M. Kay, D. Gray, A. Abu-Samra, E. Eichor and J. Vogt, in Nuclear Methods in Environmental Research, (J.R. Vot, T. E. Parlinson and R.L. Carter, Eds) Univ. Missouri, Columbia, 1971, p. 150 .
- 14- Mitchl, R.L., in Trace Elements in soils and Crops, MAFF Tech., Bull. 21 Hmso, London (1971) .
- 15- Fahman, S.M., Nucl. Sci., Applicat., 6 : 42 (1972) .
- 16- Salmon, L. and P.A. Cawse In K.A. Smith (ed) Soil Analysis, Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 327 .