

" حساب عامل تراكم الجرعة والطاقة الممتصة لأشعة كاما في الكونكريت الاعتيادي "

* سليم حمزة طرير

* علي عبد أبوجاسم الحميداوي

جامعة القادسية- كلية العلوم - قسم الحاسبات

جامعة الكوفة- كلية العلوم- قسم الفيزياء

الخلاصة :

تم في هذه الدراسة ، حساب عاملي تراكم الجرعة الممتصة والطاقة الممتصة لأشعة كاما الصادرة من مصدر نقطي ولمدى من الطاقات من (0,015 MeV) إلى (15 MeV) وبمعدل مسار حر يصل إلى (40 mfp) ، وذلك من خلال استخدام معادلة شبه تجريبية تسمى معادلة (تايلور) واستخدم في هذه المعادلة اعلومات نشرت في إحدى الدراسات السابقة . أثبتت هذه الدراسة بان عامل تراكم لكل من الجرعة الممتصة ، والطاقة الممتصة يزداد مع زيادة معدل المسار الحر ويزداد كذلك مع زيادة طاقة الفوتون الساقط ولمدى من الطاقات الواطئة من (0,015 MeV) إلى (0,2 MeV) ، ويقل بزيادة طاقة الفوتون الساقط ولمدى من الطاقات المتوسطة والعالية أي من (0,3 MeV) إلى (15 MeV) ، كما وأثبتت هذه الدراسة بان عامل تراكم الطاقة الممتصة أكبر من عامل تراكم الجرعة الممتصة وهذه النتيجة التي أثبتت في هذه الدراسة تتفق مع أغلب النتائج المنشورة في الدراسات السابقة .

"Calculation Gamma Ray of Dose & Energy Absorber Buildup Factor for Ordinary Concrete"

Abstracts:

In this study , gamma ray dose and energy absorber buildup factors in ordinary concrete calculated for point isotropic source , the range energy from (0,015 MeV) to (15 MeV) and the mean free path arrived to (40 mfp).

Semiempirical equation was used called "Taylor equation" and used in this equation parameters in one literature survey.

This study , prove that all gamma ray dose and energy absorber buildup factors in ordinary concrete increased with an in creasing the mean free path , the incident photon energy for a low energy range from (0,015 MeV) to (0,2 MeV) and decreased with an increasing the incident photon energy for middle and high ranges from (0,3 MeV) to (15 MeV) .Also , its prove that the absorber energy buildup factor was larger than the absorber dose buildup factor , and this results which prove in this study are agree with more results in literature survey.

١ - المقدمة:

تبرز أهميته عامل التراكم في تصحيح الحسابات المتعلقة في السمك الملائم لتدريع أشعة كاما ، وتوجد ثلاثة صيغ أساسية لحساب عامل التراكم هي عامل تراكم الجرعة (Dose of Buildup Factor) وعامل تراكم الطاقة الممتصة (Energy Absorption of Buildup Factor) وعامل التراكم العددي (الطاقة) Number of Buildup Factor(Energy) ، وقد نشرت دراسات عديدة حول هذه الصيغ ولمواد تدريع مختلفة ، ومصادر مشعة ذات طاقات مختلفة. ففي عام (١٩٩٣) قام كل من Faw & Shultis [١] بنشر دراسة تتضمن حساب عامل تراكم الجرعة الممتصة لأشعة كاما الصادرة من مصدر نقطي وللمدى الطاقي MeV (١٠٠-١٠) وذلك باستخدام Code EGS٤ .

