الملخص العربي

عنوان الرسالة :

"دراسات تحليلية لتقدير بعض العناصر بإستخدام الكروماتوجرافيا الأيونية والقياسات النووية"

تهدف هذه الرسالة إلى تقدير وتقويم مستوي النشاط الإشعاعي للنظائر المشعة ذات الوجود الطبيعي (اليورانيوم والثوريوم والراديوم) في مياه الشرب المعبأة والمياه المنزلية, التي تم تجميعها من مصادرها المنتشرة في جمهورية مصر العربية. كما تهدف الرسالة إلي تحديد الخصائص الفيزيائية وطبيعة وتركيز المركبات الكيميائية فى عينات المياه المختبرة التى قد يكون لها تأثير وأضح في سلوك و توزيع النظائر المشعة الطبيعية فى مياه الشرب وكما تحتوي الرسالة علي تطوير طرق تحليل وقياس بعض العناصر الثقيلة مثل الرصاص ، النحاس ، الكادميوم ، الكوبالت ، الزنك والنيكل في عينات المياه بإستخدام جهاز الكروماتوجرافيا الأيونية وتنقسم الرسالة إلي ثلاثة فصول رئيسية ،المقدمة وتشمل ما سبق دراسته في هذا المجال والجزء العملي ويتضمن وصف جميع الأجهزة و الطرق المستخدمة كما يحتوي الفصل الثالث علي النتائج ومناقشتها

الفصل الأول : المقدمة

يتناول هذا الفصل جزئيين أساسيين, حيث يشتمل الجزء الأول علي سبل تطور طرق الفصل الكروماتوجرافى مع سرد الأسس النظرية التي يتم الأعتماد عليها للوصول إلي أفضل الظروف المناسبة للفصل وإستخدامها في تحليل وقياس العناصر تحت الدراسة , كما يتضمن ما تم نشره من أبحاث متعلقة بفصل وتقدير الكاتيونات والأنيونات الشائعة مثل الصوديوم ،البوتاسيوم ،الماغنسيوم، الكالسيوم، الكلوريد و الكبريتات وكذلك يحتوي علي موجز لما نشر في مجال فصل وقياس الفلزات الثقيلة.

ويشتمل الجزء الثاني علي سلاسل الانحلال للعناصر المشعة ذات الوجود الطبيعي مثل اليورانيوم- ٢٣٨ ، اليورانيوم-٢٣٥ والثوريوم-٢٣٢ و على نبذة مختصرة عن مصادر ودورة الراديوم في الطبيعة وكذلك توزيع وسلوك الراديوم في المياه السطحية والمياه الجوفية فى أماكن مختلفة من العالم طبقا لما جاء في دراسات سابقة وأخيرًا مسح شامل لطرق قياس وتقدير النظائر المشعة الطبيعية في مياه الشرب مختلفة المصادر التي تم نشرها .

الفصل الثاني : الجزء العملي

تم التعريف في هذا الفصل بالمواد والنظائر المشعة المستخدمة في التجارب المعملية والخطوات العملية لتحضيرها, كما اشتمل علي خريطة توضح أماكن إنتاج وتجميع عينات مياه الشرب موضوع الدراسة. ويحتوي هذا الفصل أيضا على طرق تعيين الخواص الفيزيائية لعينات المياه وتشمل رقم الأس الهيدروجيني pH ، كمية المواد الصلبة الذائبة TDS والتوصيلة الكهربائية conductivity. كما يشتمل على وصف تفصيلى للأجهزة المستخدمة وتحديد السبل المناسبة لتشغيل جهاز الكروماتوجرافيا الأيونية المتطور مع تحديد النوع والموديل المستخدم والمكونات الأساسية له ومواصفاتها الدقيقة ونظرية عملها وكذلك طرق قياس الكاتيونات والأنيونات الأساسية والمعادن الثقيلة مشتملة علي وصف دقيق لطرق تحضير سوائل الفصل والعناصر القياسية وكذلك تحديد مدى التركيز المستخدم في عمل منحنيات المعايرة .

واخيرا تم عرض طرق القياسات النووية المستخدمة متضمنا تركيب وتشغيل ومعايرة جهاز الأطياف النووية لأشعة جاما لتعيين مستوى النشاط الإشعاعي لكل من اليورانيوم-٢٣٨ والثوريوم-٢٣٢ وجهاز الأطياف النووية (ذات السائل الوميضى) لتعين كلا من الراديوم-٢٢٦ والراديوم-٢٢٨، مع تناول طرق الفصل والحساب المستخدمة في تقدير المستوي الإشعاعي للنظائر المختلفة.

