# دراسة عامل تراكم أشعة كاما لمتراكبات مختلفة

**خالد هادي مهدي[1] ، زياد شهاب احمد[2]، احمد فاضل مخيبر[1]**

[1] جامعة بغداد / كلية التربية / قسم الفيزياء.

[2] وزارة العلوم والتكنلوجيا.

## الخلاصة

في هذا البحث ، تم حساب ودراسة عامل تراكم أشعة كاما لمتراكبات مختلفة من راتنج البولي استر غير المشبع (Unsaturated Polyester ) ( كمادة أساس) ومادتي الحديد والنحاس بطرق تدعيم مختلفة ( مسحوق ، طبقات ، الياف) ( كمواد تدعيم ). تم دراسة تأثير زيادة كل من تركيز الحديد والنحاس (10،20،30،40،50) % وسمك الدرع (1،2،3،4،5) سم وكذلك تأثير نوع التدعيم واتجاه ألياف التدعيم (0،45،90) درجة على عامل التراكم .أظهرت النتائج انه عندما يزداد تركيز المعدن فان عامل التراكم سوف يقل، بينما ظهر أن هناك زيادة في قيم عامل التراكم عندما يزداد سمك الدرع. أما أفضل طريقة للتدعيم ( اقل قيمة لعامل التراكم ) فهي عندما يكون الحديد والنحاس بشكل صفائح. أما بالنسبة لاتجاه الألياف فان أفضل الدروع عندما تكون الزاوية بين اتجاه ألياف الطبقة الأولى والثانية للدرع 45 درجة. تم استعمال مصدر السيزيوم $^{137}Cs$ ذو طاقة 662 keV وبفعالية 10 µci ، كما استعمل كاشف آيوديد الصوديوم المطعم بالثاليوم NaI(Tl) بحجم (3″x3″) مع منظومة قياس متكاملة.

**الكلمات المفتاحية:** عامل التراكم – المواد المتراكبة – أشعة كاما.

# Study of Gamma Ray Buildup Factor for Different composites

**K.H Mahdi[1] , Z.S.Ahmed[2] ,A.F.Mokhaiber[1]**

[1]University of Baghdad/ college of education/ physics department, [2]Ministry of Sciences and Technology.

## Abstract

In this work, gamma ray buildup factor was calculated and studied for different composite materials which consist from unsaturated polyester ( UP) as a matrix and (Fe ,Cu ) as

reinforced materials with different types of reinforced (powder, laminates and fibers) .The effect of increasing of matel concentration (10,20,30,40,50)%, thickness (1,2,3,4,5) cm and effect of type of reinforcement and orientation of reinforced fibers (0,45,90) degree on buildup factor were studied. The results show that the buildup factor decreased with the increasing of matel concentration. While it increasing with increasing thickness of the shield. The best way for reinforced of the matel (the lowest of buildup factor ) was for the laminated reinforced material. The best shield that used for different orientations of fiber when angle between the first and second layer is 45°. Energy of 662 keV of gamma ray from $^{137}$Cs source of 10 µci was used with (3"x3") NaI(Tl) detector with an integrated measuring system.

**Key words:** buildup factor – composite materials – gamma ray.

## المقدمة

تعتبر الدروع الواقية من الإشعاعات والتي تعمل على توهين الإشعاع وخفض شدته،ذا أهمية كبيرة حيث يرتبط استعمالها بالأماكن التي تحتوي على مصدر إشعاع عالي الشدة، لذلك يمكن إجراء حسابات تقريبية لتصاميم الدروع المستعملة من مواد مختلفة مختارة لها أعداد ذرية مختلفة فيما بينها بتشكيلات متنوعة هدفها خفض شدة الإشعاع إلى الحدود المسموح بها ان لم يكن حجبه كليا. يعتمد تصميم هكذا دروع على نوع الإشعاع المؤين وطاقته علاوة على خصائص مواد التدريع نفسها، كما يخضع تصميمها للمواءمة بين الاعتبارات العلمية والصحية والاقتصادية.

تتفاعل الأشعة النووية المختلفة بأشكال متعددة مع مادة الدرع، ولكن صعوبة التدريع تكمن في تلك المستعملة مع أشعة كاما والتي تكون ذات نفاذية عالية خلال المادة [1] حيث تتفاعل هذه الأشعة وتنتج أشعة ثانوية متعددة، لذا فان الأشعة النافذة من الدرع تكون على نوعين هما أشعة متفاعلة وأشعة نافذة بدون تفاعل.إن نسبة العدد الكلي لفوتونات كاما المنبعثة من المصدر في نقطة ما إلى العدد غير المستطار ( او غير المتفاعل ) النافذ من الدرع في النقطة نفسها يعرف ب (عامل التراكم) (Buildup factor)، وهنا تبرز أهمية هذا العامل ودوره في عملية التدريع والوقاية من الإشعاع،حيث يدخل كعامل تصحيح في الحسابات المتعلقة بالسمك الملائم لتدريع المصادر المشعة لأشعة كاما.

