



الجمهورية العربية السورية  
هيئة الطاقة الذرية

هـ ط ذ س - هـ ن / ت ن ب ع ٤٣٩  
تموز ٢٠٠٩

تقرير نهائي عن بحث علمي  
قسم الهندسة النووية

## خرسانة التدريع الأمثل لمفاعل طاقة باستخدام المكونات المحلية

الدكتور سامر الحاج علي  
الدكتور محمد حسان خريطة  
المهندس سراج يوسف  
الكيميائي بدر الدين نعوم  
المهندس مازن النصار

هـ ط ذ س - هـ ن / ت ن ب ع ٤٣٩

# المحتوى

رقم الصفحة	
٤	ملخص
٤	المقدمة
١١	أولاً: تأثير الحرارة على خواص الخرسانة
١٣	- اجراءات التجربة
١٤	- تأثير الحرارة على مقاومة الخرسانة
١٥	- تأثير الحرارة على كفاءة الخرسانة للتدريع ضد النترونات
١٧	- تأثير الحرارة على معامل توهين الخرسانة لأشعة غاما بطاقة Cs-137
١٨	- تأثير الحرارة على كثافة الخرسانة
١٩	- التحليل الحراري باستخدام تقانات TGA و DSC
٢٢	ثانياً: دراسة التنشيط النيتروني لخرسانة التدريع
٢٤	- الطرق والمواد المستخدمة
٢٦	- المناقشة و نتائج التحليل
٣٥	- نتيجة التنشيط
٣٦	ثالثاً: النتائج والتوصيات العامة
٣٧	كلمة شكر
٣٨	المراجع
٤٢	ملحق ١
٤٩	ملحق ٢

## خرسانة التدريع الأمثل لمفاعل طاقة باستخدام المصادر المتاحة محلياً

ملخص:

تم في هذا العمل دراسة عدة تصاميم لخلطات خرسانية محلية مرشحة لتدريع مفاعل نووي مستقبلي في سوريا، وشمل البحث إمكانية توهين هذه العينات لأشعة غاما وكذلك للتدفقات النيوترونية، في الظروف الاعتيادية وكذلك الثبات الفيزيائي و التوهيني في حال تعرض الخرسانة لدرجات حرارة مرتفعة الأمر الذي يمكن حدوثه في ظروف المفاعل النووي.

وكذلك تم دراسة قابلية العناصر الداخلة في تركيب الخرسانة للتنشيط النثروني من أجل الحصول على درع خرساني بحيث تكون المواد المكونة له منخفضة القابلية للتنشيط الإشعاعي ( أقل ما يمكن من حيث الجرعة ونظائر مشعة ذات أعمار نصف قصيرة).

وبهذا الأسلوب يمكن أن نحصل على تدريع بيولوجي للمفاعل آمن أثناء تشغيل المفاعل بالإضافة إلى أنه سيكون بعد تفكيك المفاعل والانتهاء من استثماره نفاية مشعة أقل ضرراً منها في حال لو تم استخدام مواد عيارية عادية.

### مقدمة:

يعتبر البيتون مادة ممتازة ومتعددة المزايا والاستخدام، وقد استعمل بشكل واسع في التدريع ضد المصادر الإشعاعية ولعل أهمها مفاعلات الطاقة (Nuclear Power Reactors) ومفاعلات الأبحاث، والمسرعات (Accelerators) و المخابر، والخلايا الحارة (Hot Cells)، والمرافق الطبية التي تستخدم فيها الأشعة.

و الخيارات الواسعة نسبياً للتركيبية الصخرية للخرسانة، تتيح لنا إمكانية اختيار التركيبة الأمثل بما يتناسب مع المهمة التي تنتظر الخرسانة، وفي حالتنا - خرسانة تدريع المفاعلات- هناك عدة متطلبات من خرسانة التدريع هذه أهمها:

- 1- إمكانية توهين إشعاعات المفاعل المختلفة بكفاءة عالية؛
  - 2- التحمل الحراري، حيث تتعرض الخرسانة لتسخين وتبريد الأمر الذي يتسبب في تلف بعض أجزاء الخرسانة وإضعاف الخواص الميكانيكية والتوهينية لها؛
  - 3- عدم قابلية العناصر الداخلة في تركيبها للتنشيط و إنتاج عناصر ذات أعمار نصف طويلة أو متوسطة، أو تنشيطها بأقل ما يمكن و بأعمار نصف قصيرة.
- و البيتون عموماً مادة منخفضة الكلفة نسبياً، من السهل التعامل معها و يمكن صبها بأشكال معقدة و مختلفة، كما يحوي البيتون مزيجاً من عناصر خفيفة و ثقيلة، مما يجعله ذو خواص نووية جيدة لتوهين كلاً من الفوتونات و النترونات، و يمكن التحكم بتركيبه وكثافته وبالتالي يمكن تكييفه لاستخدامه في مجال واسع من الحالات.

تشكل الحصيات ٧٥% من حجم البيتون لذا فإن لها تأثيراً كبيراً على خواص البيتون الناتج (رزوق و زين الدين - ١٩٨٦) ، ويحوي بيتون التدريع الإشعاعي على حصيات عادية ذات

وزن طبيعي (Ordinary Normal Weight Aggregates). تتألف عادةً من رمل، حصى، جلاميد محطمة، ذات مصدر طبيعي محلي، تكون عادةً كلسية سيليسية، يتراوح وزنها النوعي (Specific Gravity) بين ٢,٥ إلى ٢,٧ غ/سم<sup>٣</sup> و كثافة البيتون الناتج من استخدامها بين ٢,٢ و ٢,٤ غ/سم<sup>٣</sup>، و حصيات خاصة (Special Aggregates) تستعمل لتحسين خواص البيتون التوهينية للأشعة و إنقاص سماكة الدرع البيتوني، تقسم هذه الحصيات الخاصة إلى نوعين حسب مصدرها:

١- حصيات طبيعية.

٢- حصيات صناعية.

و الحصيات الطبيعية الخاصة المستخدمة لزيادة كفاءة البيتون في توهين الأشعة الكهرطيسية هي بشكل رئيسي فلزات المعادن الثقيلة كالباريت، و الماغنتيت، و الهيماتيت، والإلمنيت (  $TiO_2$  ) (FeO)، وهي تملك عادةً وزناً نوعياً يتراوح بين ٤ حتى ٤,٨ غ/سم<sup>٣</sup>، أما الحصيات الطبيعية الخاصة المستخدمة لزيادة كفاءة البيتون في توهين النترونات فهي الحصيات الطبيعية الهيدروجينية مثل البوكسيت، و السربنتين، و الغوتيت، و الليمونيت، كذلك بعض الإضافات من البورون على شكل بورات الكالسيوم (Kallan, 1989).

الحصيات الصناعية الخاصة و تستعمل لإنتاج البيتون ذو الوزن النوعي العالي أو البيتون الثقيل، من الأمثلة على هذه الحصيات: الفوسفور الحديدي (Ferro phosphorus) (بوزن نوعي ٥,٨ - ٦,٣ غ/سم<sup>٣</sup>) السيليكا الحديدي (Ferrosilicon) (بوزن نوعي ٦,٥ - ٧ غ/سم<sup>٣</sup>)، و المنتجات المعدنية الحديديّة مثل: القضبان المعدنية المقصوفة، و الكريات الحديديّة (بوزن نوعي يتراوح بين ٧,٥ - ٧,٨ غ/سم<sup>٣</sup>).

بينت العديد من التجارب أن أغلب أنواع الحصيات الخاصة أكثر ليناً وبالتالي أكثر قابلية للانسحاق من الحصيات العادية، و يسبب ذلك العديد من المشاكل عند إنتاج مثل هذه الحصيات، حيث تنتج عادةً بطرق التكسير و الغرلة التقليدية (Kallan, 1989).

صنفت المواصفة الأمريكية (ASTM C638: Descriptive Nomenclature of Constituents of Aggregates for Radiation Shielding) الحصيات الطبيعية والصناعية المستخدمة بكثرة في التدرّيع الإشعاعي، و غير المستعملة في الحالات العادية، إلى صنفين:

١- الحصيات الثقيلة، أو العالية الوزن النوعي: وهي الحصيات و الصخور الحاوية على فلزات عالية الوزن النوعي، و مواد صناعية أخرى عالية الوزن النوعي أيضاً، وفي هذا الصنف ذكرت الأنواع التالية:

- فلزات الحديد و خاماته، كالهيماتيت (Hematite)، الإلمنيت (Ilmenite)  $TiO_2$  FeO،  
الغوتيت (Goethite)، الليمونيت و الماغنتيت (Magnetite).

- فلزات الباريوم و خاماته، كالباريت (Barite)  $BaSO_4$  و الويزيريت (Witherite)  $BaCo_3$ .

- الفسفور الحديدي (Ferro phosphorus).

٢- المواد الحاوية على البور (boron): وهي بعض أنواع الفلزات و الزجاج الصناعي الحاوية على كمية ملائمة من البور بحيث تمتص النيترونات الحرارية دون أن تؤدي لإصدار أشعة غاما عالية الطاقة، مثل: بورات الكالسيوم<sup>١</sup>، بورات المغنيزيوم، بورات الصوديوم.

تجدر الإشارة هنا إلى أن هذه المواصفة لم تشر إلى الفلزات الهيدروجينية (السربنتين، البوكسيت)، ولا للمنتجات الحديديّة المعدنية، في حين تم ذكر هذه المواد في المواصفة (ASTM C637: standard specification for aggregates for radiation shielding concerts).

<sup>١</sup> بورات كلسية (أو لأكسيت، كمولمانيت، بيرسيت) والموجود في سورية هو الاولاكسيت.

من خلال المواصفات الدولية فقد تم تحديد الأنواع الصخرية التي يمكن أن تستخدم في خرسانة التدرّيع الإشعاعي ويمكن تصنيفها في الجدول ١-١:

الجدول ١-١ بعض الأنواع الصخرية المحلية التي يمكن أن تستخدم في خرسانة التدرّيع

ملاحظات	الوزن النوعي	التركيب الكيميائي	نوع الحصى
صخر طبيعي	2.4 - 2.65	3MgO.2SiO <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	السرپنتين (Serpentine)
صخر طبيعي	3.4 - 3.8	2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .3H <sub>2</sub> O	الليمونيت (Limonite)
صخر طبيعي	3.5 - 4.5	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	الغوتيت (Goethite)
صخر طبيعي	1.8 - 2.3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . 2H <sub>2</sub> O	البوكسيت (Bauxite)
صخر طبيعي	4.6 - 5.2	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	الهيماتيت (Hematite)
صخر طبيعي	4.6 - 5.2	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	الماغنيتيت (Magnetite)
صخر طبيعي	4.2 - 4.8	FeO.TiO <sub>2</sub>	الإلمنيت (Ilmenite)
صخر طبيعي	4.0 - 4.4	BaSO <sub>4</sub>	الباريت (Barite)
حصيات صناعية	5.8 - 6.3	FeP ,Fe <sub>2</sub> P ,Fe <sub>3</sub> P	الفوسفور الحديدي (Ferro phosphorus)
حصيات صناعية	6.5 - 7.5	Fe	الحديد/ال فولاذ
حصيات صناعية	5.0	90%Fe +10%B	البورون الحديدي (Ferro boron)

أجريت دراسة توفر بعض الصخور الملائمة للتدرّيع في أراضي الجمهورية العربية السورية من قبل قسم الجيولوجيا في هيئة الطاقة الذرية السورية (د.رماح و آخرون دراسة توافر بعض أنواع الصخور المحلية تستخدم في التدرّيع الإشعاعي). و تم اقتراح فلزات الحديد الموجودة في سورية و الرمال السوداء الشاطئية لرفع كثافة الخرسانة، و تم اقتراح السرپنتين لزيادة المحتوى الهيدروجيني للخرسانة.

من خلال دراسة توضعات الحديد في عدة مواقع من سورية، وبالتقاطع مع نتائج التحاليل، وجد أن أعلى نسب الحديد بلغت في العينات المأخوذة من منطقة راجو (وادي سرسينا) ، حيث تراوحت نسب (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) بين ٤٣ و حتى ١٠٠%، كما يمكن أن يترافق معه أحيانا فلز الماغنيتيت (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) بنسبة لا تتجاوز ١٠%، وكذلك الغوتيت (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O) ولكن بنسب أقل، مع الإشارة إلى أن فلزات الحديد في منطقة راجو تحتوي على نسب لا بأس بها من الأنتاز (TiO<sub>2</sub>) تتراوح بين ٥ و حتى ٥٠%، ومع أن هذا الفلز ضار في صناعة الحديد، لكنه يعتبر ذو ميزة من حيث استخدامه كخلطة مناسبة في التدرّيع. ووجد أن الصخور الحديدية في منطقة راجو تتراوح أوزانها النوعية بين ٢,٧ غ/سم<sup>٣</sup> و ٣,٣٨ غ/سم<sup>٣</sup> ، بينما تتراوح أوزانها الحجمية بين ٢,٥ و حتى ٣,٠٦ غ/سم<sup>٣</sup>.

ونشير إلى أن الاختبارات الهندسية أثبتت شراهة العينات الفلزية العالية للمياه في بعض المواقع عن الأخرى، مما يعطي انطباعاً بضرورة اختيار السويات بعناية من أجل استخدام الحصيات الناتجة عنها بشكل موفق في الخلطات التدرّيعية.

أما الموقع الثاني فهو حديد الزبداني، فتكون نسبة فلزات الحديد فيه أقل، حيث يتراوح فلز الهيماتيت بين ٢٥ إلى ٣٠%، يترافق معه أحيانا فلز الغوتيت، أما الأنتاز فلا يتواجد ضمن توضعات حديد الزبداني، يضاف إلى ذلك أن الاختبارات الهندسية تدل على انخفاض وزنها الحجمي و مساميتها و انخفاض متانتها، مما يجعلها غير مفضلة للاستخدام في الخلطات التدرّيعية.

أما الموقع الثالث (القدموس) فإن نسبة الحديد منخفضة جداً، يضاف إلى ذلك طبيعتها الرملية التي تجعل منها عديمة الجدوى في استخدامها بالخلطات التدرجية. أما الرمال السوداء فهي إحدى أنماط التوضعات المكيثة (Placer Deposits)، تتشكل نتيجة عمليات التركيز الميكانيكي للفلزات الثقيلة، ذات الوزن النوعي الأعلى من ٣ غ/سم<sup>٣</sup> مثل الالمنيوم، الماغنيت، الكروميت، زركون... نتيجة حت وتعرية الصخور الأساسية (بازلت) وفساد وتجوية الصخور فوق الأساسية (بيريدوتيت).

ويوجد في سورية هذا النمط من التوضعات على شكل توضعات جدولية (رمال شاطئية) تعود إلى زمن الرباعي (بلايستوسين، حديث). تتركز توضعات (الرمال الشاطئية) على امتداد الشواطئ الرملية الحصوية الناعمة والتي تشكل حوالي ٣٥% من طول شاطئ القطر العربي السوري (المؤسسة العامة للجيولوجيا، ١٩٩٢) مثل منطقة البسيط ومنطقة اللاذقية وجنوب بانياس وطرطوس. وهي عبارة عن ناتج تعرية وتجوية صخور السلسلة الجبلية الساحلية ذات التتابع الطبقي الذي يمتد من الترياسي وحتى النيوجين، تتخللها سويات بازلتية عائدة إلى الجوراسي والكريتاسي (معطي، ١٩٨٢)، بينما تغطي سماكات كبيرة من بازلت النيوجين وتتداخل أحياناً مع الرسوبيات (البليوسينية) في الجنوب.

أما في أقصى الشمال (البسيط) فتتكشف صخور المعقد الأوفيليتي وهي ذات الطبيعة فوق الأساسية (بيريدوتيت)، والتي بفسادها تؤدي إلى تحرير الكروم وجرفه ضمن المجاري المائية باتجاه البحر، فيتوضع ضمن الرمال الشاطئية بشكل نثرات سوداء ذات بريق معدني في أسفل المجاري النهرية والجدولية عند التقائها بالبحر (قطاع وقنبور، ١٩٩٣).