الفصل الثالث :النتائج ومناقشتها

يحتوي هذا الفصل علي النتائج ومناقشتها ومقسم إلي ثلاثة أجزاء :

الجزء الأول:

فى الجزء الأول من هذا الفصل تم قياس الخواص الفزيائية والتركيب الكيميائي لمياه الشرب المعبأة المتوفرة تجاريا في السوق المصرى وكذلك بعض عينات مياه الشرب المنزلية المجمعة من مصادرها المختلفة و التى تشمل عينات (سيوة ، أكوا سيوة ،حياة وصافي) من منطقة سيوة بالصحراء الغربية و عينات مياه (دلتا ، أكوا ، شويبس و طيبة) من منطقة مدينة السادات بغرب الدلتا ثم عينات مياه (بركة) من كفر الأربعين بالقرب من مدينة بنها ومياه (مينرال) من منطقة صحراء بلبيس بشرق الدلتا. وأخيرا عينات المياه المنزلية المجمعة من مناطق القاهرة وإنشاص وبنها.

أ-الخواص الفزيائية

نتائج متوسط قيم الخواص الفيزيقية (رقم الأس الهيدروجينى، كمية المواد الصلبة الذائبة (TDS) ، التوصلية الكهربائية و قاعدية الماء فى صورة بيكربونات) يمكن تلخيصها كالأتى:

أماكن العينات	HCO_3^-, mg/L	TDS, mg/L	EC, µ S	pH
منطقة الصحراء الغربية				
منطقة سيوة	١٢±٩٠,٨١٢	٤٤±٢١٥,٥	٤٠±٢٥٣,٥	٠,١±٨,٤
منطقة غرب الدلتا				
مدينة السادات	١٧±١٧٢,٧	٦١±٢٦٧,٥	٢٨±٣٠٩,٥	٠,٢±٨,٣
منطقة شرق الدلتا				
بنها- بلبيس	٧٥±١٤٥,٢	٦,٠±٣٧٣	٣٧±٤٣٩,٥	٠,١±٨,٢
المياه المنزلية				
القاهرة وإنشاص وبنها	٩,٦±١٢٧,٧	١٣±٢٢٧,٣	١٦±٢٨٠,٣	٠,٢±٧,٦

ب-التركيب الكيميائي

نتائج متوسط تركيز أيونات الصوديوم ، البوتاسيوم ، الماغنسيوم و الكالسيوم وأنيونات الكلوريد والكبريتات، بالمليجرام/لتر، كما يلى:

أماكن العينات	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
منطقة الصحراء الغربية						
واحة سيوة	٦,٦±١٨,٠	٤,٣±٢٧,٧	٣±١٠,٧	١,١±١٠,٠	٢±٢٠,٨	٣,٦±٣٤,٦
منطقة غرب الدلتا						
مدينة السادات	٤,٩±١٨,٧	١٠,١±٢٤,٣	٧,٥±٢٥,٩	١,١±١٢,٩	٠,٨±٥,٠	٣,٦±٣٥,٩٦
منطقة شرق الدلتا						
بنها- بلبيس	٥,٥±٥٠,٧	٤٥,٢±٨٩,٣	١,٢±٣٩,٩	٥,٤±١٩,٦	٠,٤±٥,٤	٧,٢±٤٨,٩
المياه المنزلية						
القاهرة وإنشاص وبنها	٧,٣±٤٥,٢	٣,٨±١٦,٩	٠,٨±٢٨,٥	٠,٥±١١,٥	٠,٢±٥,٧	٢,٥±٢٩,٩

تفيد كل نتائج تحاليل المياه سواء للخواص الفيزيقية أو للتركيب الكيميائي أنها فى حدود المسموح به طبقا للمواصفات القياسية المصرية أو الحدود المدونة لمختلف المنظمات الأجنبية و الدولية.