## توهين أشعة كاما:

إن توهين أشعة كاما ( الامتصاص و الاستطارة) داخل المادة يمكن دراسته من خلال قياس تغيير شدة الأشعة (المسددة بشكل جيد) مع تغير سمك المادة ، ويحسب معدل شدة أشعة كاما النافذة من حاجز أو درع ما من العلاقة آلاتية -:[2]

$$I_x = I_o \exp(-\mu x) \quad \text{.....(1)}$$

حيث إن:

$I_x$ معدل شدة الأشعة النافذة من خلال حاجز سمكه( x ).

$I_0$ معدل شدة الأشعة الساقطة بدون وجود المادة الماصة.

$\mu$ معامل الامتصاص الكلي.

$x$ سمك المادة الماصة.

إن هذه العلاقة الآسية تمنع وجود مدى محدد للأشعة في المادة، لذلك اتفق العلماء على مصطلح معدل المسار الحر (Mean Free Path) وهو معدل المسافة المقطوعة قبل الامتصاص و الذي يرمز له بالرمز(mfp).

ويحسب معدل المسار الحر داخل المادة قبل امتصاصها للإشعاع بالعلاقة آلاتية [3]:

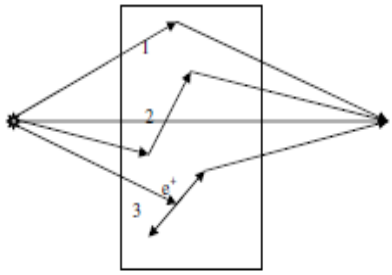
$$\lambda_{(cm)} = \frac{\int_0^\infty x \exp(-\mu x)\, dx}{\int_0^\infty \exp(-\mu x)} = \frac{1}{\mu} \quad \text{.....(2)}$$

يستخدم هذا المصطلح كوحدة ملائمة في دراسة انتقال الفوتونات في المادة حيث تعرف بعض المتغيرات مثل عامل التراكم بدلالة (mfp) كمقياس للمسافة .

ان المعادلة (1) تصلح عند توفر شرطين أساسيين هما :

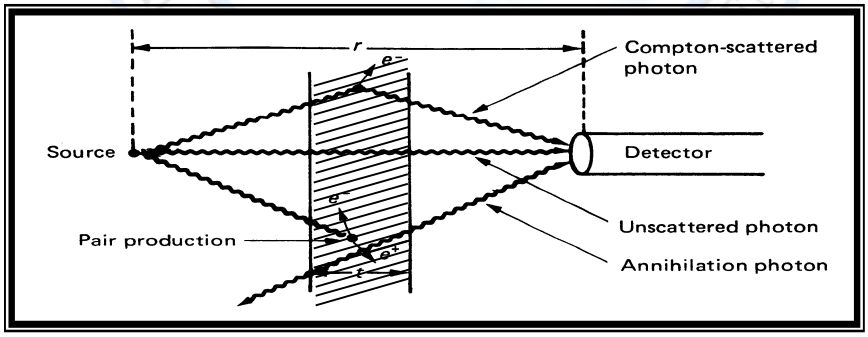
1- ان تكون حزمة الفوتونات ضيقة جدا ومتوازية ووحيدة الطاقة.
2- ان يكون سمك مادة التوهين قليل جدا.

أما في جميع الحالات التي تكون فيها حزمة الفوتونات عريضة او غير متوازية، او يكون سمك الدرع كبير نسبيا (وهذه هي الظروف العملية في جميع الحالات تقريبا)، تصبح العلاقة السابقة غير صالحة للتطبيق بسبب ما يعرف باسم التراكم (Build-up) الذي ينتج عن تراكم الفوتونات في النقطة المعينة [4]، والشكل (1) أدناه يوضح مفهوم التراكم:




**الشكل (1) يوضح كيفية حدوث عملية التراكم [4] .**

ينتج التراكم عن نمطين وحيدين من أنماط تفاعل الفوتونات مع المادة وهما تشتت كومبتن وتولد الازدواج،فنتيجة لاستطارة كومبتن فان بعض الفوتونات التي تنبعث من المصدر في اتجاه بعيد عن الهدف والتي يحدث لها استطارة على الدرع يمكن ان تتجه نحو الهدف فتزيد عدد الفوتونات الواصلة اليها (الفوتون رقم 1)، فضلا عن ذلك ، فانه عندما يكون الدرع سميكا يمكن ان يحدث للفوتون الواحد اكثر من تشتت متتابع من تشتتات كومبتن ، وهو الظاهرة المعروفة باسم التشتت المتعدد (multipie scattering ) (فوتون رقم 2 ).أما في إنتاج الزوج فان الطاقة قد لاتنقل بالكامل لمادة الدرع، ويعود ذلك إلى أن احد الفوتونين الناتجين عن فناء البوزترون مع إلكترون من الكترونات المادة قد يصل الى الهدف فيزيد عدد الفوتونات الواصلة له (فوتون رقم 3 ) (3)،لذا فان الأشعة النافذة من الدرع تكون على نوعين، أشعة مستطارة (وهي الأشعة الناتجة من استطارة كومبتن وتولد الازدواج ) وأشعة غير مستطارة، والشكل (2) يوضح الحزمة المستطارة وغير المستطارة.




**الشكل(2) يوضح الحزمة المستطارة وغير المستطارة [5].**

ونتيجة لذلك ستصل الأشعة غير المستطارة بالإضافة إلى الأشعة المستطارة التي تفاعلت مع الوسط وتشتت بمختلف الاتجاهات مما يسبب ذلك زيادة في شدة الحزمة الكلية التي يسجلها الكاشف ، وتُعد تلك الزيادة بمثابة عملية تراكم للأشعة المستطارة عبر الوسط الموهن لذلك سمي بعامل التراكم "$B$" (Build up factor) كما في العلاقة الاتية :

$$B = \frac{\text{شدة الحزمة الكلية ( المستطارة وغير المستطارة ) } (I_t)}{\text{شدة الحزمة غير المستطارة } (I_u)}$$

أو

$$I_t = BI_u \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

فبالنسبة للحزمة الضيقة وبإعادة صياغة المعادلة (1) نحصل على:

$$I_{u.n} = I_{o.n} \exp\left(-\mu x\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

حيث:

$I_{u.n}$ : شدة الحزمة الخارجة من الدرع (الحزمة الضيقة) .

$I_{o.n}$ : شدة الحزمة الساقطة (الحزمة الضيقة) .

أما بالنسبة للحزمة العريضة فيمكن كتابة المعادلة (1) بالصيغة الآتية:

$$I_{t.b} = BI_{o.b} \exp(-\mu x) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

حيث :

$I_{t.b}$ : الشدة الكلية للحزمة الخارجة من الدرع (الحزمة العريضة).

$I_{o.b}$ : الشدة الكلية للحزمة الساقطة (الحزمة العريضة).

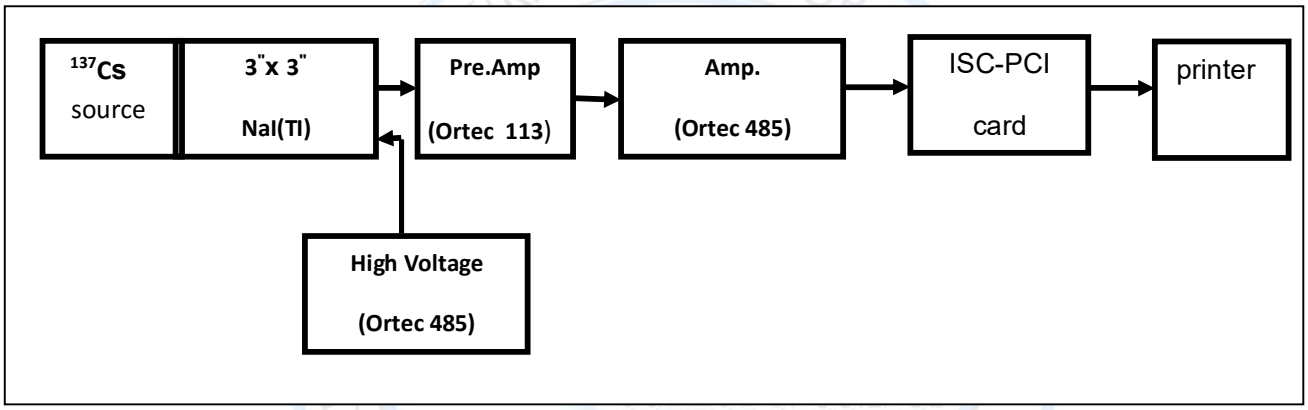
وبتعويض المعادلة (4) في المعادلة (5) نحصل على قيمة عامل التراكم $B$:

$$B = \frac{\left(\frac{I_{t.b}}{I_{o.b}}\right)}{\left(\frac{I_{u.n}}{I_{o.n}}\right)} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

## الترتيبات العملية

**منظومة العد الخاصة بأشعة كاما.**

هي منظومة خاصة بقياسات أشعة كاما والمبينة في الشكل (3) :




**شكل (3) مخطط المنظومة الالكترونية المستخدمة.**

**المصادر المشعة**

استعمل في البحث مصدر السيزيوم Cs-137 :الذي يبعث فوتونات بطاقة (0.662MeV) وبفعالية إشعاعية مقدارها (10 μCi).