كما نشر M.Ivan في عام (١٩٩٤) [٢] دراسة تضمنت صيغة رياضية يمكن من خلالها حساب عامل تراكم أشعة كاما للمواد (الماء و الحديد و الرصاص و الكونكريت). وكذلك في عام (٢٠٠١) قام O.Chibani [٣] باستخدام طريقة جديدة لطريقة (مونت كارلو) EGS٤ تدعى EB٤F لحساب عامل تراكم أشعة كاما لمصدر نقطي مدى طاقته من ٢٠ Kev إلى ١٠ MeV و لسمك يصل إلى ٦٠ mfp لمواد (الماء و الحديد و الرصاص و الكونكريت و الهواء). وفي عام (٢٠٠٤) قام كل من A.Shimizu , T.Onda & Y.Sakm [٤] باستخدام طريقة (Invariant Embedding III) لحساب عامل تراكم أشعة كاما لمصدر نقطي لسمك يصل إلى (١٠٠ mfp) و لمدى طاقي من ٠,٠١٥ MeV إلى ١٥ MeV باستخدام دروع من (الماء و الكونكريت و الرصاص و الحديد).

٢ - الهدف من البحث:

كما هو واضح في أعلاه إن أغلب الدراسات المتعلقة بعامل التراكم العملية منها والنظرية هي دراسات حول عامل التراكم العددي (الطاقة) ، و قليلاً ما نجد دراسات حول عامل تراكم الجرعة الممتصة وعامل تراكم الطاقة الممتصة ، لذلك جاء هذه العمل متضمنا حساب عامل تراكم الجرعة الممتصة والطاقة الممتصة لمادة الكونكريت لأهميتهما في الوقاية من الإشعاع.

٣ - طريقة الحساب :

تم حساب عامل تراكم الجرعة الممتصة والطاقة الممتصة لأشعة كاما الصادرة من مصدر نقطي في الكونكريت الاعتيادي باستخدام معادلة تايلور حيث تعبر هذه المعادلة عن صيغة التجريبية والتي يمكن من خلالها حساب عامل التراكم للطبقات المنفردة ، إذا توفرت اعلومات هذه المعادلة وتكتب المعادلة بالشكل التالي [٥, ٦, ٧]:

$$B=A \exp (-\alpha_1 \mu x)+ (1-A) \exp (-\alpha_2 \mu x).....(1)$$

حيث إن A و α_1 و α_2 هي اعلومات خاصة بالمعادلة تعتمد على طاقة المصدر المشع والشكل الهندسي للمصدر وتعتمد على نوع المادة المستخدمة كدرع. الجدولين (١, ٢) يوضح الأعلومات الخاصة بهذه المعادلة لحساب عامل تراكم الجرعة الممتصة والطاقة الممتصة لمادة الكونكريت الاعتيادي على التوالي ولمدى من الطاقة من

0.1 MeV إلى 10 MeV ، ولسمك يصل إلى (40 mfp). ومن خلال هذه المعلومات انشأ برنامج حسابي يمكن من خلاله حساب عامل تراكم الجرعة الممتصة والطاقة الممتصة ولكلاً المدى الطاقى ومعدل المسار الحر المذكورين .

جدول (1) يوضح المعلومات الخاصة لعامل تراكم الجرعة الممتصة في الكونكريت الاعتيادي ولمعدل مسار حر

(0-40) mfp [٨]

Source energy (MeV)	Parameter for eq.(٢)		
	A	α_1	α_2
0.10	0.920000	-0.00399	0.01690
0.20	1.244000	-0.00102	0.09200
0.30	1.090100	-0.00488	0.32336
0.40	2.280400	-0.01043	0.36340
0.50	3.923300	-0.02303	0.21206
0.60	5.083300	-0.04230	0.23264
0.80	18.70800	-0.03768	0.04497
1.00	39.10470	-0.04819	0.00101
1.50	175.7968	-0.06063	-0.04698
2.00	142.3797	-0.07402	-0.05642
3.00	129.0780	-0.07079	-0.05671
4.00	135.8676	-0.06865	-0.05205
5.00	104.0646	-0.06391	-0.04423
6.00	101.6332	-0.05702	-0.03888
8.00	110.2822	-0.04604	-0.03200
10.00	101.4067	-0.03840	-0.02407
15.00	32.81170	-0.03022	-0.00174
20.00	39.30720	-0.02468	-0.00162
30.00	13.70790	-0.02849	0.02761
40.00	14.22410	-0.02223	0.02316
50.00	9.268000	-0.02666	0.03280
60.00	8.869400	-0.02308	0.03132
80.00	7.003300	-0.02304	0.03323
100.00	5.318700	-0.02602	0.03799
150.00	4.708800	-0.02340	0.02849