يعكس تركيب الرمال الشاطئية في منطقة البسيط شمال غرب سورية، وجود الصخور فوق الأساسية في المناطق الجبلية المحيطة (البابر والبسيط)، حيث توجد صخور المعقد الأوفيليتي الغنية بوجود تركيزات من الفلزات المعدنية الثقيلة ومن أهمها الكروميت  $Fe(Cr,Fe)_2O_4$  التي تظهر ضمن شقوق السربنتين بشكل أجسام قاطعة وتجمعات، ويتحرر نتيجة أعمال الحت والتعرية للسربنتين ليحرف ضمن المجاري المائية إلى مصاب الأنهار عند التقائها مع البحر ليتواجد ضمن الرمال الشاطئية بشكل نثرات سوداء ذات بريق معدني. تصل نسبة الحديد في رمال البسيط إلى أكثر من ٣٠% والكروم ١٦% والتيتان ٥% وهذه العناصر جميعها ذات وزن نوعي عالي، وبالتالي تكون هذه الرمال ذات وزن نوعي عالي قد يتجاوز ٣,٥ غ/سم<sup>٣</sup>.

أما فيما يتعلق برمال بانياس الشاطئية والناتجة عن فساد الصخور الأساسية والرسوبية المحيطة، فقد تميزت بانخفاض نسبة العناصر الثقيلة بالمقارنة مع رمال البسيط، ولم تتجاوز نسبة الحديد ٧,٢%، بينما زادت نسبة الكالسيوم عن ١٠%، وبالتالي فإن هذه الرمال ذات وزن نوعي منخفض نسبياً مقارنة برمال البسيط.

في الوقت نفسه فإن التدرج الحبي لرمال بانياس (منطقة بانياس) يدل على خشونة أكبر لهذه الرمال و توزع للتدرج الحبي أفضل بقليل من رمال بانياس، كما أن نسبة المواد الناعمة والغضارية قليلة جداً في هذه الرمال ككل.

تعتبر الرمال الشاطئية في منطقة البسيط هي الأفضل للاستخدام في خلطات التدرج الإشعاعي مقارنة بالرمال الشاطئية لمنطقة بانياس، ويعزى ذلك إلى غناها بالفلزات الثقيلة (كروميت، هيماتيت..)، الناتجة عن حت وتعرية الصخور المحيطة لمنطقة البسيط (بيريدوتيت، بازلت..)، حيث تراوح الوزن النوعي لهذه الرمال بين ٣,٥ - ٤,٣ غ/سم<sup>٣</sup>. بينما تكون الرمال الشاطئية بمنطقة بانياس ذات وزن نوعي أقل ٢,٦ - ٢,٨ غ/سم<sup>٣</sup> بسبب احتوائها على فلزات كربوناتية ناتجة عن تعرية الصخور المحيطة بالمنطقة وهي عبارة عن صخور كلسية وبازلتية.

أما السربنتين فيتواجد في أقصى الشمال الغربي من القطر العربي السوري، نتيجة فساد صخور المعقد الأوفيليتي، هذا المعقد الذي يقسم إلى ثلاثة كتل رئيسة البابر، البسيط وجبل الأقرع كما يظهر في الشكل (١-١) تتألف صخور المعقد الأوفيليتي من صخور فوق أساسية مؤلفة من



صيغة السربنتين الكيميائية  $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$ ، يشكل جذر الهيدروكسيل (OH) نسبة ١٢% إلى ١٤%، لونه رمادي مخضر، قساوته ٣ - ٢,٥، وزنه النوعي ٢,٥ غ/سم<sup>٣</sup>. إن أهمية السربنتين تكمن باحتوائه على جذر الهيدروكسيل (OH)، ضمن البنية البلورية لهذا الفلز، لذا يلعب دوراً كبيراً في أسر النترونات الحرارية، وهكذا يعتبر أحد الفلزات المستخدمة في الخلطات الإسمنتية الخاصة بالتدريع الإشعاعي.

تنتشر توضعات السربنتين على مساحات واسعة بمنطقة البسيط، ومواقع تكشفها يؤمن سهولة استخراجها، كما ان نتائج التحاليل المخبرية بينت ارتفاع نسبة السربنتين (لم تقل عن 94%)، و بالتالي ارتفاع المحتوى الهيدروجيني، بالإضافة إلى أن حصياتها تتميز بوزن نوعي عالي، وهذا ما يجعلها ملائمة جداً للاستخدام كحصيات لرفع المحتوى الهيدروجيني للبيتون المستخدم لتدريع المنابع النترونية.

يتراوح الوزن الحجمي للصخور السربنتينية بين ٢,٤٥ و ٢,٥٥ غ/سم<sup>٣</sup> و هي قيمة جيدة تجعل من الممكن استخدام هذه الصخور لرفع كثافة الخرسانة الناتجة فضلاً عن زيادة المحتوى الهيدروجيني المرتبط، مما يجعلها ملائمة في تدريع مفاعل، حيث يصدر المنبع خليطاً من أشعة غاما و النترونات بسويات طاقة متنوعة.

ويوجد بعض المساوي للصخور السربنتينية المحلية، فنسبة الامتصاص المرتفعة قليلاً و النسبة العالية للفاقد في اختبار لوس انجلوس يدل على المسامية العالية و الحاجة لكمية ماء زائدة للخلطة الخرسانية (مما يضعف المقاومة عموماً) من جهة و ضعف مقاومة هذه الصخور من جهة أخرى، الأمر الذي يزيد من صعوبة الحصول على خرسانة عالية المقاومة باستخدام مثل هذه الصخور وهذا يدعو للتعامل مع هذه الصخور بشيء من الحذر عند الاستخدام. و على أية حال فإنه في كثير من الحالات لا تدعو الحاجة لاستخدام خرسانة عالية المقاومة في الدروع الإشعاعية ذات المقطع الضخم، بحيث تكون الإجهادات المتولدة عن أي قوة، صغيرة نتيجة لذلك.

### أولاً: تأثير الحرارة على خواص الخرسانة

لا تتعرض الخرسانة في الظروف الاعتيادية لدرجات حرارة تزيد عن درجات حرارة البيئة المحيطة، وهي الحالة الغالبة في معظم المنشآت الخرسانية. ولكن هناك حالات خاصة تتعرض فيها المنشآت لحرارة أعلى بكثير كما هي الحال في الحرائق وفي معامل الكيماويات ومعامل المعادن حيث تكون الخرسانة قريبة من الأفران. وفي بعض منشآت الطاقة النووية وبخاصة في حالات الحوادث. يحدد تأثير الحرارة على خواص الخرسانة الميكانيكية والفيزيائية في بعض هذه التطبيقات إمكانية أداء الخرسانة لوظيفتها الإنشائية.

ويعد دراسة سلوك العناصر الخرسانية تحت تأثير درجات الحرارة العالية ذو أهمية كبيرة لتصاميم الجيل الجديد للمفاعلات، حيث تتعرض الخرسانة لحرارة عالية لمدة طويلة بحيث تتجاوز الحدود التصميمية (٦٥ درجة مئوية) الواردة في كود الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين (ASME Code) حول تصميم أوعية الضغط وتمديدات الأنابيب.

إن الخواص الحرارية للخرسانة أكثر تعقيداً من الكثير من المواد الأخرى، ولا يعود ذلك فقط إلى كون الخرسانة مادة مركبة مكوناتها مختلفة الخواص. ولكن أيضاً إلى أن خواصها تتعلق برطوبتها و مساميتها. إن تعرض الخرسانة لدرجات حرارة عالية تؤثر على خواصها الفيزيائية والميكانيكية، وتنتشور نتيجة لذلك العناصر الإنشائية وتتراوح عن مكانها. ويمكن أن ينشقق سطحها ويتساقط نتيجة لتراكم ضغط البخار تحته. إن الفهم الجيد لسلوك الخرسانة في درجات الحرارة العالية ضروري للتقييم التصميمي الجيد والموثوق وبالتالي لضمان سلامة المنشأ وحسن عمله وتشغيله.

يصنع الاسمنت البورتلاندي بمزج المواد الكلسية (مثلاً الحجارة الجيرية) مع المواد الغضارية في درجات حرارة عالية. و تكون أكثر من ٩٠% من الوزن الجاف للإسمنت أربعة مركبات هي:

١. سيليكات الكالسيوم الثلاثية ( $3CaO.SiO_2$ ).
٢. سيليكات الكالسيوم الثنائية ( $2CaO.SiO_2$ ).
٣. الومينات الكالسيوم الثلاثية ( $3CaO.Al_2O_3$ ).
٤. الومينات وحديدات الكالسيوم الرباعية ( $4CaO.Al_2O_3$ ).

عند إضافة الماء يتفاعل الإسمنت البورتلاندي معه، وتنتج كمية معتبرة من الحرارة في هذا التفاعل. ويتشكل ما يدعى العجينة الإسمنتية. وتتألف العجينة الإسمنتية المتصلبة عادة من 70-80% من سيليكات الكالسيوم المائية و 20% من ماءات الكالسيوم إضافة لمركبات أخرى قليلة النسب. وتعاني العجينة الإسمنتية تغيرات فيزيائية وكيميائية تحت تأثير درجات الحرارة المرتفعة مما يؤثر على صفاتها. ومن أهم خواص العجينة الإسمنتية التي يتعلّق بها تأثير الخرسانة بالحرارة العالية الرطوبة (التسخين في جو محكم أو غير محكم) والبنية الكيميائية (فقد الماء المرتبط من سيليكات الكالسيوم المائية، ونسبة أكسيد الكالسيوم على أكسيد السيليكون، ونسبة ماءات الكالسيوم) والفيزيائية (نسبة المسامات، حجم المسامة الوسطي، نسبة البنية الزجاجية إلى البنية المتبلورة في المادة الصلبة).

تعد الخرسانة مادة غير متجانسة متعددة الأطوار، تتألف من حصويات خاملة تقريباً مربوطة معاً بواسطة العجينة الإسمنتية المتصلبة. وعند تعرض الخرسانة إلى درجات حرارة عالية تحدث تغيرات في الخواص الميكانيكية والديمومة لهذه الخرسانة. تنتج هذه التغيرات عن تغيرات في رطوبة مكونات الخرسانة، والتخريب التدريجي للرابط الإسمنتي والذي يصبح ذو أهمية كبيرة عندما يكون هناك اختلاف كبير في معاملات التمدد لكل من العجينة الإسمنتية و الحصويات.

يتعلّق سلوك الخرسانة في درجات الحرارة العالية بظروف التعريض (البرنامج حرارة-رطوبة-حمولة-زمن). إن صفات الخرسانة في درجات الحرارة العالية تتعلّق بدرجة الحرارة ومعدل التسخين وعدد الدورات الحرارة ومدة التسخين). نجد اختلافات كبيرة بين نتائج الدراسات المختلفة حول سلوك الخرسانة في الحرارة العالية، و صعوبة كبيرة في تفسير هذه النتائج. يعود ذلك إلى:

- (١) اختلاف المكونات وظروف حفظ ومعالجة العينات.
- (٢) عدم كفاية توصيف المواد.
- (٣) اختلاف إجراءات التسخين.
- (٤) اختلاف شروط الاختبارات الميكانيكية.
- (٥) اختلاف أشكال وأبعاد العينات المختبرة.

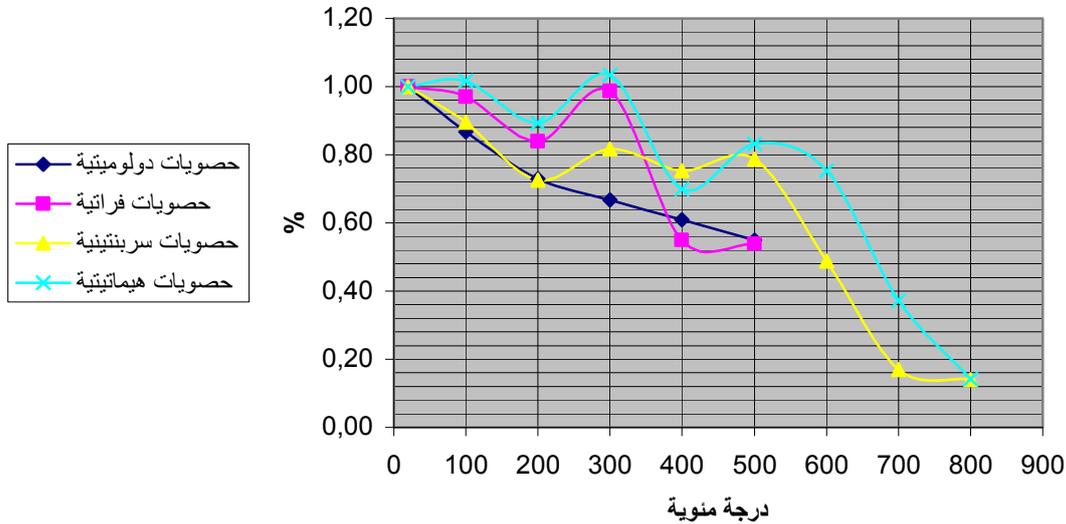
#### • إجراءات التجربة:

تم إعداد عينات متعددة من أنواع مختلفة من الخرسانة المحلية على شكل مكعبات  $10 \times 10 \times 10$  سم. تم وضع هذه العينات في حمام مائي بدرجة حرارة ٢٢ درجة مئوية لمدة ٢٨ يوم بعد الصب ثم استخرجت وتركت لتجف في درجة حرارة الغرفة. عرضت العينات بعد ذلك لدرجات حرارة مختلفة (من ١٠٠ حتى ٨٠٠ درجة). رفعت درجة الحرارة تدريجياً بحيث يتم الوصول لدرجة الحرارة القصوى المطلوبة خلال عدة ساعات ثم تركت في هذه الدرجة من الحرارة القصوى لمدة ١٠ أيام، وبعد ذلك تركت لتبرد ببطء ضمن الفرن نفسه. أخرجت العينات بعد أن تبردت ووضعت في أكياس من النايلون وربطت بإحكام للتقليل ما أمكن من تبادل الرطوبة مع الوسط

المحيط. تم قياس وزن العينات قبل وبعد التسخين، كما تم قياس المتانة الميكانيكية لها ومعامل التوهين لأشعة غاما بطاقة Cs-137 وللنيوترونات بطاقة منبع من الأمريسيوم-بيريليوم.

### • تأثير الحرارة على مقاومة الخرسانة:

- يمكن الحصول على النتائج التفصيلية بمراجعة الملحق (1)، ويمكن تلخيص النتائج بما يلي:
1. لا يحصل أي هبوط في مقاومة الخرسانة المصنوعة من الحصىات الهيماتيتية حتى 100 درجة مئوية بينما يحصل هبوط إلى حوالي 87% من المقاومة الأصلية للخرسانة الدولوميتية (وهي أعلى من الحرارة التصميمية لأوعية الضغط وفق ASME Code).
  2. في الدرجة 200 مئوية يحصل هبوط في المقاومة، وتتراوح المقاومة بين 73% من قيمة المقاومة الأصلية للخرسانة الدولوميتية و 89% للخرسانة الهيماتيتية.
  3. هناك ازدياد (قمة) في المقاومة للحصىات الهيماتيتية والسربنتينية والفراتية عند 300 درجة مئوية. يعقبه انخفاض في المقاومات.
  4. هناك ارتفاع للمقاومة يحدث عند 400 درجة للحصىات السربنتينية والهيماتيتية ويستمر الارتفاع حتى 500 درجة مئوية.
  5. تتراوح المقاومة بين 66% للخرسانة الدولوميتية و 100% للخرسانة الهيماتيتية من مقاومتها الأصلية عند الدرجة 300 مئوية (وهي درجة حرارة متوقعة للحوادث التصميمية).
  6. لا يمكن لأي نوع من الخرسانة أن يتحمل حرارة تزيد عن 600 درجة مئوية لفترة زمنية طويلة مع المحافظة على تكاملية الخرسانة بدرجة مقبولة. وهذه النتائج للخلطات المختلفة تظهر بالشكل رقم (2-1).