**الترتيب الهندسي للمنظومة:**

لغرض دراسة عامل التراكم للدروع المصنعة فقد تم استعمال مسدد من الرصاص للحصول على الترتيب الهندسي الجيد ( Good Geometry) الذي بدونه ( أي المسدد ) نحصل على الترتيب الهندسي الرديء (Bad Geometry).إنَّ المسدد المستعمل مصنوع من مادة الرصاص وبأبعاد (20x10x5 سم) تتوسطها فتحة دائرية قطرها 1سم للحصول على الحزمة المسددة (Collimated beam) والأشكال (4) ، ( 5) تمثل الترتيب الهندسي الجيد والرديء للقراءة الصفرية والترتيب الهندسي الجيد والرديء للتجارب.

**المواد المستعملة**

استعمل راتنج البولي استر غير المشبع (Polyester resin Unsaturated) كمادة أساس في تحضير المواد المتراكبة البوليمرية حيث يكون على شكل سائل لزج شفاف وردي اللون عند درجة حرارة الغرفة وهو احد أنواع البوليمرات التي تتصلد حرارياً (Thermosetting)، ويتحول هذا الراتنج من الحالة السائلة الى الحالة الصلبة وذلك بأضافة المصلد(Hardener) وهو عبارة عن مادة (بيروكسيد مثيل اثيل كيتون) (Ethyl Methyl Peroxide Keton) ويرمز له (MEKP) ) ويكون على شكل سائل شفاف يضاف الى راتنج البولي استر غير المشبع بنسبة 2 غرام لكل 100 غرام من الراتنج عند درجة حرارة الغرفة.أما مواد التقوية فهي بأشكال مختلفة لغرض الحصول على أنواع مختلفة من المتراكبات مثل :

1) مسحوق الحديد والنحاس بتراكيز مختلفة (10-50) %.
2) ألياف على هيئة أسلاك بأبعاد مناسبة من مادتي الحديد النحاس .
3) طبقات صفائحية بأبعاد مناسبة 10سم x 10سم x 0.1سم من مادتي الحديد والنحاس.

تم تصنيع قوالب من الزجاج بأبعاد، (10 x 10)cm و بأسماك مختلفة بحيث استعملت أبعاد هذا القالب لتلائم مساحة الكاشف المستعمل .ويتم طلاء القالب بمادة شمع البرافين الذي يساعد على عدم التصاق العينة (الدرع ) بالقالب.

## النتائج والمناقشة

1- تأثير زيادة تركيز المسحوق المعدني

تم حساب عامل التراكم لكل درع من الدروع المستعملة، كما موضح بالجدول (1)،وتم دراسة تأثير زيادة تركيز المعدن، حيث تم رسم العلاقة بين عامل التراكم كدالة لتركيز المسحوق المعدني . نلاحظ من الشكل (6) انه عند التركيز (0%) والذي يعني عينة بوليمر بولي استر غير مشبع من دون إضافة، أن قيمة عامل التراكم تأخذ أعلى قيمة ممكنة بعد ذلك تنخفض قيمة عامل التراكم عند أول إضافة لتركيز المعدن (10%) . بعد ذلك يكون الانخفاض قليلاً ومتفاوتاً مع زيادة التركيز حتى نصل إلى التركيز (50%) .إن القيمة العالية لعامل التراكم للبولي استر غير المشبع لوحده تمثل مدى شفافية البولي استر فيما يخص أشعة كاما والذي يمكن أن نعدهُ غير مناسب لاستعماله درعاً لوحده،أما انخفاض عامل التراكم عند أول تركيز للمساحيق فيمكن أن يعزى إلى تغير خواص البولي استر غير المشبع وبذلك تصبح المادة المتراكبة جيدة في استعمالها درعاً ضد أشعة كاما ،و بصورة عامة فان قيم عامل التراكم تنخفض بزيادة تركيز المسحوق لان خواص المادة المتراكبة تتجه نحو خواص المادة المدعمة وكما هو معلوم فان امتصاصية المعدن للإشعاع هي أعلى من البوليمير،أما الانخفاض البسيط والمتفاوت بعد التركيز الأول ولغاية (50%) لقيم عامل التراكم يوضح أن استعمال تركيز معين قليل (10%مثلا) يمكن أن يكون كافيا لاستعماله دروعاً ضد أشعة كاما.ونتائج هذه الدراسة تتفق مع نتائج الدراسة [6].