الجزء الثانى:

يشتمل هذا الجزء على تطوير طرق فصل وقياس العناصر غير الأساسية من المعادن الثقيلة مثل الرصاص ، النحاس ، الكادميوم ، الكوبالت ، الزنك و النيكل باستخدام جهاز الكروماتوجرافيا الأيونية المتصل بنظام قياس الامتصاص الضوئي في مدى الأشعة المرئية والأشعة فوق البنفسجية وباستخدام عمود الفصل (IonPac-CS٥) و عدد من محاليل الفصل المختلفة مثل حمض الأكساليك ، أكسالات الصوديوم ,أكسالات البوتاسيوم وأكسالات الأمونيوم لفصل أيونات المعادن الثقيلة تحت الدراسة وذلك بتغيير قيم رقم الأس الهيدروجيني و تركيز وسرعة سريان محاليل الفصل المستخدمة طبقا لما يلى:

أ- تأثير الأس الهيدروجيني:

تم دراسة تأثير تغيير الأس الهيدروجيني على زمن إستبقاء أيونات العناصر الثقيلة على عمود الفصل عند استخدام محاليل الفصل المختلفة, وجد أن قيم أزمنة الإستبقاء تقل بسرعة وذلك بزيادة قيم رقم الأس الهيدروجيني للمحاليل المستخدمة, كما يؤدى تغيير قيم الأس الهيدروجيني إلى تغير واضح في ترتيب إزاحة أيونات العناصر المفصولة . وقد تم تحديد أفضل قيم الأس الهيدروجيني التى تمكن من فصل أيونات العناصر الثقيلة موضوع الدراسة بالمحاليل المستخدمة ووجد أنها تتراوح بين ٤,٥ إلى ٥,٠ .

ب- تأثير تركيز محاليل الفصل:

تم دراسة تأثير تركيز محاليل الفصل على كل من معامل الإستبقاء وعدد الألواح النظرية لأيونات العناصر الثقيلة موضوع الدراسة باستخدام محاليل الفصل المختلفة وقد تمت هذه التجارب عند أس هيدروجيني ثابت هو ٤,٥ ومعدل سريان ٠,٧٥ ملى/دقيقة, و تبين أن قيم معامل الإستبقاء لأيونات المعادن الثقيلة تقل بزيادة تركيز محاليل الفصل و أن معامل الإستبقاء لمحاليل حمض الأكساليك أكبر من أكسالات الأمونيوم ثم أكسالات البوتاسيوم فأكسالات الصوديوم الذي يبدو من النتائج أن لهم نفس القيم تقريباً .

ويرجع انخفاض معامل الإستبقاء مع زيادة تركيز محاليل الفصل إلى زيادة درجة التحلل مما يؤدي إلى زيادة أنيونات الأكسالات التي تزيد من درجة الارتباط والتراكب مع أيونات المعادن تحت الدراسة. وتبين أن أفضل معامل إستبقاء وعدد الألواح النظرية يكون في مدى تركيز من ٦٠ إلى ٨٠ مللي مولر لكل محاليل الفصل .

ت- تأثير معدل السريان لمحاليل الفصل:

تم دراسة تأثير معدل سريان محاليل الفصل المختلفة على كل من عدد الألواح النظرية وعلى معامل الإستبقاء لأيونات المعادن الثقيلة تحت الدراسة عند رقم أس هيدروجيني ٤,٥ وتركيز ٨٠ مللي مولر . بالنسبة لتأثير معدل السريان على معامل الإستبقاء وجد أنه لا يتأثر بتغير معدل السريان لأيونات الرصاص ، النحاس ، الكادميوم، الكوبالت ، الزنك والنيكل لكن هناك اتجاه واضح عند مقارنة القيم للمحاليل المختلفة حيث وجد أن حمض الأكساليك اكبر من أكسالات الأمونيوم ثم أكسالات البوتاسيوم فأكسالات الصوديوم .

وبالنسبة لتأثير معدل السريان على عدد الألواح النظرية وجد أن عدد الألواح النظرية تقل بانتظام بزيادة معدل السريان لكل المحاليل المستخدمة ولكن لا يوجد اتجاه أو ترتيب ثابت عند مقارنة محاليل الفصل المختلفة مع بعضها. ووجد أن الرصاص يملك أكبر عدد من الألواح النظرية تتراوح بين ٧٥٠ : ١٨٠٠ بينما النيكل يملك أقل عدد ويتراوح بين ٤٠٠ : ٧٠٠. و أظهرت النتائج أن محاليل أكسالات البوتاسيوم لها أكبر قيم لأعداد الألواح النظرية لكل من أيونات الرصاص ، النحاس ، الكادميوم والكوبالت مما يشير إلى أنها تمتلك قوة فصل أفضل بالمقارنة بباقي المحاليل المستخدمة ووجد أن أفضل معدل سريان لكل المحاليل يتراوح بين ٠,٧٥ : ١,٠ ملى/دقيقة