جدول (٢) يوضح الالغومات الخاصة لعامل تراكم الطاقة الممتصة في الكونكريت الاعتيادي ولمعدل مسار حر

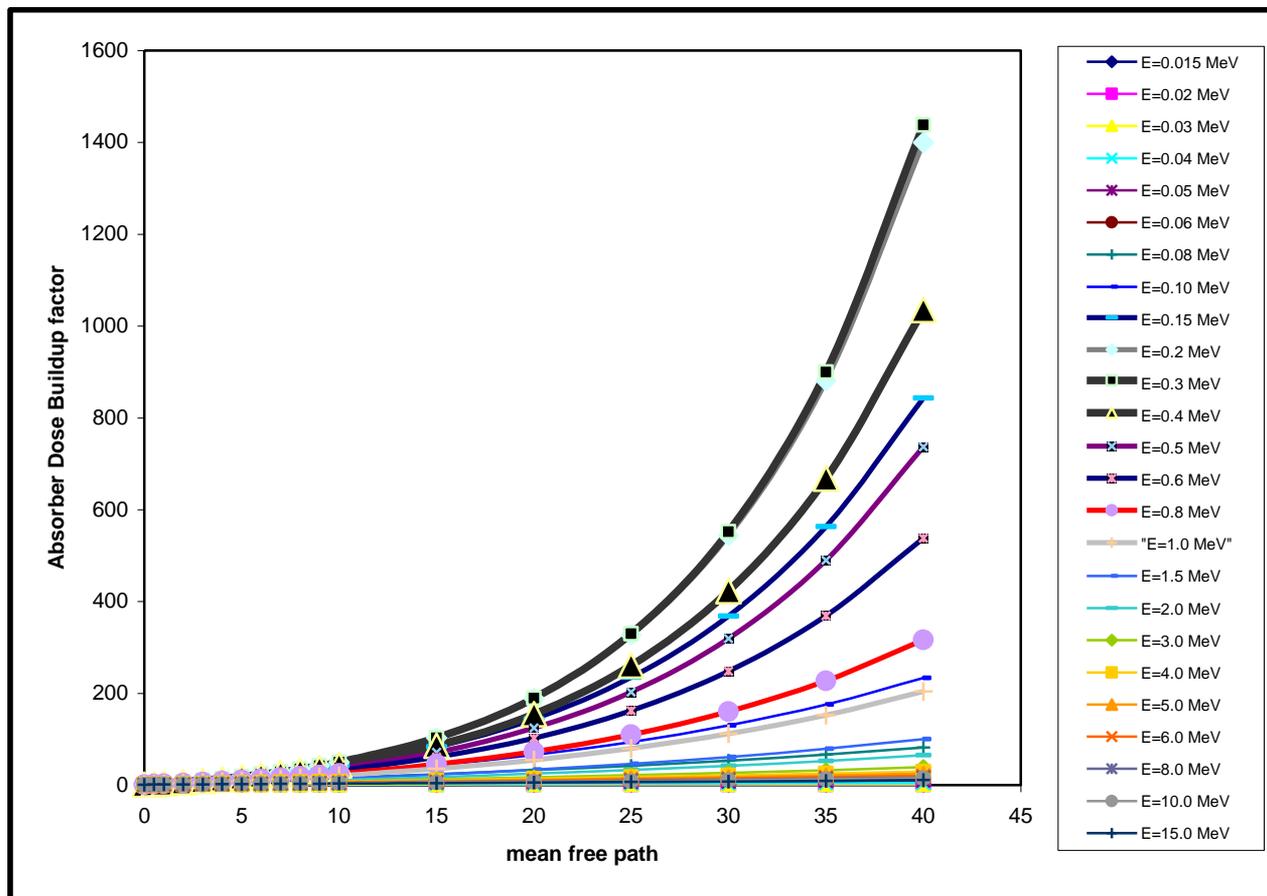
[٨].(٠-٤٠)mfp

Source energy (MeV)	Parameter for eq.(٢)		
	A	α_1	α_2
٠,٠١٥	٠,٩٢٥٥٠	-٠,٠٠٣٩٩	٠,٠١٦٩٥
٠,٠٢٠	١,٢٤٤٠٠	-٠,٠٠١٠٢	٠,٠٩٢٠٠
٠,٠٣٠	١,٦٣٩٨٠	-٠,٠٠٤١٥	٠,٣٠٣٣٧
٠,٠٤٠	٢,٣١٧٩٠	-٠,٠١٥١٣	٠,٣٦٧٣٤
٠,٠٥٠	٧,٠٥٨١٠	-٠,٠٠٧٦١	٠,١٠٧٧٧
٠,٠٦٠	٧,١٤٢١٠	-٠,٠٣١٨٧	٠,١٧٨٥١
٠,٠٨٠	٢٤,٠٢٣٣	-٠,٠٤٠٢٨	٠,٠٥٢١٠
٠,١٠٠	٦١,٦٧٩٦	-٠,٠٤٩٨١	٠,٠٠٣٢٤
٠,٠٥٠	٢٦٠,٧٣٤٦	-٠,٠٦٦٣٧	-٠,٠٤٩٩٣
٠,٢٠٠	١٤٣,٤٩٨٩	-٠,٠٨٤٩٤	-٠,٠٥٤٨٤