2- تاثير زيادة سمك الدرع:

يمثل الشكل (7) عامل التراكم بوصفه دالة لسمك الدرع حيث كان تركيز المعدن في المتراكبة (30%) ولأسماك مختلفة (1-5) سم . يبين هذا الشكل زيادة عامل التراكم بزيادة السمك المستعمل وهي نتيجة واقعية لتصرف عامل التراكم مع سمك العينة المستعملة [9,8, 7,6]. وتعد هذه النتيجة تأكيداً جيداً على مدى صلاحية وملائمة المواد المتراكبة لاستعمالها دروعاً ضد الإشعاع لأنها تعطي نتيجة مماثلة لتصرف عامل التراكم للمواد الصلدة عند تغيير سمكها. ويعزى ذلك إلى زيادة المقطع العرضي للتفاعل ، أي زيادة احتمالية الاستطارة بزوايا صغيرة عند زيادة السمك ، والجدول (2) يبين قيم عامل التراكم لأسماك مختلفة.

3- تاثير نوع التدعيم:

تم دراسة تأثير أنواع تدعيم مختلفة على عامل التراكم للوقوف على أفضليتها في الاستعمال كمادة مدعمة ومتراكبة مع البولي استر غير المشبع بوصفها دروعاً ، والشكل (8) يوضح عامل التراكم بوصفه دالة لنوع التدعيم، حيث ان تركيز المعدن والبوليمير في المتراكبة هو (30%) ، (70%) على الترتيب وبسمك (1cm) إضافة إلى نموذج البولي استر غير المشبع لوحده من دون أي إضافة .

من خلال ملاحظتنا لهذا الشكل يتضح أن أفضل طريقة للتدعيم (اقل قيمة لعامل التراكم) عندما تكون مادة التدعيم على شكل صفائح،وتليها بعد ذلك الألياف باتجاه واحد، ومن ثم المسحوق وأخيرا الألياف باتجاهين متعامدين. ويمكن أن يفسر ذلك على أساس انه عندما تكون المادة المدعمة على شكل صفائح فان احتمالية تفاعل أشعة كاما مع مادة الدرع تكون عالية وبالتالي يكون توهينها أعلى وكذلك في حالة الألياف باتجاه واحد حيث كانت الألياف متراصة بشكل جيد، أما بالنسبة للمساحيق والألياف باتجاهين متعامدين فأن احتمالية تفاعل أشعة كاما مع مادة الدرع تكون اقل مما يعني ان هناك زيادة في القراءة التي يسجلها الكاشف (امتصاصية اقل من قبل مادة الدرع ) وبالتالي زيادة في عامل التراكم ،والجدول (3) يبين قيم عامل التراكم لكل نوع من أنواع التدعيم المستعملة.

4- تأثير اتجاه الياف التدعيم:

تم اختيار درعين لهذا الغرض الأول مكون من بوليمير مدعم بألياف الحديد والثاني مكون من بوليمير مدعم بألياف النحاس حيث تم استعمالهما بتشكيلتين مختلفتين ، ففي الحالة الأولى كان درع الحديد هو القريب من المصدر ويليه درع النحاس بزوايا مختلفة مع الدرع الأول ، وقد تم اختيار الزوايا (0،45،90) ، وتم قياس عامل التراكم في كل حالة ، ثم عكس الترتيب ولنفس الزوايا وكما مبين بالجدول (4). رسمت العلاقة بين قيم عامل التراكم وقيم الزوايا كما في الشكل (10) وللتشكيلتين. يتضح من هذا الشكل أن أفضل ترتيب للدرع الثنائي ذو درعين مكونين من بوليمير مدعم بألياف معدنية هو عندما تكون الزاوية بين الدرع الأول والثاني هي $45^o$ (اقل قيمة لعامل التراكم) وتليها الزاوية $90^o$ ثم الزاوية $0^o$ ، ويعزى ذلك إلى انه في حالة كون الزاوية $0^o$ فان هناك كمية كبيرة من الإشعاع سوف تنفذ من الدرع الثنائي وبالتالي يزداد

عامل التراكم، أما في حالة الزاوية $90^0$ فان الإشعاع في هذه الحالة سوف يتفاعل مع الدرع الثنائي باحتمالية اكبر من الحالة الأولى فيقل عامل التراكم، أما في حالة الزاوية $45^o$ فان الإشعاع سيتشتت بزوايا مختلفة مما يسبب في توهينه بشكل اكبر من الحالتين السابقتين وبالتالي يأخذ عامل التراكم اقل قيمة ممكنة. نفس الشيء ينطبق على التشكيلة الثانية مع اختلاف قيم عامل التراكم .