شكل (2-1): تغير المقاومة المكعبية على الضغط لمكعبات 10\*10\*10 سم مع تغير درجة الحرارة لأنواع مختلفة من الخرسانة المحلية.

### • تأثير الحرارة على كفاءة الخرسانة للتدريع ضد النيوترونات:

تم قياس توهين النيوترونات الصادرة عن منبع أمريكيوم بريليوم ضمن مكعبات الخرسانة السابقة الذكر والمعرضة لدرجات حرارة مختلفة. يبين الشكل التالي يبين هندسة التجربة:

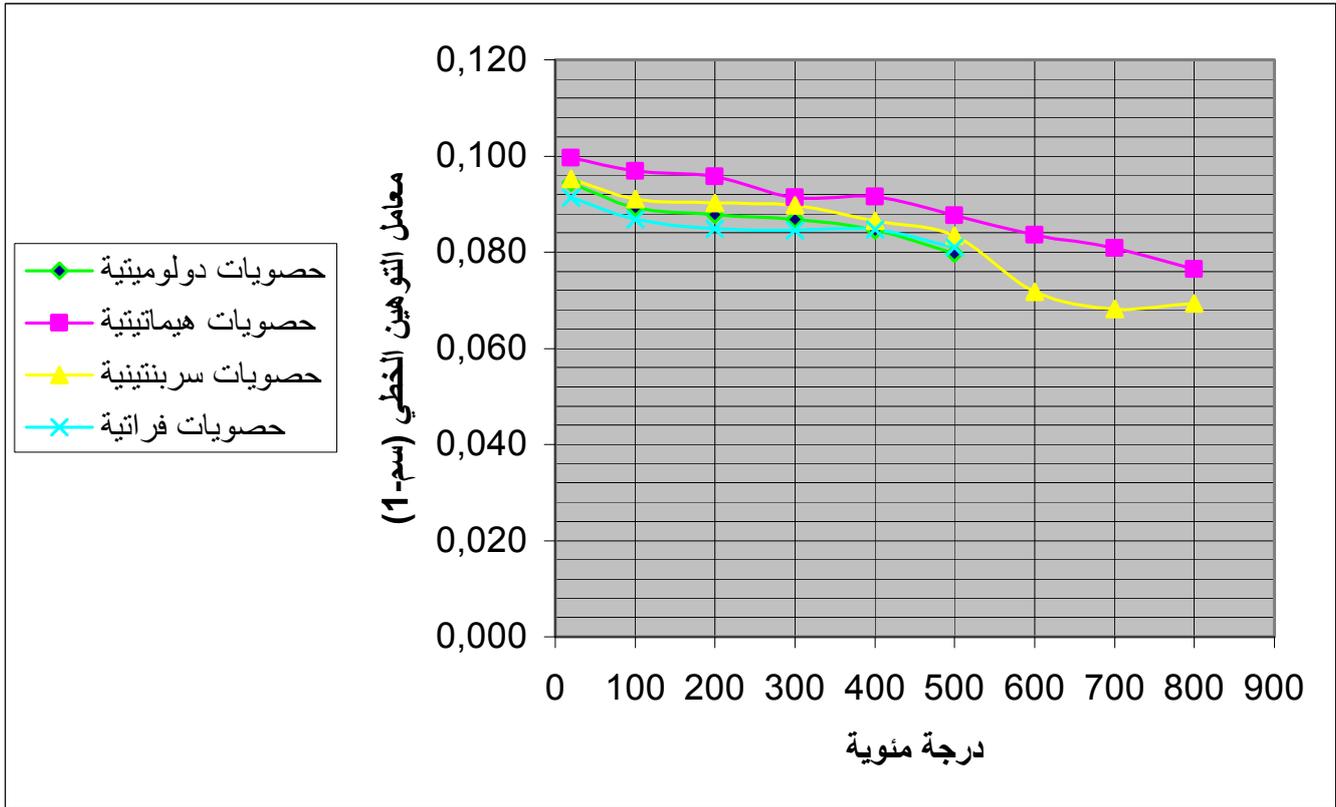


شكل (٣): تجربة قياس معامل التوهين للنيوترونات.

ونائج التجربة مدرجة بالجدول ٢-١ والشكل (٤-١):

الجدول (٢-١): تغير معامل توهين النيوترونات مع تغير درجة حرارة تعريض العينة.

الخطأ								درجة حرارة التسخين
F		S		H		D		
μ		μ		μ		μ		
انحراف	متوسط	انحراف	متوسط	انحراف	متوسط	انحراف	متوسط	
0,003	0,091	0,003	0,095	0,005	0,100	0,003	0,094	20,000
0,002	0,087	0,002	0,091	0,002	0,097	0,002	0,089	100,000
0,002	0,085	0,003	0,090	0,002	0,096	0,002	0,088	200,000
0,002	0,084	0,002	0,090	0,003	0,091	0,002	0,087	300,000
0,002	0,085	0,002	0,087	0,003	0,091	0,029	0,085	400,000
0,003	0,081	0,003	0,083	0,003	0,088	0,002	0,080	500,000
-	-	0,002	0,072	0,002	0,084		-	600,000
-	-	0,026	0,068	0,002	0,081		-	700,000
-	-	0,002	0,069	0,003	0,076		-	800,000

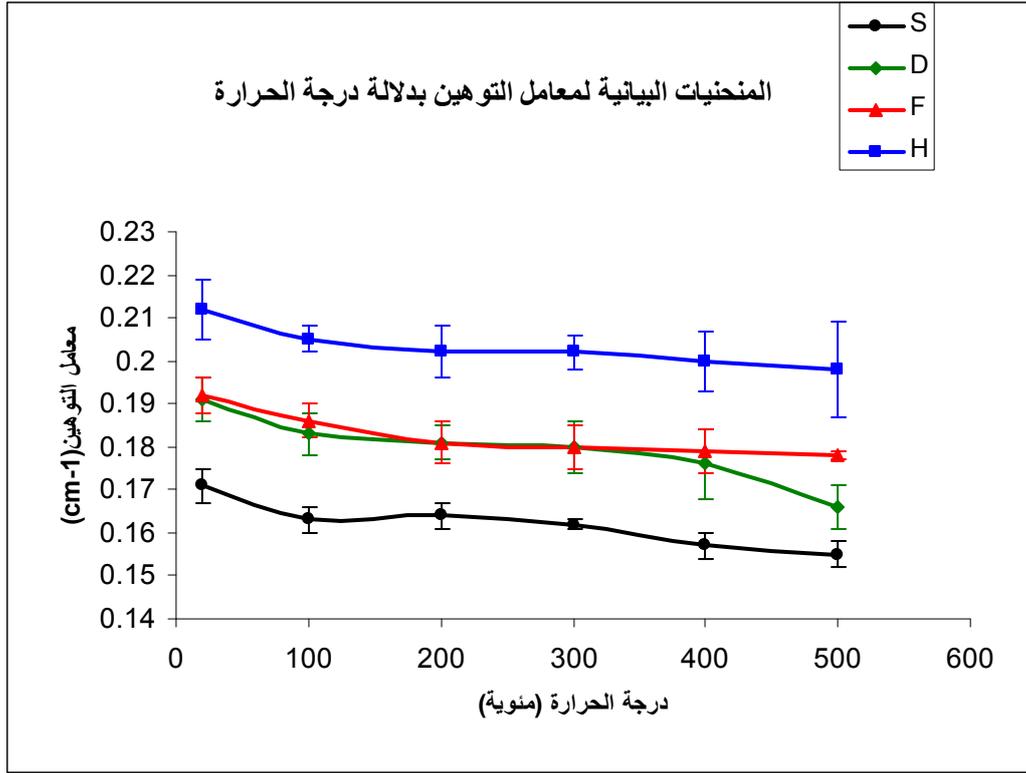


شكل (٤-١): تغير معامل توهين النيوترونات مع تغير درجة حرارة تعريض العينة.

• تأثير الحرارة على معامل توهين الخرسانة لأشعة غاما بطاقة Cs-137: يلخص الجدول ٣-١ والشكل (٥-١) نتائج تغير معامل توهين أشعة غاما بطاقة Cs-137 مع تغير درجة الحرارة التي تعرضت لها العينة.

الجدول (٣-١): تغير معامل توهين أشعة غاما بطاقة Cs-137 مع تغير درجة حرارة تعريض العينة.

معامل التوهين (cm <sup>-1</sup> )				درجة الحرارة (منوية)
H	F	D	S	
0.198 ± 0.011	0.178 ± 0.001	0.166 ± 0.005	0.155 ± 0.003	500
0.2 ± 0.007	0.179 ± 0.005	0.176 ± 0.008	0.157 ± 0.003	400
0.202 ± 0.004	0.18 ± 0.005	0.18 ± 0.006	0.162 ± 0.001	300
0.202 ± 0.006	0.181 ± 0.005	0.181 ± 0.004	0.164 ± 0.003	200
0.205 ± 0.003	0.186 ± 0.004	0.183 ± 0.005	0.163 ± 0.003	100
0.212 ± 0.007	0.192 ± 0.004	0.191 ± 0.005	0.171 ± 0.004	20

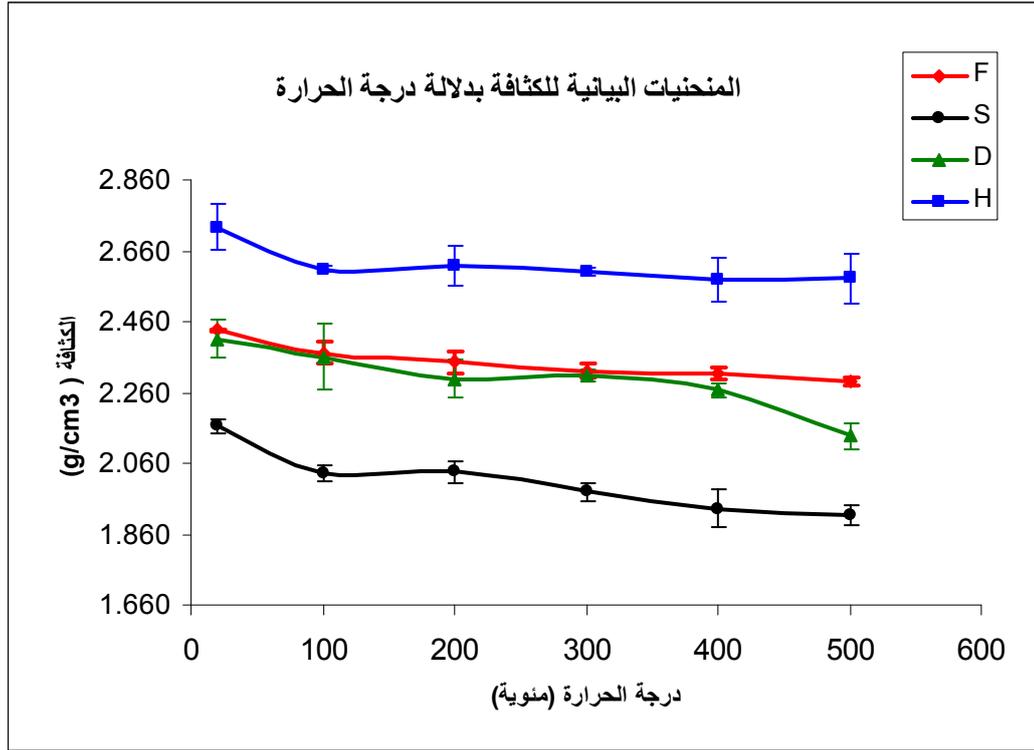


شكل (٥-١): تغير معامل توهين أشعة غاما بطاقة Cs-137 مع تغير درجة حرارة تعريض العينة.

• **تأثير الحرارة على كثافة الخرسانة:** يبين الجدول (٤-١) والشكل (٦-١) تأثير الحرارة على كثافة الخرسانة

الجدول (٤): تغير الكثافة مع تغير درجة حرارة تعريض العينة.

الكثافة (cm <sup>3</sup> /g)				درجة الحرارة (منوية)
H	F	D	S	
2.582 ± 0.072	2.291 ± 0.009	2.138 ± 0.036	1.913 ± 0.029	500
2.578 ± 0.063	2.315 ± 0.018	2.268 ± 0.020	1.932 ± 0.053	400
2.602 ± 0.012	2.322 ± 0.018	2.308 ± 0.018	1.98 ± 0.026	300
2.617 ± 0.058	2.345 ± 0.031	2.298 ± 0.055	2.035 ± 0.031	200
2.608 ± 0.008	2.372 ± 0.029	2.36 ± 0.093	2.032 ± 0.021	100
2.725 ± 0.065	2.435 ± 0.005	2.41 ± 0.053	2.165 ± 0.018	20



شكل (٦-١): تغير الكثافة مع تغير درجة حرارة تعريض العينة.

#### • التحليل الحراري باستخدام تقانات DSC و TGA:

تم إجراء تحليل باستخدام تقانتي المسح الحراري التفاضلي DSC و التحليل الوزني الحراري TGA (بمعدل ١٠ درجة/دقيقة) وذلك من أجل محاولة فهم سلوك الخرسانة. يبين الملحق (٢) العينات التي تمت دراستها والمنحنيات الناتجة.

نلاحظ من التحليلين السابقين للخصائص المستخدمة ما يلي:

##### ١. بالنسبة للخصائص الدولوميتية:

إن مصدر الرمل و الحصى لهذه الخرسانة واحد، وبالتالي تم تحليل عينة ممثلة للخصائص من الرمل فقط. نلاحظ من منحنى TGA أنه حصل هبوط طفيف متدرج في الوزن (أقل من ٥%) حتى ٦٠٠ درجة مئوية، ثم حصل فقد وزني كبير (حوالي ٥٠%) بين ٧٥٠-٨٥٠ درجة مئوية، يمكن أن يعزى هذا الفقد المتدرج الطفيف قبل ٥٠٠ درجة إلى تبخر الماء واحتراق شوائب، بينما يعزى الفقدان الوزني الكبير بعد ٧٥٠ درجة مئوية إلى تفكك الكربونات في الدولوميت ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) عند هذه الدرجات. نلاحظ عدم وجود أي قمة مميزة في مخطط DSC للعينة حتى ٥٠٠ درجة.

##### ٢. بالنسبة للخصائص الفراتية:

إن مصدر الرمل في هذه الخرسانة هي الرمال الشاطئية لنهر الفرات بعد غسلها، أما الحصى فهي الحصى الطبيعية النهرية على شاطئ الفرات. أجري التحليل الحراري للبحص والرمل في هذه الحالة لعدم التأكد من تماثل تركيب النوعين. نلاحظ حصول فقد وزني متدرج في عينة الرمل حتى ٥٥٠ درجة وحتى ٦٠٠ درجة في عينة البحص (الفقد أقل من ٢%). ثم نلاحظ فقد وزني بين ٦٠٠-٨٥٠ مئوية حوالي ٤% بالنسبة للرمل و ٨% بالنسبة للبحص. لم تلاحظ أي قمة مميزة في منحنى DSC حتى ٥٠٠ درجة مئوية.

### ٣. بالنسبة للحصويات السربنتينية:

مصدر الرمل والبص واحد في هذه الحالة لذا تم تحليل عينة ممثلة واحدة للحصويات من الرمل. نلاحظ حصول فقد وزني متدرج حتى ٥٠٠ درجة (حوالي ٢%) وبين ٥٠٠-٧٠٠ درجة يحدث فقد سريع للوزن (فاقد كلي حوالي ١٥%). نلاحظ في الوقت نفسه عدم وجود أي حادثة مميزة في منحنى DSC حتى ٤٥٠ درجة، ثم قمة عريضة ماصة للحرارة عند حوالي ٥٥٠ درجة. يمكن أن تعزى هذه القمة إلى فقدان الماء المرتبط للسربنتين بعد ٥٠٠ درجة.

### ٤. بالنسبة للحصويات الهيماتيتية:

مصدر الرمل والبص واحد، لذا اعتمدت عينة رمل ممثلة وحيدة. نلاحظ فقد تدريجي منخفض للوزن (٢%) حتى ٤٠٠ درجة، ثم فقد متزايد للوزن حتى ٨٥٠ مئوية (حوالي ٧%). بالنسبة لمنحنى DSC نلاحظ وجود قمة عند حوالي ٥١٠ مئوية، يمكن أن تعزى للفقد المائي في الأكاسيد المائية للحديد المتواجدة مع الهيماتيت والماغنيت (الليمونيت مثلاً).