و أخيرا و فى ضوء الدراسة التفصيلية يمكن القول أن:

تم فى هذه الراسة تقديم ثلاث طرق مختلفة تميزت بالسرعة و الدقة لفصل و تقدير عناصر الرصاص، النحاس ، الكادميوم ، الكوبالت ، الزنك و النيكل بإستخدام كلا من أكسالات الأمونيوم , أكسالات البوتاسيوم وأكسالات الصوديوم كسوائل فصل و كبديل لسائل الفصل المدون سابقا و المعتمد على إستخدام حمض الأكساليك. أيضا أثبتت النتائج أن النظام المستخدم فيه أكسالات البوتاسيوم هو الأفضل حيث نجح فى فصل جميع أيونات العناصر الثقيلة بأقل درجة من التداخل و فى وقت قصير عند تركيزات مختلفة تتراوح من ٦٠ إلى ٨٠ ملى مولر.

الجزء الثالث:

تم فى هذا الجزء تقديم دراسة متكاملة لتقدير العناصر الطبيعية ذات الخواص الإشعاعية والتي تتمثل في عناصر اليورانيوم–٢٣٨ ، والراديوم–٢٢٦ ، والثوريوم–٢٣٢ ، والراديوم–٢٢٨. حيث تم قياس كل من اليورانيوم والثوريوم باستعمال جهاز الطيف النووي لإشاعة جاما (HPGe) ، بينما تم استخدام جهاز الأطياف النووية (ذات السائل الوميضي) لقياس كل من الراديوم–٢٢٦ والراديوم–٢٢٨ في مياه الشرب المعدنية والمنزلية المجمعة من مصادرها المختلفة .

١- تم في هذا الجزء دراسة تأثير الخواص الفيزيائية والتركيب الكيميائي لمياه الشرب على مستوى النشاط الإشعاعي لنظائر الراديوم ووجد أن مستوى النشاط الإشعاعي يقل بزيادة المواد الصلبة الذائبة(TDS) في المدى من ١٦١ إلى ٣٧٩ ملليجرام/لتر. كما يقل بزيادة قيم الأس الهيدروجيني في المدى من ٧,٣٨ إلى ٨,٤٩ ، هذا بالنسبة للخواص الفيزيائية . بينما وجد أن مستوى النشاط الإشعاعي لا يتأثر كثيرا بوجود أنيون الكبريتات في المدى الممتد من ١١,٨ : ٥٦,٢ ملليجرام/لتر .كما وجد أن تأثير أنيون الكلوريد على النشاط الإشعاعي لنظائر الراديوم محدود للغاية في المدى الممتد من ١١,٦ : ٤٤,٣ ملليجرام/لتر ، بينما يزداد النشاط الإشعاعي بصورة بسيطة بزيادة تركيز أنيون البيكربونات في المدى من ٦٩,٨ : ٢٢٠,٤ ملليجرام/لتر, أما بالنسبة لتأثير وجود كاتيون الكالسيوم وجد أن النشاط الإشعاعي لنظائر الراديوم يزداد بزيادة التركيز وذلك لتأثيره على عملية الامتزاز التى تتم على أسطح المواد الصلبة الموجودة في مصادر المياه المختلفة حيث يتنافس الكالسيوم مع الراديوم فى هذه العملية .

٢- تم أيضا دراسة الاتزان المتناهي (secular equilibrium) وذلك بتحديد العلاقة بين التظائر الأبوية ونواتج تحللها, وقد وجد بصورة عامة أن المستوى الإشعاعي لنواتج الإضمحلال مثل الراديوم–٢٢٦ أكبر من المستوى الإشعاعي لليورانيوم-٢٣٨ وكذلك المستوى الإشعاعي للراديوم-٢٢٨ أكبر من المستوى الإشعاعي للثوريوم-٢٣٢ بنسبة تتراوح بين ٠,٠ - ٣,٧٠٢ للراديوم-٢٢٦ واليورانيوم-٢٣٨ ومن ٠,٠ – ١٠,٠٥٥ للراديوم-٢٢٨ والثوريوم-٢٣٢ . وكذلك تم دراسة النسبة بين الراديوم-٢٢٦ والراديوم-٢٢٨، و وجد أنها تزيد في كل العينات عن الواحد الصحيح نتيجة لزيادة نسبة الراديوم-٢٢٦ عن الراديوم-٢٢٨ فيما عدا العينات المنتجة في منطقة شرق الدلتا وتشمل بركة ومينرال حيث وجد أن نسبة الراديوم-٢٢٨ إلى الراديوم-٢٢٦ أكبر من الواحد الصحيح وذلك لزيادة النشاط الإشعاعى للراديوم-٢٢٨ عن النشاط الإشعاعى للراديوم-٢٢٦.