## الاستنتاجات

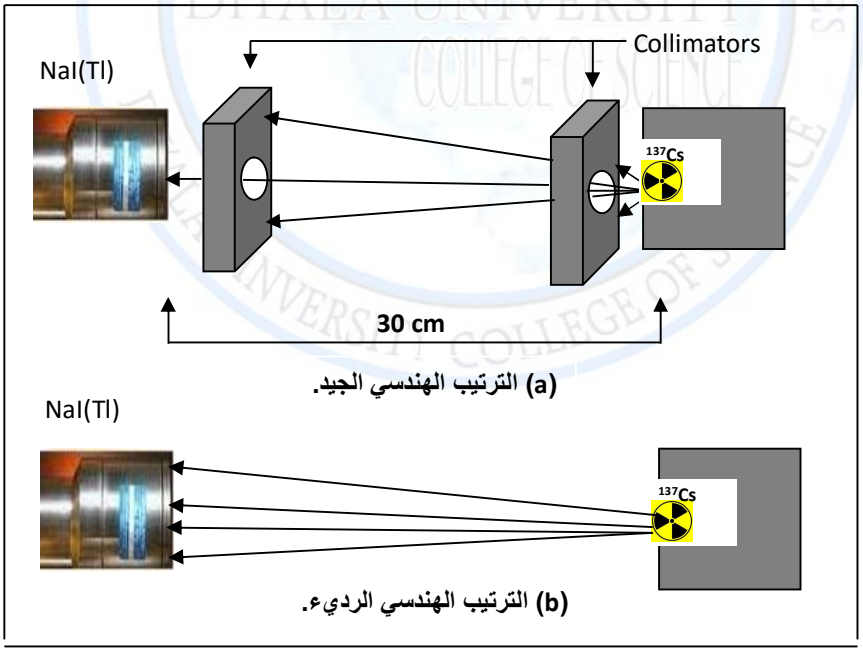
1- باستعمال المواد المتراكبة ( بوليمر + معدن ) يمكن الاستعاضة عن الرصاص والمواد الثقيلة المستعملة في تدريع الإشعاع بمواد اخف وزنا واقل كلفة.

2- يسلك عامل التراكم سلوكا متشابها عند زيادة تركيز المسحوق ( الحديد والنحاس)، مع الأخذ بنظر الاعتبار اختلاف القيم من مادة لأخرى.

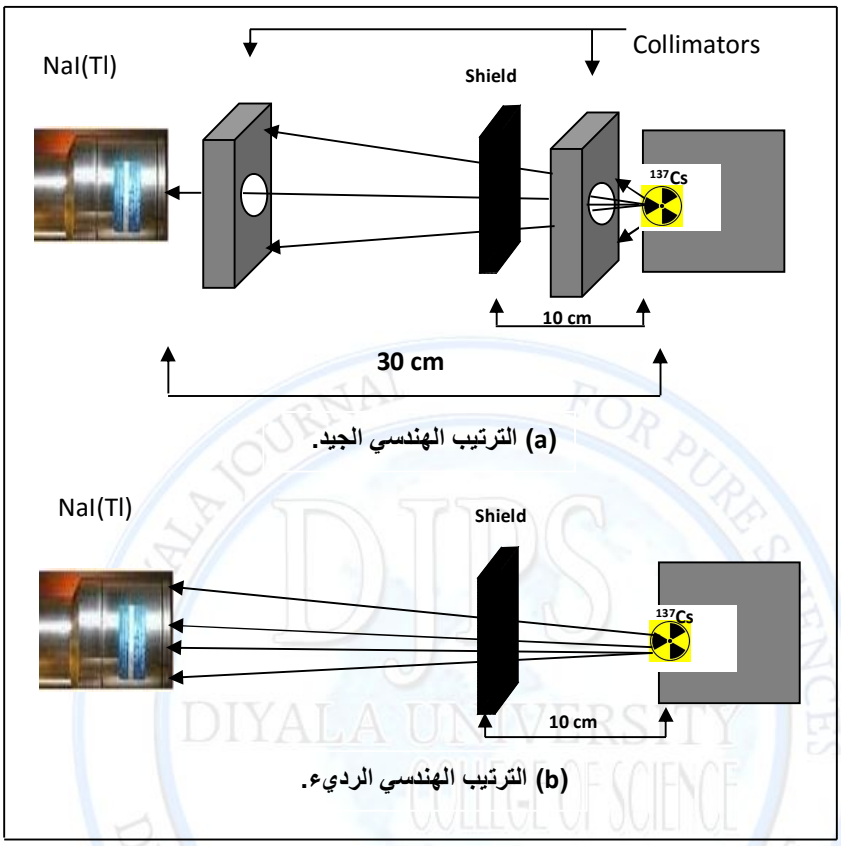
3- يتأثر عامل التراكم بسمك الدرع ، حيث من خلال حساب عامل التراكم يمكن اختيار السمك المناسب.