مما سبق يمكن الاستنتاج أن جميع الحصويات التي تم استعمالها ثابتة حرارياً حتى ٥٠٠ درجة مئوية، ويحدث تفكك للحصويات الدولوميتية بين ٥٠٠-٨٥٠ درجة (فقد وزني حوالي ٥٠%). في حين يحدث فقدان للماء المرتبط بنفس المجال الحراري السابق للحصويات الفراتية (حوالي ٦%) أما للحصويات السربنتينية (حوالي ١٥%) بينما للحصويات الهيماتيتية (حوالي ٧%).

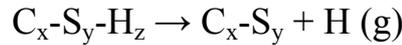
إن دراسة التحليل الحراري لعينات من الخرسانات السابقة باستخدام تقانات DSC و TGA يعطي النتائج التالية:

#### (a) الخرسانة الدولوميتية:

تم تحليل عنتين من هذه الخرسانة. يلاحظ الثبات الوزني حتى ٧٠٠ درجة مئوية، أما بين ٧٠٠-٨٥٠ درجة مئوية يحدث فقد حوالي ٤٠-٥٠% من الوزن. فسر هذا الفقدان سابقاً (لاحظ أن الحصويات تشكل حوالي ٧٠% من الوزن الكلي).

على منحنى DSC نلاحظ بعض القمم الصغيرة الماصة للحرارة بين ١٠٠-١٧٠ درجة مئوية، وقمة مميزة واضحة عند حوالي ٤٦٠-٤٧٠ درجة مئوية. كما نلاحظ وجود قمة ناشرة للحرارة عند حوالي ٣٤٠ درجة في أحد المخططين. تعزى هذه القمم إلى تحولات في الرابطة الإسمنتي المتصلب (لأن الحصويات ثابتة حتى ٥٠٠ درجة)، أهم هذه التحولات هي:

- تفكك الماء المرتبط في سيليكات الكالسيوم المائية (تشكل ٨٠% من العجينة الإسمنتية المتصلبة)، ويحدث بين ١٠٠-٨٥٠ درجة مئوية.



حيث C:CaO، S:SiO<sub>2</sub>، H:H<sub>2</sub>O. (رموز كيمياء الإسمنت). x، y، z: قيم تتعلق بالمركب.

وهو تفاعل ماص للحرارة (حوالي ٢٥٠-٥٠٠ كيلو جول/كغ).

- تفكك ماءات الكالسيوم (البورتلانديت)، وهو يشكل حوالي ١٠-١٥% من وزن العجينة الإسمنتية المتصلبة، ويحدث بين ٤٠٠-٦٠٠ درجة مئوية.



وهو تفاعل ماص للحرارة (حوالي ١٣٤٠ كيلو جول/كغ).

يعزى الاختلاف بين العينتين إلى اختلاف نسبة الرابطة الإسمنتي المتصلب في كل منهما.

#### (b) الخرسانة الفراتية:

أجري تحليل عينتين من هذه الخرسانة. لوحظ ثبات وزني حتى ٧٠٠ درجة مئوية في العينة الأولى، أما في الثانية فقدان وزني متدرج (حوالي ١٢%) حتى ٧٠٠ درجة مئوية. يعزى الاختلاف إلى أن العينة الأولى لم تحتوي على أي نسبة من الرابطة الإسمنتي المتصلب، بينما احتوت الثانية في معظمها على رابطة إسمنتي متصلب وبالتالي عكست العينة الأولى صفات الحصىيات أما الخلطة الثانية صفات الرابطة الإسمنتي ويؤكد ذلك تحليل DSC للعينتين، حيث لوحظ عدم وجود أي قمة مميزة حتى ٥٠٠ درجة في العينة الأولى (كما في عينة الحصىيات الفراتية)، بينما نلاحظ القمم التي سبق ملاحظتها في أنواع الخرسانات السابقة في العينة الثانية (تفككات الرابطة الإسمنتي المتصلب). وهذه القمم عند ٤٦٠ درجة تقريباً (قمة ماصة للحرارة)، وعند ٣١٠ مئوية (قمة عريضة ماصة للحرارة)، وقيم صغيرة ماصة بين ١٠٠-١٧٠ درجة.

#### (C) الخرسانة السربنتينية:

تم تحليل عينتين من هذه الخرسانة. نلاحظ فقداناً وزنياً ٨% تقريباً حتى ٥٥٠-٥٠٠ درجة مئوية. وفاقده وزني كلي حوالي ١٦,٥ حتى ٧٠٠ درجة، ثم ثباتاً وزنياً حتى ٩٠٠ درجة تقريباً.

يلاحظ قمة صغيرة ماصة للحرارة عند ٤٥٠ درجة في مخطط DSC للعينتين تعزى لتفككات الرابطة الإسمنتي (سبق ذكرها).

#### (d) الخرسانة الهيماتيتية:

أجري تحليل عينتين من هذه الخرسانة. لوحظ فاقد وزني في العينتين حوالي (٦-٩%) حتى الدرجة ٧٠٠ مئوية (حسب نسبة الرابطة الإسمنتي في العينتين المحللتين). بالنسبة لمخطط DSC نلاحظ أن المخطط للعينة الأولى مشابه تماماً لمخطط DSC للحصىيات الهيماتيتية (العينة لا تحوي رابطة إسمنتي). أما في العينة الثانية فنلاحظ أن المخطط مشابه لمخطط تفكك الرابطة الإسمنتي في أنواع الخرسانة السابق ذكرها.

### ثانياً: دراسة التنشيط النيتروني لخرسانة التدرج

تتعرض خرسانة تدرج المفاعل النووي إلى تدفقات عالية من النيوترونات ذات طاقة مختلفة. ومع تقدم سنوات عمل المفاعل تتراكم النظائر المشعة في هذه الخرسانة المحيطة بمفاعل الطاقة النووي خلال عملية التشغيل، وتصبح خرسانة التدرج بعد الانتهاء من استثمار المفاعل و تفكيكه نفاية مشعة. لذلك يصنف الجزء الداخلي من خرسانة التدرج البيولوجي في مفاعل الطاقة النووي كنفاية مشعة وذلك وفقاً لحدود الخلوص Clearance Level للنكليات المشعة الناتجة عن التشعيع الطويل والناتجة عن تفاعل النيوترونات مع النظائر المستقرة الداخلة في تركيب الاسمنت حسب توصيات الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

تختلف نظرية اختراق النيوترونات خلال طبقات ثخينة عن نظريات الانتشار النيتروني المستخدمة لحسابات الكتلة الحرجة، وعمر فيرمي Fermi age وغيرها. إذ ينصب الإهتمام في النوع الأخير على سلوك الجسيمات المتوسطة، أما في حسابات التدرج يكون الإهتمام منصباً على الجسيمات الاستثنائية التي تخترق مسافات كبيرة وتخضع لعدد صغير من الاصطدامات وتنشئت بزوايا صغيرة جداً أو تعاني بعض التغيرات الصغيرة في الطاقة. أما النيوترونات العادية

ليست مهمة في هذه الحالة لأنها لا تملك فرصة كبيرة لاخترق مسافات بعيدة في الدرع الخرساني، وتكمن الأهمية في التفاعلات التي تتعرض لها هذه النيوترونات.

إن طريقة التوهين النيتروني في تفاعلات الامتصاص والتشتت في الدرع الخرساني مشابهة لعملية توهين أشعة غاما، لكن في حالة النيوترونات تكون أكثر تعقيداً بسبب الأشكال المختلفة لتوابع التشتت والتغيرات في المقاطع العرضية الموافقة للتغيرات في الطاقة، لذلك فإن حل مشكلة التدرج النيتروني يعتمد على عملية التجريب أكثر لأن الحسابات النظرية يمكن أن تتنبأ بالتدرج الخاص بأشعة غاما على خلاف التدفقات النيترونية.

وغيابنا هنا هي الحصول على خرسانة إسمنتية من أجل تدرج مفاعل طاقة بحيث تكون المواد المكونة للخرسانة الإسمنتية منخفضة التنشيط الإشعاعي Low-activation materials . وبهذا الأسلوب يمكن أن نحصل على تدرج بيولوجي للمفاعل آمن أثناء تشغيل المفاعل بالإضافة إلى أنها ستكون في المستقبل بعد تفكيك المفاعل والانهاء من استثماره نفاية مشعة أقل ضرراً منها في حال لو تم استخدام مواد عيارية عادية.

يمكننا اعتماداً على حدود الخلوص للنكليدات المشعة CL (Clearance Level) الناتجة عن تفاعل مكونات الخرسانة مع النيوترونات أن نتنبأ بمدى صلاحية استخدام الخرسانة في تصميم الدرع البيولوجي لمفاعل طاقة نووي مقترض آمناً ضد التنشيط النيتروني، عندما يكون زمن التشعيع طويلاً جداً فإن عبارة النشاطية تصبح قريبة من النشاطية العظمى من أجل تدفق نيتروني معين وتسمى بالنشاطية الإشعاعية، ولا تتعلق قيمتها بعمر النصف للمنتج النشط إشعاعياً ولكنها تعتمد فقط على قيم التدفقات النيترونية والمقاطع العرضية:

$$Activity(A_s) = (\Phi_{th} \cdot \sigma_{X_{th}} + IR_{epth} \cdot \sigma_{X_{epth}}) \cdot N_X \quad (1-2)$$

حيث:  $\Phi_{th}$  - لتدفق النيتروني الحراري ( $n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ ).  
 $\sigma_{X_{th}}$  - المقطع العرضي الحراري للنكليد X (بارن).  
 $IR_{epth}$  - التدفق النيتروني الفوق حراري ( $n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ ).  
 $\sigma_{X_{epth}}$  - المقطع النيتروني الفوق حراري للنكليد X (بارن).  
 $N_X$  - عدد ذرات النكليد X في واحد غرام.

عند جداء المعامل المعادلة (1-2) بالحد  $EXP(-\lambda_x \cdot t_d)$  حيث  $\lambda_x$  ثابت تفكك النكليد  $X$  ( $sec^{-1}$ ) و  $t_d$  زمن التفكك ( $sec^{-1}$ ) يمكن حساب النشاطية عند أي لحظة زمنية بعد تفكيك المفاعل ومن ثم تقارن النشاطية المحسوبة من أجل كل نكليد بمستوى الخلوص CL الخاص به.

يتم تقييم النفاية المشعة التي تنتج عن تفكيك المفاعل بمستويات الخلوص CL (Clearance Levels)، ونخص بالذكر هنا الاسمنت المستخدم في التدرج البيولوجي، مستويات الترخيص كما هو موصى بها من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية. إن هذا المصطلح يدل على التصنيف الإشعاعي لتقدير فيما لو كانت المادة نفاية مشعة أم لا. وبسبب أن الخلطات الإسمنتية تحتوي على أكثر من نكليد مشع فإنه يمكن استخدام المعادلة (2-2) لتحديد مستوى الخلوص CL:

$$\sum_1^n \frac{C_i}{CL_i} \leq 1 \quad (2-2)$$

حيث:  $C_i$  - تركيز النكليد المشع  $i$  في المادة المنظورة ويقدر بـ (Bq/g)،  
 $CL_i$  - مستوى الخلوص للنكليد  $I$  في المادة المنظورة (Bq/g) .  
 $n$  - عدد النكليدات المشعة في الخليط.

إذا كان المجموع يساوي أو أقل من الواحد فإن المادة تتوافق مع مستوى الخلوص المطلوب (IAEA 1996). ولقد أهمل تأثير التنشيط النتروني للعناصر المكونة لخرسانة التدريع في الدراسات العلمية الأقدم. بينما المشكلات الأخرى كالتأثير الحراري أو تأثير المحتوى المائي فقد نوقشت بعناية. ويمكن أن يرد ذلك إلى أن عهد المفاعلات كان قد بدأ للتو، ولم تكن مشاكل النفايات المشعة الناتجة عن تفكيك المفاعلات مطروحة بعد.

حيث أن تأثر بعض العناصر التي تكون نسبتها في الخرسانة الإسمنتية أقل أو تساوي ١% في فعالية التدريع تكون كبير لأن لها مقاطع عرضية كبيرة للتنشيط النتروني. تعطي المعايير الألمانية الحد الأعلى لتركيز هذه العناصر، وعندما تكون التراكيز أدنى من هذه الحدود فإننا يمكن أن نهمل تأثيرها الإشعاعي.

من جهة أخرى تم إجراء العديد من الاختبارات لدراسة تأثير التنشيط النتروني على خرسانات التدريع خلال فترة الاستثمار وبعد تفكيك المفاعلات.

وقد استنتج كينو Kino بأن النكليدات  $^{152}\text{Eu}$ ،  $^{154}\text{Eu}$  و  $^{60}\text{Co}$  تشكل ٩٩ - ١٠% من النشاطية الكلية المتبقية وذلك وفقاً لقيمة مستوى الخلوص وهذا ينطبق على الخرسانة الإسمنتية العادية في لحظة تفكيك المفاعل.

#### • الطرق والمواد المستخدمة:

تم إجراء اختبارات على ست خلطات إسمنتية مرشحة للتدريع مكونة من خامات صخرية محلية أخذت من مناطق مختلفة في سوريا، وتتمتع هذه الخلطات بخصائص تدريجية مختلفة. وتم تحضير عينات من هذه الخلطات من لإجراء اختبار قابليتها للتنشيط النتروني. ويبين الجدول (٢-١) ترميز وأنواع الحصويات التي استخدمت في تحضير الخلطات.

الجدول (٢-١) أنواع الحصويات المستخدمة في الخلطات المختبرة.

حصويات خشنة و ناعمة من ضفاف نهر الفرات	MIX01
صخور من الهيماتيت	MIX02
حصويات ساحلية ناعمة غنية بخامات المعدنية وحصويات هيماتيتية خشنة	MIX03
صخور دولوميت ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )	MIX04
حصويات ساحلية ناعمة غنية بالخامات المعدنية وحصويات السربنتين	MIX05
حصويات من صخور السربنتين	MIX06

وقد جرى تحضير الخلطات باستخدام الاسمنت البورتلندي الأسود العادي بسبب توفره وتكلفته المنخفضة ولانتشار استخدامه في بناء دروع المفاعلات. وقد جرى تحليل هذه العينات لتحديد العناصر التي تشكل نشاطيات عالية. ومن خلال تحديد تراكيز العناصر وتطبيق المعادلة (٢-١) مع افتراض أن المفاعل هو مفاعل طاقة حقيقي معلوم

التدفقات النترونية الحرارية وفوق الحرارية وبذلك تم التقدير الحسابي للنشاطية ومعدلات الجرعة.

جرى تشعيع العينات الإسمنتية في المفاعل السوري منسر والذي يحتوي على خمس قنوات داخلية بالإضافة إلى خمس قنوات أخرى خارجية للتشعيع. والتدفق النيتروني الحراري في قناة التشعيع الداخلية من رتبة  $10^{12}$  (نترون/سم<sup>2</sup>ثا) أما في القناة الخارجية  $5 \times 10^{11}$  (نترون/سم<sup>2</sup>ثا). وقد تم إجراء ثلاثة أنواع من التشعيع وهي:

- التشعيع القصير لمدة ٣٠ ثانية وذلك لتحديد النكليدات ذات أعمار النصف القصيرة، والتي تم تبريدها لمدة ١٠ دقائق وبعد ذلك جرى قياسها لمدة ٣٠٠ ثانية باستخدام كاشف جرمانيوم عالي النقاوة متصل بمحلل متعدد الأفتية.
  - أما النوع الثاني والثالث من التشعيع فهما التشعيع المتوسط والتشعيع الطويل والذي يدوم لفترة ١٠ ساعات. أما زمن التبريد قبل القياس كان من ٤ إلى ٥ أيام من أجل تحديد النكليدات ذات أعمار النصف المتوسطة، في حين من أجل النكليدات ذات أعمار النصف الطويلة فجرى تبريدها أكثر من ٣ أسابيع.
- وقد استخدمت المعادلة (٢-٣) لتحديد تراكيز العناصر في جميع الخلطات:

$$X (\mu\text{g/g}) = \{ \text{cps}(X) / \text{cps}(X)_{(\text{std m})} \} \times X(\mu\text{g/g})_{(\text{std m})} \quad (3-2)$$

حيث:

- cps(X) مقدار العدات المقاسة بالثانية من أجل العينة المختبرة.
- cps(X)<sub>(std m)</sub> مقدار العدات المقاسة بالثانية من أجل المادة العيارية.
- X(μg/g)<sub>(std m)</sub> تركيز النكليد X في المادة العيارية.