٣- أخيرًا تم حساب الجرعات الإشعاعية السنوية الناتجة من تنا ول مياه الشرب المختلفة المحتوية على كل من الراديوم-٢٢٦ والرديوم-٢٢٨ و تدوينها مع نتائج قياس مستوى النشاط الإشعاعي لكل من اليورانيوم-٢٣٨ ، الثوريوم-٢٣٢ ، الراديوم-٢٢٨ والراديوم-٢٢٦ فى الجدول التالى.

العنصر المشع	مستوى النشاط الإشعاعى, بيكريل/لتر				الجرعة السنوية, ملليسيفرت/سنة	
	يورانيوم-٢٣٨	راديوم-٢٢٦	ثوريوم-٢٣٢	راديوم-٢٢٨	راديوم-٢٢٦	راديوم-٢٢٨
إسم العينة						
مياه شرب معبأة من منطقة واحة سيوة بالصحراء الغربية						
سيوة	٠,٥٦٠	٠,٨٠٠	٠,١٣٥	٠,٠٠٠	٠,١٦١	٠,٠٠٠
أكواسيوة	٠,٤١٠	٠,٧٩٠	٠,٠٨٩	٠,٣٠٠	٠,١٥٩	٠,١٤٩
حياة	٠,٣٩٠	٠,٤٧٠	٠,١٣٨	٠,٣٤٠	٠,٠٩٥	٠,١٦٩
صافى	٠,٤٠٠	١,٠٩٠	٠,١٢٦	٠,٥٧٠	٠,٢٢٠	٠,٢٨٣
المتوسط	٠,٤٤٠	٠,٧٨٨	٠,١٢٢	٠,٣٠٢	٠,١٥٩	٠,١٥٠
مياه شرب معبأة من منطقة مدينة السادات بغرب الدلتا						
دلتا	٠,٢٦٠	٠,٠٠٠	٠,١٣٥	٠,١٥٠	٠,٠٠٠	٠,٠٧٥
أكوا	٠,٣٨٠	١,١١٠	٠,١٢٧	٠,٨٩٠	٠,٢٢٤	٠,٤٤٢
شويبس	٠,٣٤٠	٠,٨٣٠	٠,١١٤	٠,٦٢٠	٠,١٦٧	٠,٣٤٣
طيبة	٠,٤٥٠	١,٧٤٠	٠,٠٧٠	٠,٢٢٠	٠,٣٥١	٠,١٠٩
المتوسط	٠,٣٦٠	٠,٩٢٠	٠,١١٢	٠,٤٨٧	٠,١٨٦	٠,٢٤٢
مياه شرب معبأة من منطقة شرق الدلتا (مدينتي بنها و بلبيس)						
بركة	٠,٣٣٠	٠,٦٥٠	٠,٠٩١	٠,٩١٠	٠,١٣١	٠,٤٥٢
مينرال	٠,٢٣٠	٠,٢٢٠	٠,١٥٦	٠,٦٤٠	٠,٠٤٤	٠,٣١٨
المتوسط	٠,٢٨٠	٠,٤٣٥	٠,١٢٤	٠,٧٧٥	٠,٠٨٧	٠,٣٨٥
مياه شرب منزلية من بعض المحافظات						
القاهرة	٠,٤٣٠	٢,٦١٠	٠,١٢٢	٠,٤٩٠	٠,٥٢٦	٠,٢٤٣
إنشاص	٠,٥٠٠	٢,٥٨٠	٠,١٣٦	٠,٥٦٠	٠,٥٢٠	٠,٢٧٨
بنها	٠,٤٧٠	١,١٧٠	٠,٠٨٥	٠,٣٣٠	٠,٢٣٦	٠,١٦٤
المتوسط	٠,٤٧٠	٢,١٢٠	٠,١١٤	٠,٤٦٠	٠,٤٢٧	٠,٢٢٨