4- يتأثر عامل التراكم بطريقة التدعيم المستعملة في تدعيم البوليمر ،حيث يمكن اختيار طريقة التدعيم المناسبة والتي من شأنها أن تقلل الإشعاع إلى اقل قيمة ممكنة.

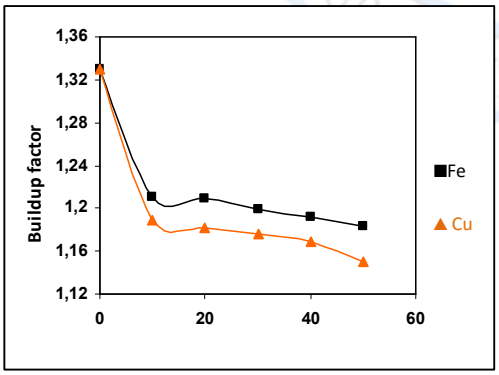
5- يمكن التحكم باتجاه ألياف التدعيم من اجل اختيار الاتجاه المناسب والذي يعمل على توهين اكبر للإشعاع .



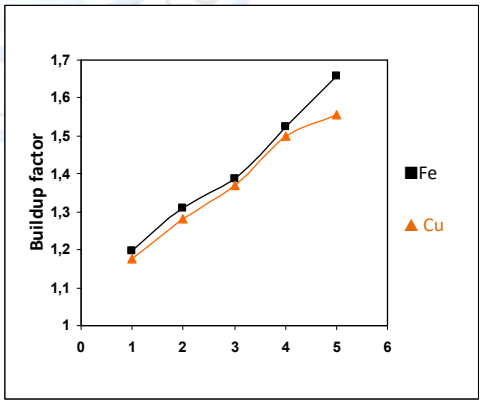

**الشكل (4) الترتيب الهندسي للقراءة الصفرية .**



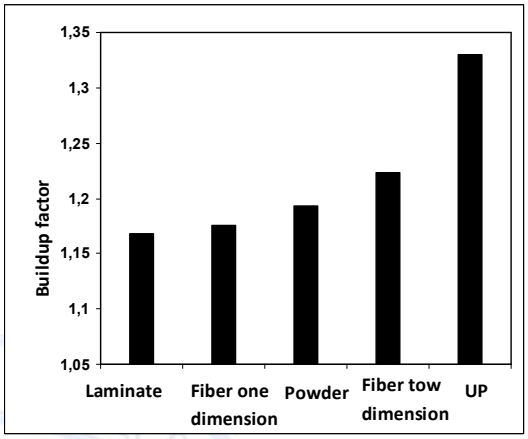

الشكل (5) الترتيب الهندسي للتجارب .



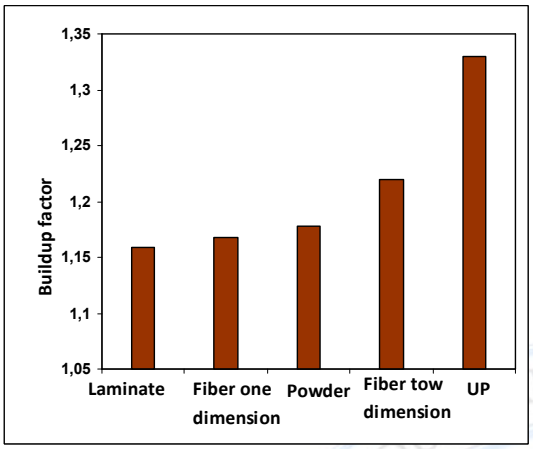

شكل (6) عامل تراكم أشعة كاما كدالة لتركيزالنحاس.