#### • النتائج والمناقشة:

تم تحليل ثلاث عينات من مزيج أسمنتي باستخدام تقنية التحليل بواسطة انعراج الأشعة السينية XRD- analysis ، وذلك لتحديد الفلزات الأساسية المكونة لها. وقد استخدمت هذه التقنية فقط كمؤشر وذلك بسبب الارتياح الكبير في نتائج هذه التقنية. يظهر الجدول (٢-٢) نتائج هذا التحليل:

الجدول (٢-٢) : يبين التركيب الفلزي للخلائط المختبرة.

النسبة المئوية	المكونات	رقم الخلطة
٦٠ - ٥٠	كوارتز	MIX01
٣٥ - ٣٠	كالسيت	
١٥ - ١٠	مارغريت و طمي	
٥٠ - ٤٧	هيماتيت	MIX02
٢٨ - ٢٠	كالسيت	
٢٨- ٢٢	بورتلانديت	
٣ - ٢	كأولونيت	MIX03
٤٥ - ٣٣	هيماتيت	
٤٠ - ١٠	كالسيت، دولوميت	
٣١ - ٢٢	بورتلانديت	MIX04
٩ - ٣	كوارتز	
٥ - ٢	طمي، كأولونيت	
٩٠ - ٨٥	دولوميت	MIX04
١٠ - ٥	كالسيت	
٦ - ٤	بورتلانديت	

٧٠ - ٥٥	أنتيغوريت	<b>MIX05</b>
٣٥ - ٣٠	كالسيت	
٥ - ٠	كوارتز	
٨٠ - ٥٥	أنتيغوريت	<b>MIX06</b>
٤٠ - ١٢	كالسيت ، دولوميت	
٨ - ٥	كوارتز	

وتم تحديد العناصر التي يمكن أن تسبب مشاكل جراء قابليتها للتنشيط. وقد حُددت هذه العناصر باستخدام تقنية التحليل بالتنشيط النتروني. تماثل هذه التقنية بدورها ظروف الحالة الحقيقية. يعطي الجدول (٣-٢) نتائج التحليل بالتنشيط النيتروني.

الجدول (٢-٣) نتائج التحليل بالنشيط النيتروني للخلطات الستة في المفاعل السوري منسر.

element		1		2		3		4		5		6	
		3707		3708		3709		3710		3711		3712	
		Mix01		Mix02		Mix03		Mix04		Mix05		Mix06	
		Con	Un	Con	Un	Con	Un	Con	Un	Con	Un	Con	Un
Al	□g/g	40880	954	53746	1273	55148	1307	8263	188	9577	218	14129	323
As	□g/g	5.21	0.1										
Ba	□g/g	252	15	358	21	147	9	167	10	162	10	73.4	4.6
Ca	□g/g	31276	1229	137882	4550	130802	3867	277270	7899	107595	3341	101941	3197
Ce	□g/g	60	2	120	4	60	2	6.41	0.2	7.01	0.23	10.3	2.5
Co	□g/g	17.1	0.5	97	3	44	1	7.81	0.23	80.7	2.4	83	2.5
Cr	□g/g	300	19	133.3	8.2	567	35	52.7	3.3	1982	122	3591	221
Cs	□g/g	0.78	0.04	0.57	0.05	0.24	0.03	1	0.01	0.13	0.02	1.12	0.33
Eu	□g/g	1.2	0.08	4.09	0.25	1.97	0.12	0.24	0.02	0.19	0.01	0.3	0.02
Fe	□g/g	31432	922	226292	6633	104692	3068	10520	309	45884	1345	52718	1546
Hf	□g/g	1.91	0.04	12	0	6.62	0.14	0.54	0.01	0.52	0.02	0.69	0.02
La	□g/g	25.9	0.3	42.12	0.45	21.94	0.23	3.02	0.03	4.66	0.05		
Lu	□g/g	0.12	0.01	0.8	0.1	0.27	0.02						
Mg	□g/g	10743	309	10771	271	16579	407	46199	1314	84265	1801	79010	1688
Mn	□g/g	872	16	559	7	749	12	202	5	686	9	888	12
Na	□g/g	10177	126			1329	16	1667	21	2303	29		
Nb	□g/g	5.71	0.49	40	3	23	1.5	2.5	0.2	3.35	0.33		
Nd	□g/g	22.4	1.4	67	4	32.9	2.1						
Ni	□g/g	90	12	184	25	119	16	50.8	6.8	1532	202	1449	191
Rb	□g/g	20.4	0.6	12.5	0.6	7.87	0.38	2.82	0.12				
Sb	□g/g	2.42	0.1	0.67	0.04	0.27	0.02	0.08	0.01	0.11	0.02		
Sc	□g/g	10.4	0.4	17.13	0.64	10.1	0.4	2.29	0.09	9.16	0.34	12.77	0.48
Sm	□g/g	4.45	0.09	11	0.22	5.71	0.12	0.74	0.02	0.89	0.02		
Sr	□g/g	459	25	1744.9	94.4	675	37	195	11	188	11		
Ta	□g/g	0.49	0.04	5.3	0.4	2.67	0.2	0.18	0.01	0.19	0.02	0.42	0.03

Tb	□g/g	0.44	0.05	2.23	0.23	1.04	0.11	0.11	0.01	0.09	0.01	0.07	0.02
Th	□g/g	2.7	0.11	7.59	0.3	3.75	0.15	0.46	0.02	0.54	0.02	0.63	0.03
Ti	□g/g	2475	138	18400	660	20780	629	1049	93	764	155	2196	138
U	□g/g	1.62	0.1	5.72	0.36	2.7	0.17	1.15	0.07	0.81	0.05		
Yb	□g/g	1.27	0.06	8.73	0.39	3.96	0.18	0.27	0.01	0.4	0.02	0.56	0.04
Zn	□g/g	54.9	1.3	73.7	1.9	39.4	1.2	41.53	0.93				
Zr	□g/g	78.5	8.4	545	28	284	15	36.07	3.12				

والحد الذي يمكن إهماله وفقاً للمواصفة الألمانية [٧] هو 10 ppm لكل من Sm , Eu و 1000 ppm لأجل Co, Mn, Ni و Ti . أما بالنسبة لـ Fe, Ca, Mg, Na فهو 10,000 ppm . وهناك عناصر أخرى التي كان ينبغي أن تؤخذ بعين الإعتبار لم تكشف في الخلطات الست المختبرة. ولكن يمكن تلخيص الحدود المسموح بها وفقاً لهذه المواصفة في الجدول (٢-٤):

الجدول (٢-٤): الحدود المسموح بها للعناصر في الخرسانة الأسمنتية وفقاً للمواصفة الألمانية.

Fe, Na, K, Mg, Ba, S, Cl, P	< 1 %
Ti, Mn, Ni, Co	< 0.1 %
In, Dy, Li	< 0.01 %
Cd, Eu, Sm	< 0.001 %
B, Gd	<0.00001 %

وبالتالي يمكن تحديد نسب العناصر وفقاً لنتائج التحليل بالتنشيط النيتروني ومقارنتها مع الحدود المسموح بها في المواصفة الألمانية حسب الجدول (٢-٥):

الجدول (٢-٥): يعرض نسب العناصر في الخلطات الستة.

Mix 01			Mix02			Mix 03		
Fe	%	3.1432	Fe	%	22.6292	Fe	%	10.4692
Mg	%	1.0743	Mg	%	1.0771	Mg	%	1.6579
Mn	%	0.0872	Sm	%	0.0011	Ti	%	2.078
Na	%	1.0177	Ti	%	1.84			
Ti	%	0.2475						
Mix 04			Mix 05			Mix 06		
Fe	%	1.052	Fe	%	4.5884	Fe	%	5.2718
Mg	%	4.6199	Mg	%	8.4265	Mg	%	7.901
Ti	%	0.1049	Ni	%	0.1532	Ni	%	0.1449
						Ti	%	0.2196

حسبت نتائج التنشيط باعتماد التدفق الحراري القريب من مرتبة  $10^9$  والتدفق الفوق حراري  $10^{10}$  وأخذت هذه التدفقات من محطة أتوتشا النووية الأرجنتينية (Atucha 1 NPP) كمفاعل نموذجي مرجعي [١٣]. واعتماداً على المعادلة (٢-١) تم حساب النشاط الإشعاعي للعناصر التي تم تحليلها، وفقاً للجدول (٢-١)، في الخلطات الأسمنتية الستة وحصلنا على النتائج التالية بعد ٣ أيام من توقف المفاعل وبعد سنة كاملة وذلك إما لإجراء صيانة أو من أجل تفكيك المفاعل بعد انتهاء عمله يعرض الجدول (٢-٦) تلك النتائج.

الجدول (٦-٢): نتائج حسابات النشاط الإشعاعي النوعي للنكليدات المتشكلة بعد التعرض للتدفق النيتروني لمفاعل أرجنتين مفترض (Atucha 1 NPP) بعد إطفاء المفاعل وتبريده لمدة ٣ أيام وبعد سنة من تفكيك المفاعل.

النشاطية بعد ٣ أيام												
	Mix01		Mix02		Mix03		Mix04		Mix05		Mix06	
	Activity	Un	Activity	Un	Activity	Un	Activity	Un	Activity	Un	Activity	Un
As-76	3322.3	63.8	0	0.0E+00	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba-131	2333.7	139	3315.3	1.9E+02	1361.3	83.345	1546.5	92.6	1500.2	92.606	679.73	42.599
B-133	15.074	0.9	21.414	1.3E+00	8.7929	0.5383	9.9892	0.6	9.6901	0.5982	4.3905	0.2752
Ba-135m	1164.9	69.3	1654.9	9.7E+01	679.52	41.603	771.97	46.2	748.86	46.226	339.3	21.264
Ca-47	58.463	2.3	257.74	8.5E+00	244.5	7.2284	518.29	14.8	201.12	6.2452	190.55	5.976
Ce-137	1.3929	0.05	2.7859	9.3E-02	1.3929	0.0464	0.1488	0	0.1627	0.0053	0.2391	0.058
Ce-137m	82.947	2.76	165.89	5.5E+00	82.947	2.7649	8.8616	0.28	9.691	0.318	14.239	3.4561
Ce-139	8.4477	0.28	16.895	5.6E-01	8.4477	0.2816	0.9025	0.03	0.987	0.0324	1.4502	0.352
Ce-141	1151.5	38.4	2303	7.7E+01	1151.5	38.384	123.02	3.84	134.54	4.4142	197.68	47.98
Ce-143	78.772	2.63	157.54	5.3E+00	78.772	2.6257	8.4155	0.26	9.2032	0.302	13.522	3.2822
Co-60	135513	3962	768700	2.4E+04	348689	7924.7	61892	1823	639527	19019	657753	19812
Cr-51	14029	889	6233.5	3.8E+02	26515	1636.7	2464.4	154	92685	5705.1	167927	10335
Cs-134	13846	710	10118	8.9E+02	4260.3	532.54	17751	178	2307.7	355.03	19881	5857.9
Eu-152	140740	9383	479688	2.9E+04	231048	14074	28148	2346	22284	1172.8	35185	2345.7
Eu-154	43585	2906	148553	9.1E+03	71552	4358.5	8717	726	6901	363.21	10896	726.42
Fe-59	12307	361	88602	2.6E+03	40991	1201.2	4119	121	17965	526.62	20641	605.32
Hf-175	50.207	1.05	315.44	0.0E+00	174.02	3.6801	14.195	0.26	13.669	0.5257	18.138	0.5257
La-140	4036.8	46.8	6564.9	7.0E+01	3419.6	35.848	470.7	4.68	726.32	7.7931	0	0
Lu-177	107.3	8.94	715.31	8.9E+01	241.42	17.883	0	0	0	0	0	0
Na-24	33595	416	0	0.0E+00	4387.1	52.816	5502.8	69.3	7602.3	95.73	0	0
Nd-147	400.24	25	1197.2	7.1E+01	587.86	37.523	0	0	0	0	0	0
Nd-147	2E-10	0	5E-10	2.9E-11	2E-10	2E-11	0	0	0	0	0	0
Ni-65	3E-07	0	5E-07	7.0E-08	3E-07	4E-08	1E-07	0	4E-06	6E-07	4E-06	5E-07
Rb-86	6867.9	202	4208.3	2.0E+02	2649.5	127.93	949.39	40.4	0	0	0	0
Sb-122	6698.5	277	1854.6	1.1E+02	747.36	55.36	221.44	27.7	304.48	55.36	0	0
Sb-124	5788	239	1602.5	9.6E+01	645.77	47.835	191.34	23.9	263.09	47.835	0	0
Sc-46	18915	728	31155	1.2E+03	18370	727.51	4165	164	16660	618.38	23226	873.01
Sm-145	0.4014	0.01	0.9923	2.0E-02	0.5151	0.0108	0.0668	0	0.0803	0.0018	0	0
Sm-153	51074	1033	126251	2.5E+03	65536	1377.3	8493.3	230	10215	229.55	0	0
Sr-85	1643.7	89.5	6248.5	3.4E+02	2417.2	132.5	698.3	39.4	673.23	39.391	0	0
Sr-89	0.0002	0	0.0008	4.1E-05	0.0003	2E-05	8E-05	0	8E-05	5E-06	0	0
Sr-89	1508.3	82.2	5733.8	3.1E+02	2218.1	121.58	640.77	36.1	617.77	36.146	0	0
Ta-182	10903	890	117935	8.9E+03	59413	4450.4	4005.3	223	4227.9	445.04	9345.8	667.56
Tb-160	6937.6	788	35161	3.6E+03	16398	1734.4	1734.4	158	1419	157.67	1103.7	315.34

Yb-169	1738.8	82.1	11952	5.3E+02	5421.7	246.44	369.66	13.7	547.64	27.382	766.7	54.764
Yb-175	610.21	28.8	4194.6	1.9E+02	1902.7	86.486	129.73	4.8	192.19	9.6096	269.07	19.219
Zn-65	1437.5	34	1929.7	5.0E+01	1031.6	31.42	1087.4	24.4	0	0	0	0
Zr-95	246.26	26.4	1709.7	8.8E+01	890.92	47.056	113.15	9.79	0	0	0	0
Zr-97	36.951	3.95	256.54	1.3E+01	133.68	7.0607	16.979	1.47	0	0	0	0
Zr-97	36.951	3.95	256.54	1.3E+01	133.68	7.0607	16.979	1.47	0	0	0	0