وبالإعتماد على النتائج المدونة فى هذا الجدول و الخاصة بمستوى النشاط الإشعاعى و الجرعة الإشعاعية لمياه الشرب المعبأة و للمياه السطحية المنزلية يمكن إستنتاج ما يلى:

- أن متوسط قيم النشاط الإشعاعى لليورانيوم-٢٣٨ فى جميع عينات مياه الشرب هو ٠,٣٩٦ بيكريل/لتر. و تقل هذه القيمة عن النشاط الإشعاعى المدون لمياه الشرب فى الصين, فلندا, فرنسا, المانيا و سويسرا و أيضا أقل من القيمة المدونة لليورانيوم-٢٣٨ لمياه الشرب فى تقارير منظمة الصحة العالمية (WHO) و التى تصل إلى ١٠ بيكريل/لتر.

- أن متوسط قيم النشاط الإشعاعى للثوريوم-٢٣٢ هو ٠,١١٧ بيكريل/لتر و هو أقل من المستوى المدون فى تقارير منظمة الصحة العالمية (WHO) لمياه الشرب و الذى يساوى ١,٠ بيكريل/لتر. كما لوحظ أن العديد من الدول لا تسجل مستوى النشاط الإشعاعى للثوريوم-٢٣٢ لأغراض مسح المستوى الإشعاعى لمياه الشرب و هذا يعود إلى إنخفاض درجة ذوبان الثوريوم عن اليورانيوم.

- المعادلة التجريبية التى تم مناقشتها بالتفصيل فى الجزء العملى من هذه الدراسة أضافت طريقة جديدة لقياس النشاط الإشعاعى لكل من الراديوم-٢٢٦ والرديوم-٢٢٨ فى وجود الآخر بواسطة جهاز الأطياف النووية (ذات السائل الوميضى) , حيث تم إلغاء أو تقليل التداخل الناشىء من نواتج إضمحلال الراديوم-٢٢٨ و التى تعطى إشعاعات ألفا فى منطقة ألفا الخاصة بالراديوم-٢٢٦ و أيضا طرح التداخل

الناشىء من نواتج إضمحلال الراديوم-٢٢٦ و التى تعطى إشعاعات بيتا فى منطقة بيتا الخاصة بالراديوم-٢٢٨.

- أن متوسط الجرعة الإشعاعية السنوية للراديوم-٢٢٦ من مياه الشرب المعبأة هو ٠,١٤٤ ملليسيفرت/سنة و المعتمد على مستوى النشاط الإشعاعى و الذى يساوى ١,٠٨ بيكريل/لتر, وتعتبر هذه القيمة أعلى من قيم الجرعة الإشعاعية المدونة فى تقارير منظمة الصحة العالمية (WHO) لمياه الشرب و الذى يساوى ٠,١ ملليسيفرت/سنة. بينما وجد أن متوسط الجرعة الإشعاعية لكل مياه الشرب الجوفية و السطحية هو ٠,٢١٥ ملليسيفرت/سنة. و يمكن القول بصورة عامة أن هذه القيم أقل من القيم المدونة للراديوم-٢٢٦ فى مياه الشرب المستخدمة فى العديد من الدول مثل فلندا, المانيا, أسبانيا و إيطاليا.

- أن متوسط الجرعة الإشعاعية السنوية للراديوم-٢٢٨ هو ٠,٢٥١ ملليسيفرت/سنة و هذا أعلى من قيم الجرعة الإشعاعية المدون فى تقارير منظمة الصحة العالمية (WHO) لمياه الشرب و الذى يساوى ٠,١ ملليسيفرت/سنة و لكنها أقل من القيم المدونة لمياه الشرب فى دولة فلندا و الذى يساوى ٠,٢٨٧ ملليسيفرت/سنة.

- أن قيم متوسط الجرعة الإشعاعية السنوية سواء للراديوم-٢٢٦ أو للراديوم-٢٢٨ تقع فيما بين ٠,٢ إلى ٠,٨ ملليسيفرت/سنة و المدون بواسطة لجنة تأثير الإشعاع الذرى التابعة للأمم المتحدة (UNSCEAR) و الخاص بمدى الجرعة الإشعاعية الناتجة من إستهلاك الأطعمة و مياه الشرب.