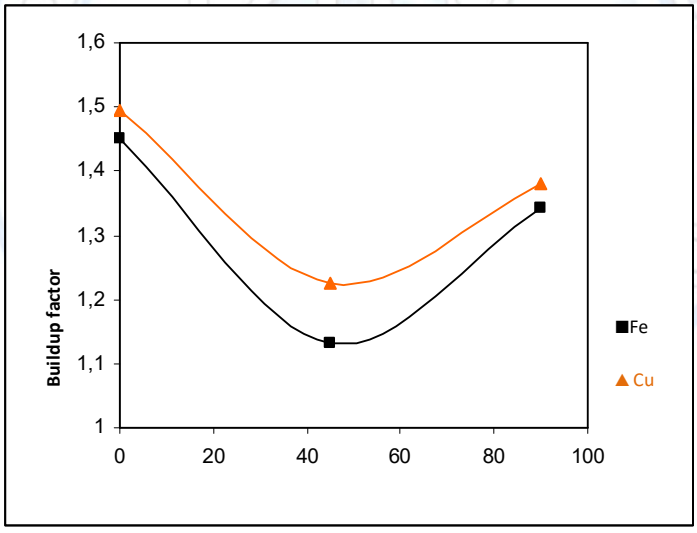

شكل (7) عامل تراكم أشعة كاما كدالة لسمك الدرع.




شكل (9) عامل التراكم كدالة لنوع التدعيم لمادة الحديد.




شكل (8) عامل التراكم كدالة لنوع التدعيم لمادة النحاس.




شكل (10) عامل التراكم كدالة لتسلسل الدروع تبعا للزاوية بينهما : ■ الحديد ثم النحاس، ▲النحاس ثم الحديد.

**جدول (1) قيم عامل التراكم المقابلة لتراكيز مختلفة من الحديد والنحاس**

| تركيز النحاس (%) | تركيز البوليمير (%) | عامل التراكم (الحديد) | عامل التراكم (النحاس) |
|---|---|---|---|
| 0 | 100 | 1.33 | 1.33 |
| 10 | 90 | 1.21091 | 1.18951 |
| 20 | 80 | 1.20954 | 1.18190 |
| 30 | 70 | 1.19898 | 1.17561 |
| 40 | 60 | 1.19256 | 1.16858 |
| 50 | 50 | 1.18263 | 1.14970 |

**جدول (2) قيم عامل التراكم القابلة لأسماك مختلفة.**

| السمك (cm) | عامل التراكم (الحديد) | عامل التراكم (النحاس) |
|---|---|---|
| 1 | 1.197361 | 1.175744 |
| 2 | 1.310042 | 1.283042 |
| 3 | 1.386923 | 1.369597 |
| 4 | 1.524281 | 1.498782 |
| 5 | 1.656291 | 1.555203 |

**جدول (3) قيم عامل التراكم المقابلة لطرق تدعيم مختلفة.**

| نوع التدعيم | عامل التراكم (الحديد) | عامل التراكم (النحاس) |
|---|---|---|
| Laminates | 1.168 | 1.159 |
| Fiber one dimension | 1.175 | 1.167 |
| powder | 1.193 | 1.177 |
| Fiber tow dimension | 1.222 | 1.220 |

**جدول (4) قيم عامل التراكم لدروع ثنائية مكونة من بوليمير مدعم بالألياف وبزوايا مختلفة.**

| الزاوية (°) | عامل التراكم (الحديد ثم النحاس) | عامل التراكم (النحاس ثم الحديد) |
|---|---|---|
| 0 | 1.450393 | 1.494947 |
| 45 | 1.131071 | 1.22649 |
| 90 | 1.342606 | 1.380948 |

## References

1. A.B.Chilton , J.K.Shultis and R.E.Faw, "Principles of Radiation Shielding, New Jersey,(1984).
2. G.Knoll. "Radiation Detection and Measurement" John Wiley and Sons.New York.Third Edition, (2000).
3. N.Tsoulfanidis "Measurement and Detection of Radiation" MC Graw-Hill,New York, (1983).
4. احمد،محمد فاروق والسريع،احمد بن محمد،"مبادئ الإشعاعات المؤينة والوقاية منها" جامعة الملك سعود،2007.
5. الدركزلي: شذى سلمان،"الكشف عن الأشعة النووية" جامعة بغداد (1989).
6. الطالب، باسم خلف رجه. رسالة ماجستير. جامعة بغداد (2009).
7. P.S.Singh and P.Kaur,Annal of Nuclear Energy,35(2008),p.p1093
8. هاتف، خالد. اطروحة دكتوراه جامعة بغداد، (1994).
9. البيتي، خالد عمر.رسالة ماجستير جامعة بغداد ،(2001).