النشاط الإشعاعي النوعي بعد سنة من تفكيك المفاعل												
	Mix01		Mix02		Mix03		Mix04		Mix05		Mix06	
	Activity	Un	Activity	Un	Activity	Un	Activity	Un	Activity	Un	Activity	Un
As-76	1.43E-96	3E-98	0	0.0E+00	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba-131	1.36E-06	8E-08	2E-06	1.1E-07	7.924E-07	5E-08	9E-07	5E-08	9E-07	5E-08	4E-07	2E-08
B-133	8.82E-67	5E-68	1E-66	7.4E-68	5.147E-67	3E-68	6E-67	4E-68	6E-67	4E-68	3E-67	2E-68
Ba-135m	8.69E-89	5E-90	1E-88	7.2E-90	5.071E-89	3E-90	6E-89	3E-90	6E-89	3E-90	3E-89	2E-90
Ca-47	9.41E-23	4E-24	4E-22	1.4E-23	3.936E-22	1E-23	8E-22	2E-23	3E-22	1E-23	3E-22	1E-23
Ce-137	3.5E-291	1E-292	7E-291	2E-292	3.55E-291	1E-292	4E-292	1E-293	4E-292	1E-293	6E-292	1E-292
Ce-137m	7.78E-75	3E-76	2E-74	5.2E-76	7.784E-75	3E-76	8E-76	3E-77	9E-76	3E-77	1E-75	3E-76
Ce-139	1.364983	0.0455	2.73	9.1E-02	1.3649832	0.0455	0.1458	0.0045	0.1595	0.0052	0.2343	0.0569
Ce-141	0.510812	0.017	1.0216	3.4E-02	0.5108122	0.017	0.0546	0.0017	0.0597	0.002	0.0877	0.0213
Ce-143	4.4E-78	1E-79	9E-78	2.9E-79	4.399E-78	1E-79	5E-79	1E-80	5E-79	2E-80	8E-79	2E-79
<b>Co-60</b>	<b>118940.3</b>	<b>3477.8</b>	<b>674691</b>	<b>2.1E+04</b>	<b>306045.33</b>	<b>6955.6</b>	<b>54323</b>	<b>1599.8</b>	<b>561315</b>	<b>16693</b>	<b>577313</b>	<b>17389</b>
Cr-51	1.633006	0.1034	0.7256	4.5E-02	3.0863808	0.1905	0.2869	0.018	10.789	0.6641	19.547	1.203
<b>Cs-134</b>	<b>9917.328</b>	<b>508.58</b>	<b>7247.3</b>	<b>6.4E+02</b>	<b>3051.4854</b>	<b>381.44</b>	<b>12715</b>	<b>127.15</b>	<b>1652.9</b>	<b>254.29</b>	<b>14240</b>	<b>4195.8</b>
<b>Eu-152</b>	<b>133665.6</b>	<b>8911</b>	<b>455577</b>	<b>2.8E+04</b>	<b>219434.36</b>	<b>13367</b>	<b>26733</b>	<b>2227.8</b>	<b>21164</b>	<b>1113.9</b>	<b>33416</b>	<b>2227.8</b>
<b>Eu-154</b>	<b>40233.07</b>	<b>2682.2</b>	<b>137128</b>	<b>8.4E+03</b>	<b>66049.282</b>	<b>4023.3</b>	<b>8046.6</b>	<b>670.55</b>	<b>6370.2</b>	<b>335.28</b>	<b>10058</b>	<b>670.55</b>
Fe-59	43.78441	1.2843	315.22	9.2E+00	145.83473	4.2737	14.654	0.4304	63.916	1.8736	73.436	2.1536
Hf-175	1.393198	0.0292	8.7531	0.0E+00	4.82878	0.1021	0.3939	0.0073	0.3793	0.0146	0.5033	0.0146
La-140	4.58E-62	5E-64	7E-62	8.0E-64	3.878E-62	4E-64	5E-63	5E-65	8E-63	9E-65	0	0
Lu-177	0.09972	0.0083	0.6648	8.3E-02	0.2243708	0.0166	0	0	0	0	0	0
Na-24	5.1E-171	6E-173	0	0.0E+00	6.6E-172	8E-174	8E-172	1E-173	1E-171	1E-173	0	0
Nd-147	4.76E-08	3E-09	1E-07	8.5E-09	6.992E-08	4E-09	0	0	0	0	0	0
Nd-147	0	0	0	0.0E+00	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni-65	0	0	0	0.0E+00	0	0	0	0	0	0	0	0
Rb-86	0.009929	0.0003	0.0061	2.9E-04	0.0038305	0.0002	0.0014	6E-05	0	0	0	0
Sb-122	2.92E-37	1E-38	8E-38	4.8E-39	3.26E-38	2E-39	1E-38	1E-39	1E-38	2E-39	0	0

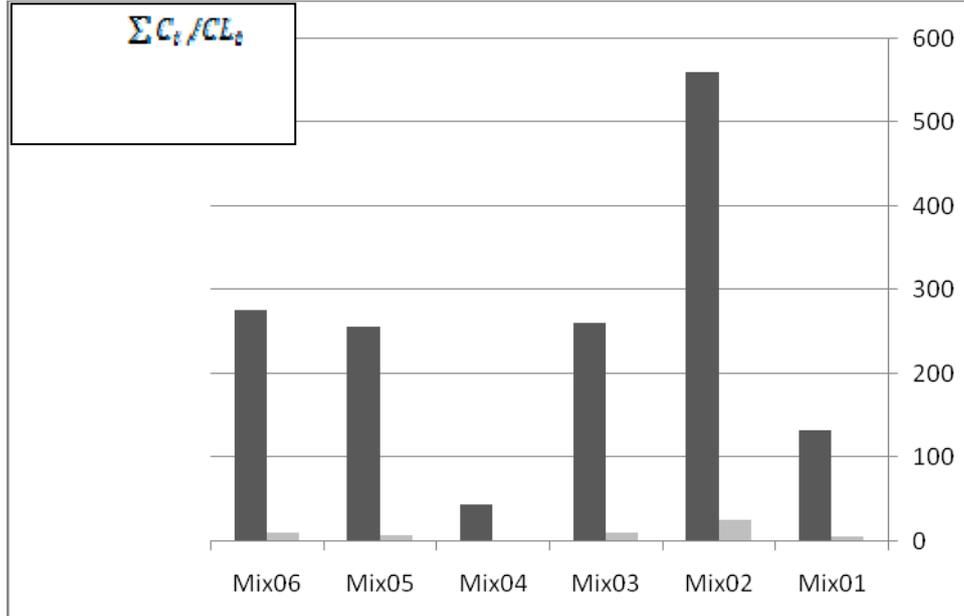


وتم حساب قيم  $\sum_i C_i/CL_i$  للخلطات الستة اعتماداً على النشاطيات المحسوبة في الجدول (٦-٢) وذلك بعد تفكك المفاعل بسنة واحدة. يعرض الجدول (٧-٢) نتائج الحسابات:

الجدول (٧-٢): يعرض قيم  $\sum_i C_i/CL_i$  للخلطات الستة بعد سمنة من تفكك المفاعل.

	Mix01	Mix02	Mix03	Mix04	Mix05	Mix06
$\square C_i/CL_i$	132.4	559	261.15	44.569	256.26	275.91
Un	6.8226	25.5	10.968	2.0234	8.0029	10.656

ويبين الشكل رقم (١-٢) بأن قيم  $\sum_i C_i/CL_i$  قد زادت على ١ بشكل كبير. ويظهر أيضاً بأن الخلطة رقم ٤ لها القيمة الأدنى بين الخلطات الست.



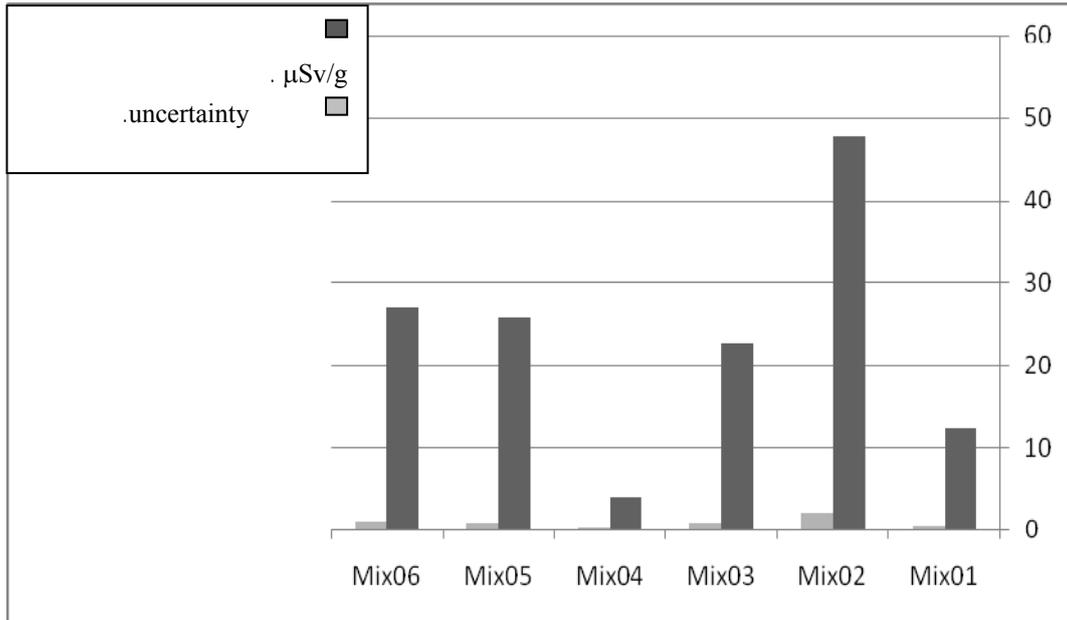
الشكل (١-٢): قيم  $\sum_i C_i/CL_i$  لكل من الخلطات الست.

يعرض الجدول (٨-٢) حساب معدل الجرعة الناتجة عن التعرض لوحد غرام من الخرسانة الإسمنتية بعد التبريد لمدة ثلاثة أيام على اعتباره منبع نقطي.

الجدول (٨-٢): حسابات معدل الجرعة الإشعاعية لغرام واحد من الخلطة الأسمنتية.

	Mix01	Mix02	Mix03	Mix04	Mix05	Mix06
Dose rate	12.332	47.7	22.553	3.8998	25.747	26.882
uncertainty	0.5025	2.02	0.8547	0.1529	0.7912	0.9192

ويرسم العلاقة بين الجرعة للخلطات الست نحصل على الشكل (٢-٢).



الشكل (٢-٢): يوضح العلاقة بين قيم معدلات الجرعة ( $\mu\text{Sv/h}$  لأجل غرام واحد الخرسانة) من أجل كل خلطة من الخلطات الخرسانية.

#### • نتيجة التنشيط

تتأثر كل الخلطات بالنيوترونات المنخفضة الطاقة، حيث تستمر النشاطات الإشعاعية بعد الانتهاء من استثمار المفاعل وإغلاقه. وهذه النشاطات تتجاوز مستويات الخلوص المطلوبة، الأمر الذي يجعل من درع الحماية الإشعاعية نفاية مشعة بسبب النظائر  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ، إلا أن الخلطة رقم ٤ تبدي درجة نشاطية ومعدل جرعة منخفضين كما يبين الشكل (١-٢) و الشكل (٢-٢).

تحتوي كل خرسانات التدرج السورية على العناصر:  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mg}$ ، و  $\text{Ti}$  بعدلات تراكيز لا يمكن تجاهلها كما تعد تراكيز العنصرين  $\text{Fe}$  و  $\text{Ti}$  الأكثر أهمية في الخرسانات المكونة من صخور الهيماتيت، ولها نفس الأهمية أيضاً للخرسانات المكونة من صخور السربنتين، الحصى النهرية، وكذلك صخور الدولوميت شائعة الاستخدام، بينما تكون تراكيز عنصر  $\text{Mg}$  أكثر أهمية لخرسانات الدولوميت والسربنتين وأقل أهمية لخرسانات الهيماتيت. تتجاوز تراكيز عنصر  $\text{Ni}$  التي لوحظت في حصى السربنتين الحد المسموح بسبب احتواء حصى الأنهار على  $\text{Na}$  بينما يتجاوز  $\text{Sm}$  الحد المسموح بمقادير ضئيلة في خرسانات الهيماتيت.

#### النتائج والتوصيات العامة:

١. مع ارتفاع درجة حرارة تسخين العينات حتى ١٠٠ درجة مئوية نلاحظ فقداً صغيراً في معاملات التوهين سواء للنيوترونات أو لأشعة غاما أو في الكثافة. ويعزى ذلك لفقدان ماء التبخر (الرطوبة) في العينات. أما من ناحية المقاومة الميكانيكية فلا يحصل أي هبوط يذكر للمقاومة للخرسانة الهيماتيتية والخرسانة الفراتية، ويحصل هبوط بمقدار ١٠-١٥% للخرسانة الدولوميتية و السربنتينية.

٢. من ١٠٠ حتى ٤٠٠ درجة لا يحصل أي تغيير ملحوظ في معاملات التوهين سواء للنيوترونات أو لأشعة غاما (هبوط صغير بين ٢٠٠-٣٠٠ درجة لمعامل التوهين النيوتروني

للخلطة الهيماتيتية). أما الكثافة فتبقى ثابتة للخرسانة الفراتية والخرسانة الهيماتيتية، وتنخفض قليلاً للخرسانة السربنتينية و الخرسانة الدولوميتية بين ٣٠٠ و ٤٠٠ درجة. تزداد المقاومة الميكانيكية بين ٢٠٠ و ٣٠٠ درجة وتعود لتتناقص بين ٣٠٠ و ٤٠٠ باستثناء الخرسانة الدولوميتية التي تتناقص على طول المجال من ١٠٠ إلى ٤٠٠ درجة.

٣. يثبت معامل التوهين لأشعة غاما والكثافة بين ٤٠٠-٥٠٠ درجة لجميع الخلطات باستثناء الخرسانة الدولوميتية التي يحدث فيها تناقص لهذا المعامل (بسبب بدء تفكك الكربونات). في حين يتناقص معامل التوهين النيتروني في هذا المجال. وتزداد المقاومة الميكانيكية لجميع الخلطات في هذا المجال باستثناء الخرسانة الدولوميتية.

٤. بعد ٥٠٠ درجة تنهار عينات الخرسانة الفراتية والدولوميتية. في حين يستمر انخفاض معامل التوهين النيتروني للخرسانة الهيماتيتية والخرسانة السربنتينية.

٥. عند ٥٥٠ درجة تصبح المقاومة الميكانيكية للخرسانة السربنتينية أقل من ٥٠% من قيمتها الأصلية. في حين تبلغ الخرسانة الهيماتيتية قيمة ٥٠% من مقاومتها الأصلية عند ٦٥٠ درجة مئوية.

٦. تعد الخرسانة الهيماتيتية هي الأفضل في درجات الحرارة العادية (حوالي ٢٠ مئوية). وذلك من حيث الكفاءة التدريجية لأشعة غاما والنيوترونات والمقاومة الميكانيكية.

٧. تتأثر كل الخلطات بالنيوترونات المنخفضة الطاقة، حيث تستمر النشاطات الإشعاعية بعد الانتهاء من استثمار المفاعل وإغلاقه. وهذه النشاطات تتجاوز مستويات الخلوص المطلوبة، الأمر الذي يجعل من درع الحماية الإشعاعية نفاية مشعة بسبب النظائر  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ، إلا أن الخلطة رقم ٤ تبدي درجة نشاطية ومعدل جرة منخفضة كما بين الشكل (٢-١) والشكل (٢-٢).

٨. تحتوي كل خرسانات التدريع السورية على العناصر:  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mg}$ ، و  $\text{Ti}$  بمعدلات تراكيز لا يمكن تجاهلها كما تعد تراكيز العنصرين  $\text{Fe}$  و  $\text{Ti}$  الأكثر أهمية في الخرسانات المكونة من صخور الهيماتيت، ولها نفس الأهمية أيضاً للخرسانات المكونة من صخور السربنتين، الحصى النهري، وكذلك صخور الدولوميت شائعة الاستخدام، بينما تكون تراكيز عنصر  $\text{Mg}$  أكثر أهمية لخرسانات الدولوميت والسربنتين وأقل أهمية لخرسانات الهيماتيت.

٩. تتجاوز تراكيز عنصر  $\text{Ni}$  التي لوحظت في حصى السربنتين الحد المسموح بسبب احتواء حصى الأنهار على  $\text{Na}$  بينما يتجاوز  $\text{Sm}$  الحد المسموح بمقادير ضئيلة في خرسانات الهيماتيت.

١٠. من وجهة نظر التنشيط النيتروني فإن النتائج لا تتوافق مع المواصفة الألمانية:

( - DIN 25413, Klassifikation von Abschirmbetonen nach Elementanteilen )

( Abschirmung von

حيث أن العناصر  $\text{Ti}$ ,  $\text{Mg}$  و  $\text{Ba}$  لا تشكل نظائر مشعة ذات أعمار نصف طويلة، لكن العناصر  $\text{Co}$ ,  $\text{Eu}$  و  $\text{Cs}$  والتي تم إهمالها وفقاً للمواصفة الألمانية فإنها تعتبر النكليدات المشعة الأكثر أهمية والأكثر تأثيراً بين العناصر التي تم كشفها بالتحليل.

١١. إن هذه النتائج هي لخرسانة إسمنتية غير مسلحة، إذ أن حديد التسليح يجب أن يؤخذ بالحسبان في الحالات الحقيقية.

١٢. لم يؤخذ أثر التخريب الإشعاعي وخصوصاً النيتروني وأثره على مركبات الخرسانة لعدم توفر الامكانيات حالياً داخل القطر، لذلك نقترح من أجل دراسة التخريب الإشعاعي (في دراسات مستقبلية) التعاون مع جهات خارجية في هذا الأمر (روسيا الاتحادية أو أوكرانيا مثلاً)، أو أي جهة يمكن ان تتعاون في هذا المجال.

١٣. تعتبر هذه النتائج هامة جداً لأي مشروع مفاعل نووي مستقبلي في سوريا.

## **كلمة شكر**

في نهاية هذا البحث نتوجه بالشكر الجزيل للسيد المدير العام لهيئة الطاقة الذرية  
الاستاذ الدكتور ابراهيم عثمان لدعمه المتواصل للبحث العلمي في الهيئة.

- ACI Standard Practice for Selecting Proportions for normal, heavy, and mass concrete (ACI 211.1-81).
- ASTM C638. Standard Descriptive Nomenclature of Constituents of aggregates for Radiation shielding concrete.
- ASTM C637. Standard Specification for Aggregates for Radiation Shielding Concrete.
- Duberrtret, L. , 1953, Geologie des roches, vertees du nord-ouest de la Syrie et du Hatay notes et memoires moyen orient. 6, 179p.
- Harold S.Davist, 1958. High Density Concrete for Shielding Atomic Energy Plants, ACI journal, may 1958.
- Harold davis, Fredrick L.Browne and Harry C.Witter, 1956. Properties of High density Concrete Made with Iron aggregates, ACI journal, march 1956.
- Jaeger, R.G. et, al. 1975. Engineering Compendium On Radiation Shielding, Vol. II: Shielding Materials, Springer-Verlag.
- James O.Henrie, 1959. Properties of Nuclear Shielding Concrete, ACI journal, July 1959.
- Kallan M.F. 1989. Concrete Radiation shielding, Longman Scientific & Technical, England, 1989.
- Mouty M. et. al, 1992, The volcanic activity in Syria & Lebanon between Jurassic & actual. Schiz mineral. Pertogr, 72.91-105.
- Parrot J. F. 1977, Assemblage ophiolitique de Baer-Bassit et termes effusif de volcano- sediment aiv travaux et documents de O.R.S.T.O.M.N. 72.
- Technoexport, 1966: Explanatory notes, sheet I.37 XIX, I.36 XXIV, sheet I.37 XIV, sheet Damascus.
- Witte L.P. and Backstorm J.E., 1954. Properties of Heavy Concrete Made with Barite aggregates, ACI journal, September 1954.
- Bazant, Z.P. & Kaplan, M.F. 1996. Concrete at High Temperatures Material Properties and Mathematical Models. Longman Group. 412 pp, ISBN 0-582-08626-4.
- Kaplan, M.F. 1989. Concrete Radiation Shielding, Longman Group
- Khoury, G.A. 1996. Performance of Heated Concrete- Mechanical Properties, Contract NUC/56/3604A with Nuclear Installations Inspectorate, Imperial College, London.
- Peehs, M., Skokan, A. &Reimann, M. 1979. The Behavior of Concrete in Contact with Molten Corium in Case of a Hypothetical Core Melt Accident. Nuclear Technology. Vol. 46, No. 2. ISSN 0029-5450.

- Tuomo Sevon, 2005. Molten Core – Concrete Interaction in Nuclear Accidents: Theory and Design of an Experimental Facility. Helsinki University of Technology, Finland
- Kaplan, M.F, Concrete Radiation Shielding, Longman Group, 1989.
- [2] IAEA, Clearance levels for Radionuclides in Solid Materials, IAEA-TECDOC-855, IAEA, Vienna, 1996.
- Susan J.Parry, Activation Spectrometry in Chemical Analysis, Volume 119 in Chemical Analysis, copyright © 1991 by John Wiley & Sons.Inc
- R. G. Jaeger, Engineering compendium on radiation shielding, Vol II; shielding materials, Springer-Verlag, 1975.
- ASTM C637. Standard Specification for Aggregates for Radiation Shielding Concrete.
- ANSI/ANS-6.4-1985, Guidelines on the nuclear analysis and design of concrete radiation shielding for nuclear power plants.
- DIN 25413, Klassifikation von Abschirmbetonen nach Elementanteilen – Abschirmung von Neutronenstrahlung, Deutsche Norm, Juli 1991 (in German).
- A. Suzuki, T. Iida, and J. Moriizumi, Trace element with large activation cross section in concrete materials in Japan, J. of Nuclear Science and Technology, 542, 2001.
- M. Uematsu, H. Nagano, and Y. Naito, Studies on limestone concrete as a low-activation structural material for nuclear power plants, J. of Nuclear Science and Technology, 362, 2000.
- M. Kinno, K. Kimura, and T. Nakamura, Raw materials for low-activation concrete neutron shield, J. of Nuclear Science and Technology, 1275, 2002.
- M. H. Kharita, M. Takeyeddin, M. Alnassar and S. Yousef, Development of special radiation shielding concretes using natural local materials and evaluation of their shielding characteristics, Progress in Nuclear Energy (accepted in 4 Oct. 2007, in press).
- S. Yousef, M. AlNassar, B. Naoom, S. Alhajali and M. H. Kharita, Heat Effect on the Shielding and strength Properties of Some Local Concretes, Progress in Nuclear Energy (accepted, in press).
- Lerner, A.M. y Madariaga, M,R. Neutronic Calculations for Reactor Pressure Vessel of Atucha I Nuclear Power Plant. Workshop on Processing of Nuclear Data for Use in Power Reactor Pressure Lifetim Assessment. Viena, Austria, 19-23 octubre 1998.

- أحمد خالد المالح، ١٩٧٩. التوضعات الحطامية الحديدية في قاعدة الكريتاسي بسلسلة الكرداغ- منطقة عفرين. المجلة الجيولوجية السورية- العدد الرابع -تموز ١٩٧٩.
- بسام قطاع و ميساء قنبر، ١٩٩٣. مسح استطلاعي من أجل الكشف عن الفلزات الثقيلة في الرمال الشاطئية على امتداد الساحل السوري- هيئة الطاقة الذرية السورية- قسم الجيولوجيا-ج/ت د ع ٦٤.
- د. ا.ل. كنيبر و محمد رقية، ١٩٨٥. الوضع البنيوي للمعقد الأفيوليتي في شمال غرب سوريا- المجلة الجيولوجية السورية- العدد الثامن-أذار ١٩٨٥.
- راتب رزوق و وهيب زين الدين، ١٩٨٥. تكنولوجيا البيتون - جامعة دمشق (كلية الهندسة المدنية)، ١٩٨٥-١٩٨٦.

- رالف روسكي و عصام جرمقاني، ١٩٧٧. مذكرة إيضاحية عن الخريطة الجيولوجية السورية- مقياس ١/٥٠٠٠٠٠ - رقعة بانياس طرطوس، إعداد: شابو يوسف- المؤسسة العامة للجيولوجيا و الثروة المعدنية.
- ر. حتاحت، ١٩٦٨. دراسة تركيز حديد راجو- تقرير المؤسسة العامة للجيولوجيا و الثروة المعدنية.
- زاهر عثمان ١٩٨٥. بيتون تدريع المفاعلات النووية (دراسة لنيل البكالوريوس في الهندسة المدنية).
- فاضل معقدة، ١٩٦٧. تقارير عن الظواهر الباريتية في منطقتي الطبقة و عايد الكبير- المؤسسة العامة للجيولوجيا.
- ف.غ. كازامين و ف.ف. كولاكوف، ١٩٦١. المذكرة الإيضاحية عن الخارطة الجيولوجية لمنطقة البسيط- مقياس ١/٥٠٠٠٠٠.
- محمد أبو رومية، ١٩٧٩. تركيز خامات الحديد السورية في منطقة الزبداني- المجلة الجيولوجية السورية- العدد الرابع- تموز ١٩٧٩.
- محمد برهان عطائي، ١٩٨١. الثروات الفلزية الاقتصادية في القطر العربي السوري - التوضعات المعدنية- كتاب الجيولوجيا الاقتصادية، ١٩٨١-١٩٨٢.
- محمد راتب سطاس و أندرواس سعود، ١٩٨٩. مواد البناء و اختباراتها - جامعة دمشق (كلية الهندسة المدنية)، ١٩٨٩-١٩٩٠.
- محمد رقية، ١٩٨١. التركيب المينرالوجي و الكيميائي و أنواع الخامات الحديدية في منطقة الزبداني- المجلة الجيولوجية السورية- العدد السابع-ت ٢ ١٩٨١.
- محمد شعبان نجيب، ١٩٧٥. تقرير عن مشروع حديد الزبداني - المؤسسة العامة للجيولوجيا و الثروة المعدنية.
- محمود عباس و م. محسن علي موسى ١٩٩٢. دراسة أولية للخصائص المينرالوجية لفلزات الحديد في منطقتي راجو و القدموس - هيئة الطاقة الذرية السورية - قسم الجيولوجيا- ج/ت د ع ٤٨ - تشرين ثاني ١٩٩٢.
- محمود عباس و محسن علي موسى، ١٩٩٣. دراسة أولية للخصائص المنرالوجية لحجر رمل الأساس في سلسلة لبنان الشرقية- هيئة الطاقة الذرية السورية - قسم الجيولوجيا- ج/ت د ع ٥٢.
- م.ع. حميدي، ١٩٨٥. معطيات جديدة عن تركيب كروميت المجموعة الأفوليتية في شمال غرب سوريا- المجلة الجيولوجية السورية- العدد الثامن- آذار ١٩٨٥.
- معتز حواصل، ١٩٨١. تقرير عن أعمال فرقة تنقيب عن البورون خلال عام ١٩٨١، تقرير لمحة عن البورون في سوريا- وزارة النفط و الثروة المعدنية - المؤسسة العامة للجيولوجيا.

ملحق (١): تأثير الحرارة على المقاومة الميكانيكية للخرسانة.  
 جدول (م ١-١): تغير المقاومة المكعبية على الضغط لمكعبات ١٠\*١٠\*١٠ سم مع تغيرات درجة الحرارة  
 لخرسانة محلية ذات حصويات دولوميتية.

رقم العينة	درجة حرارة التسخين	مقاومة الكسر	مقاومة الكسر بعمر ٢٨ يوم	متوسط المقاومة بعمر ٢٨ يوم	الانحراف المعياري	النسبة إلى المقاومة بدون تسخين
D-1	500	219,000	175,200	160,827	13,015	0,550
D-2		187,300	149,840			
D-3		196,800	157,440			
D-4	400	215,800	172,640	178,133	18,928	0,609
D-5		203,200	162,560			
D-6		249,000	199,200			
D-7	300	238,400	190,720	195,280	4,560	0,667
D-8		244,100	195,280			
D-9		249,800	199,840			

0,729	18,614	213,227	202,400	253,000	200	D-10	
			202,560	253,200		D-11	
			234,720	293,400		D-12	
0,867	20,798	253,840	234,160	292,700	100	D-13	
			275,600	344,500		D-14	
			251,760	314,700		D-15	
1,000	21,333	292,620	313,740	348,600	20	D-22	
			271,080	301,200		D-23	
			293,040	325,600		D-24	
جميع المكعبات التي سخنت من ٦٠٠ درجة مئوية فما فوق انهارت تلقائياً						700	D-19
						D-20	
						D-21	
						800	D-25
						600	D-26
							D-27
							D-28
							D-29
							D-30

جدول (م ٢-١): تغير المقاومة المعكبية على الضغط لمكعبات ١٠\*١٠\*١٠ سم مع تغيرات درجة الحرارة لخرسانة محلية ذات حصويات سربنتينية.

رقم العينة	درجة حرارة التسخين	مقاومة الكسر	مقاومة الكسر بعمر ٢٨ يوم	متوسط المقاومة بعمر ٢٨ يوم	الانحراف المعياري	النسبة إلى المقاومة بدون تسخين
S-19	800	40,000	32,000	32,000	0,000	0,141
S-30	700	53,000	42,400	38,507	3,553	0,170
S-29		44,300	35,440			
S-28		47,100	37,680			
S-27	600	130,100	104,080	110,827	20,798	0,489
S-26		117,800	94,240			
S-25		167,700	134,160			
S-1	500	238,200	190,560	178,373	17,757	0,786
S-2		233,200	186,560			
S-3		197,500	158,000			
S-4	400	186,700	149,360	170,880	24,176	0,753
S-5		207,800	166,240			
S-6		246,300	197,040			
S-7	300	251,300	201,040	185,280	13,825	0,817

			179,600	224,500		S-8
			175,200	219,000		S-9
0,725	10,401	164,400	174,880	218,600	200	S-10
			154,080	192,600		S-11
			164,240	205,300		S-12
0,895	23,763	202,933	184,000	230,000	100	S-13
			229,600	287,000		S-14
			195,200	244,000		S-15
1,000	20,184	226,851	260,240	325,300	20	S-16
			233,200	291,500		S-17
			216,480	270,600		S-18
			233,053	249,700		S-22
			201,879	216,300		S-23
			216,253	231,700		S-24

جدول (م ٣-١): تغير المقاومة المكعبية على الضغط لمكعبات ١٠\*١٠\*١٠ سم مع تغيرات درجة الحرارة لخرسانة محلية ذات حصويات فراتية.

النسبة إلى المقاومة بدون تسخين	الانحراف المعياري	متوسط المقاومة بعمر ٢٨ يوم	مقاومة الكسر بعمر ٢٨ يوم	مقاومة الكسر	درجة حرارة التسخين	رقم العينة
جميع المكعبات التي سخنت من ٦٠٠ درجة مئوية فما فوق انهارت تلقائياً					800	F-19
					700	F-20
						F-21
						F-28
					600	F-25
						F-26
						F-27
0,539	6,389	115,973	123,280	154,100	500	F-1
			111,440	139,300		F-2
			113,200	141,500		F-3
0,550	8,529	118,347	108,640	135,800	400	F-4
			121,760	152,200		F-5
			124,640	155,800		F-6
0,987	15,658	212,347	194,320	242,900	300	F-7
			220,160	275,200		F-8

			222,560	278,200		F-9
0,839	13,427	180,507	194,640	243,300	200	F-10
			167,920	209,900		F-11
			178,960	223,700		F-12
0,971	30,842	208,880	239,920	299,900	100	F-13
			208,480	260,600		F-14
			178,240	222,800		F-15
1,000	18,205	215,172	222,320	277,900	20	F-16
			232,320	290,400		F-17
			203,600	254,500		F-18
			231,390	257,100		F-22
			216,450	240,500		F-23
			184,950	205,500		F-24

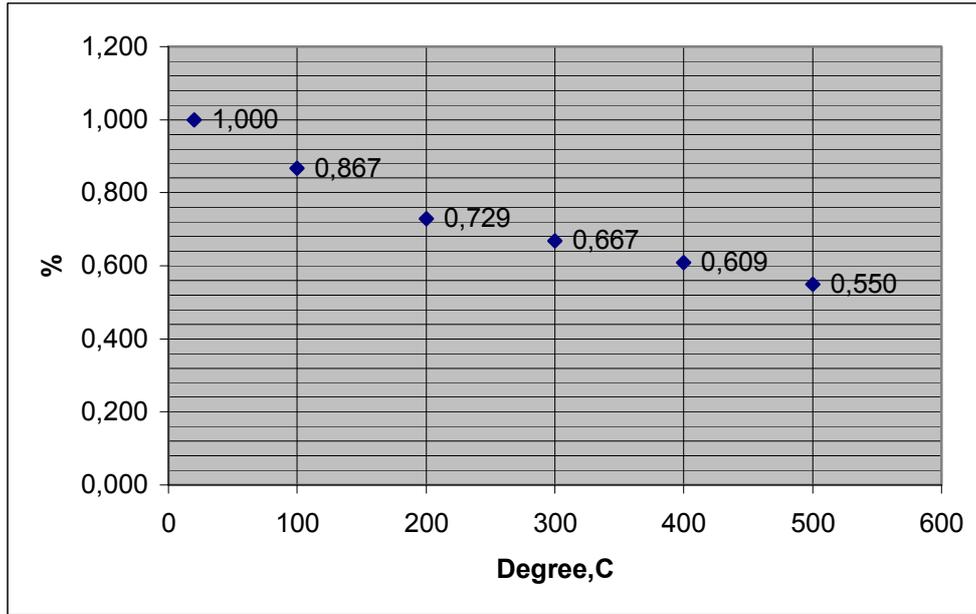
جدول (م ١-٤): تغير المقاومة المكعبية على الضغط لمكعبات ١٠\*١٠\*١٠ سم مع تغيرات درجة الحرارة لخرسانة محلية ذات حصويات هيمايتية.

النسبة إلى المقاومة بدون تسخين	الانحراف المعياري	متوسط المقاومة بعمر ٢٨ يوم	مقاومة الكسر بعمر ٢٨ يوم	مقاومة الكسر	درجة حرارة التسخين	رقم العينة
انهارت هذه المكعبات تلقائياً					800	H-33
						H-32
0,142	0,000	44,400	44,400	55,500		H-31
0,372	58,954	116,187	63,040	78,800	700	H-30
			105,920	132,400		H-29
			179,600	224,500		H-28
0,754	15,469	235,280	224,240	280,300	600	H-27
			252,960	316,200		H-26
			228,640	285,800		H-25
0,832	66,854	259,547	336,160	420,200	500	H-1
			229,440	286,800		H-2
			213,040	266,300		H-3
0,700	13,351	218,453	228,400	285,500	400	H-4
			223,680	279,600		H-5
			203,280	254,100		H-6
1,035	46,691	322,880	376,720	470,900	300	H-10
			298,400	373,000		H-11

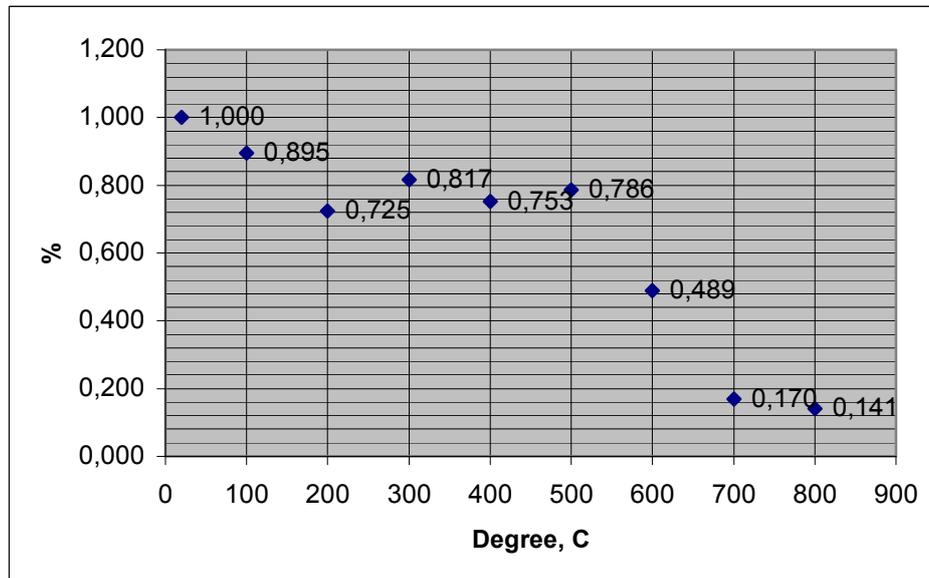
			293,520	366,900		H-12
0,894	45,370	278,960	309,920	387,400	200	H-13
			300,080	375,100		H-14
			226,880	283,600		H-15
1,017	21,196	317,547	336,320	420,400	100	H-16
			321,760	402,200		H-17
			294,560	368,200		H-18
1,000	45,748	312,107	289,360	361,700	20	H-19
			381,280	476,600		H-20
			319,600	399,500		H-21
			342,400	428,000		H-22
			287,920	359,900		H-23
			252,080	315,100		H-24

جدول (م ١-٥): تغير المقاومة المكعبية على الضغط لمكعبات ١٠\*١٠\*١٠ سم مع تغيرات درجة الحرارة لأنواع مختلفة من الخرسانة.

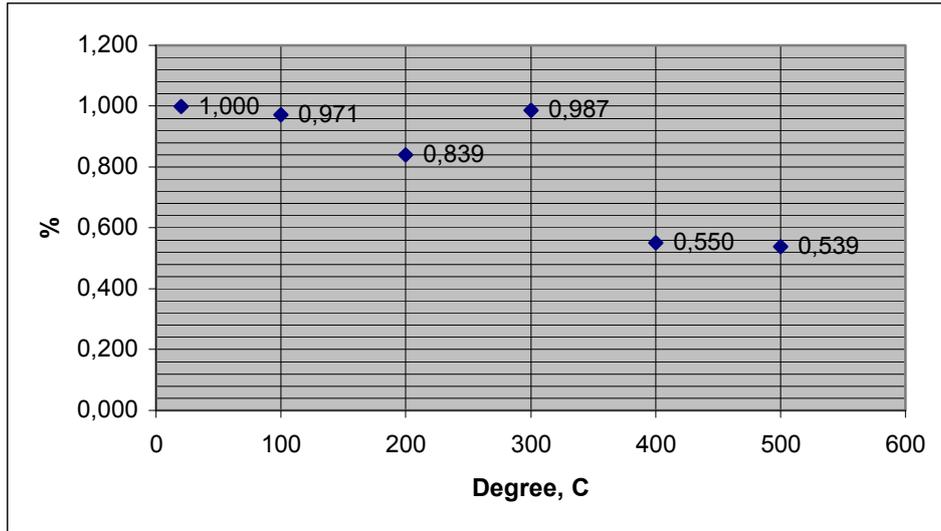
نسبة المقاومة بعد التسخين للمقاومة قبل التسخين %				الحرارة (درجة مئوية)
H	S	F	D	
0,142	0,141	انهيار	انهيار	800
0,372	0,170			700
0,754	0,489			600
0,832	0,786	0,539	0,550	500
0,700	0,753	0,550	0,609	400
1,035	0,817	0,987	0,667	300
0,894	0,725	0,839	0,729	200
1,017	0,895	0,971	0,867	100
1,000	1,000	1,000	1,000	20



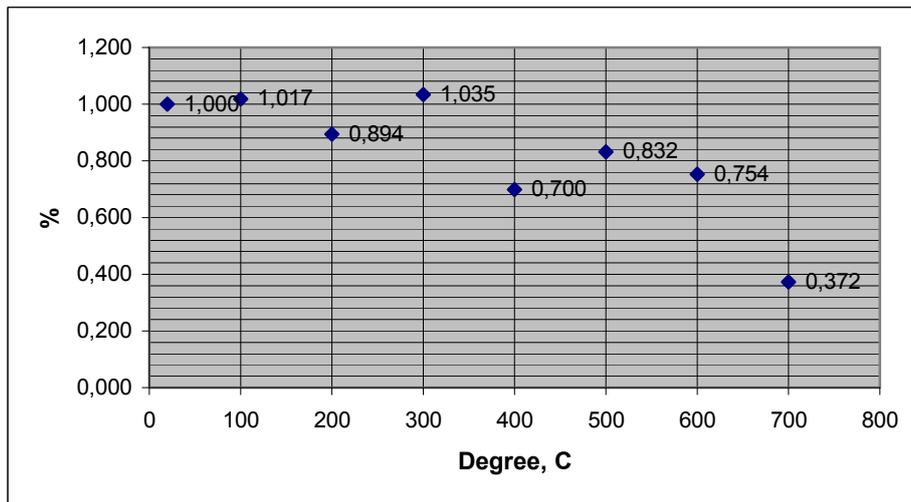
شكل (م ١-١): تغير المقاومة المكعبية على الضغط لمكعبات ١٠\*١٠\*١٠ سم مع تغيرات درجة الحرارة لخرسانة محلية ذات حصويات دولوميتية.



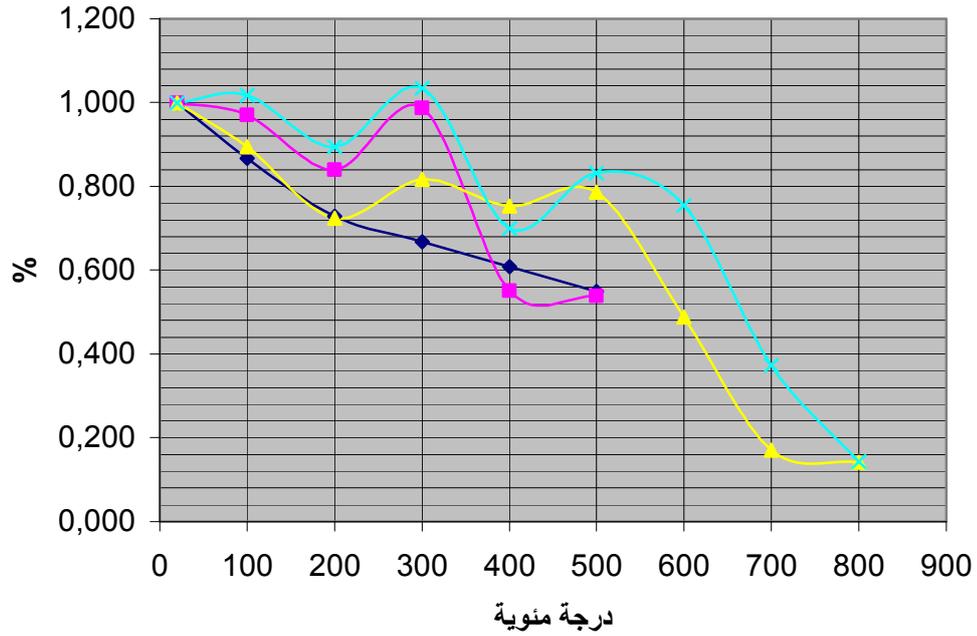
شكل (م ٢-١): تغير المقاومة المكعبية على الضغط لمكعبات ١٠\*١٠\*١٠ سم مع تغيرات درجة الحرارة لخرسانة محلية ذات حصويات سربنتينية.



شكل (م ٣-١): تغير المقاومة المكعبية على الضغط لمكعبات ١٠\*١٠\*١٠ سم مع تغيرات درجة الحرارة لخرسانة محلية ذات حصويات فراغية.



شكل (م ٤-١): تغير المقاومة المكعبية على الضغط لمكعبات ١٠\*١٠\*١٠ سم مع تغيرات درجة الحرارة لخرسانة محلية ذات حصويات هيمايتية.



شكل (م ١-٥): تغير المقاومة المكببية على الضغط لمكعبات ١٠\*١٠\*١٠ سم مع تغيرات درجة الحرارة لأنواع مختلفة من الخرسانة المحلية.

## ملحق (٢): نتائج التحليل الحراري بتقانتى DSC و TGA

تم التحليل الحراري لـ ١٣ عينة مختلفة في قسم تكنولوجيا الإشعاع باستخدام تقانة DSC ابتداء من الدرجة ٣٠ مئوية حتى ٥٥٠ درجة مئوية وبمعدل ١٠ درجات/دقيقة. وتم إجراء التحليل بتقانة TGA من الدرجة ٣٠ مئوية حتى ٩٠٠ مئوية بمعدل ١٠ درجات/دقيقة. الجدول (م ٢-١) يبين رموز العينات التي تم تحليلها:

جدول (م ٢-١): رموز العينات التي تم تحليلها.

الرمز	توصيف العينة
R1	عينة من الرمل الدولوميتي
R2	عينة من الرمل الهيمايتي
R3	عينة من الرمل السربنتيني
R4	عينة من الرمل الفراتي
P1	عينة من البحص الفراتي
RD22	عينة من الخرسانة الدولوميتية
PD22	عينة من الخرسانة الدولوميتيه
PS22	عينة من الخرسانة السربنتينية
RS22	عينة من الخرسانة السربنتينية
RH19	عينة من الخرسانة الهيمايتية
PH19	عينة من الخرسانة الهيمايتية
PF22	عينة من الخرسانة الفراتية

### التدريب الأمثل لمفاعل طاقة باستخدام المكونات المحلية

د. سامر الحاج علي، د. محمد حسان خريطة\*\*، م. سراج يوسف\*، ك. بدر نعوم، م. مازن النصار\*\*  
 قسم الهندسة النووية، هيئة الطاقة الذرية، ص. ب ٦٠٩١، دمشق، سوريا  
 \*قسم الخدمات الفنية، هيئة الطاقة الذرية، ص. ب ٦٠٩١، دمشق، سوريا  
 \*\*قسم الوقاية والأمان، هيئة الطاقة الذرية، ص. ب ٦٠٩١، دمشق، سوريا

ملخص:

تم في هذا العمل دراسة عدة تصاميم لخلطات خرسانية محلية مرشحة لتدريب مفاعل نووي مستقبلي في سوريا، وشمل البحث إمكانية توهين هذه العينات لأشعة غاما وكذلك للتدفقات النيترونية، في الظروف الاعتيادية وكذلك الثبات الفيزيائي و التوهيني في حال تعرض الخرسانة لدرجات حرارة مرتفعة الأمر الذي يمكن حدوثه في ظروف المفاعل النووي

وكذلك تم دراسة قابلية العناصر الداخلة في تركيب الخرسانة للتنشيط النتروني وذلك من أجل الحصول على درع خرساني بحيث تكون المواد المكونة له منخفضة القابلية للتنشيط الإشعاعي ( أقل ما يمكن من حيث الجرعة ونظائر مشعة ذات أعمار نصف قصيرة).

وبهذا الأسلوب يمكن أن نحصل على تدريب بيولوجي للمفاعل آمن أثناء تشغيل المفاعل بالإضافة إلى أنه سيكون بعد تفكيك المفاعل والانتهاء من استثماره نفاية مشعة أقل ضرراً منها في حال لو تم استخدام مواد عيارية عادية.  
 الكلمات المفتاحية: تدريب إشعاعي، توهين إشعاعي، تنشيط نتروني. خرسانة مفاعلات نووية.

### THE OPTIMUM SHIELDING FOR A POWER REACTOR USING LOCAL COMPONENTS

S. Alhajali, M.H. Kharita, S. Yousef\*, B. Naom, and M. AlNassar\*\*

Nuclear Engineering Department,

\* Technical Services Department,

\*\* Protection and Safety Department

Atomic Energy Commission, Damascus P. O. Box 6091, Syria

Abstract

**Some local concrete mixtures have been picked out (selected) to be studied as shielding concrete for prospective nuclear power reactor in Syria.**

**This research has interested in the attenuation of gamma radiation and neutron fluxes by these local concretes in the ordinary conditions. In addition to the heat effect on the shielding and physical properties of local concrete.**

**Furthermore the neutron activation of the elements of the local concrete mixtures have been studied that for selection the low-activation materials (low dose rate and short half life radioisotopes).**

**In this way biological shielding for nuclear reactor can be safe during operation of nuclear power reactor, in addition to be low radioactive waste after decommissioning the reactor.**

**Key Words:** nuclear reactor concrete, radiation shielding, attenuation, neutron activation.

SYRIAN ARAB REPUBLIC  
ATOMIC ENERGY COMMISSION  
DAMASCUS- P.O.BOX: 6091



Final Report on Scientific Research  
Department of Nuclear Engineering

**THE OPTIMUM SHIELDING FOR A POWER REACTOR USING  
LOCAL COMPONENTS**

Dr . S. Alhajali  
Dr. M.H. Kharita  
Eng. S. Yousef  
Ch. B. Naom  
Eng. M. AlNassar