٠,٣٠٠	٢٢٤,٣٦٧٩	-٠,٠٨٠٦٩	-٠,٠٦٤٥٣
٠,٤٠٠	١٦١,٨٨٧١	-٠,٠٧٤٨٦	-٠,٠٥٥٦٧
٠,٥٠٠	١٣٧,٥٥٧٤	-٠,٠٦٨٠٥	-٠,٠٤٨٤١
٠,٦٠٠	١٠٥,٩٩٦٤	-٠,٠٦٢٦٨	-٠,٠٤٠١٩
٠,٨٠٠	١٠٨,٥٦١٦	-٠,٠٥٠١٥	-٠,٠٣٢٣٩
١,٠٠٠	٩٠,٩٢٢٧٠	-٠,٠٤٢٠٧	-٠,٠٢٤١٠
١,٥٠٠	٧٨,٠٩٦٠٠	-٠,٠٢٨٤٩	-٠,٠١٣٢٢
٢,٠٠٠	٨٧,٧١٧٩٠	-٠,٠١٩٧٤	-٠,٠٠٨٧٨
٣,٠٠٠	٤٥,٧٩٦٤٠	-٠,٠١٥٠٩	٠,٠٠٠٦٢
٤,٠٠٠	٣٩,٥٦٧٨٠	-٠,٠١٠٨٠	٠,٠٠٤٦٨
٥,٠٠٠	٢٥,٨١٨٤٠	-٠,٠١٠٩٤	٠,٠٠٩٠٩
٦,٠٠٠	٢٨,٠٣٣٨٠	-٠,٠٠٧٥١	٠,٠٠٨٧٤
٨,٠٠٠	٣٣,١٢٧٩٠	-٠,٠٠٦٣٩	٠,٠٠٣٩٩
١٠,٠٠	١٨,٢٣٨٣٠	-٠,٠٠٩٣٣	٠,٠٠٦٣٧
١٥,٠٠	١٢,١٥٨٩٠	-٠,٠١١٤٩	٠,٠٠٤٦٦

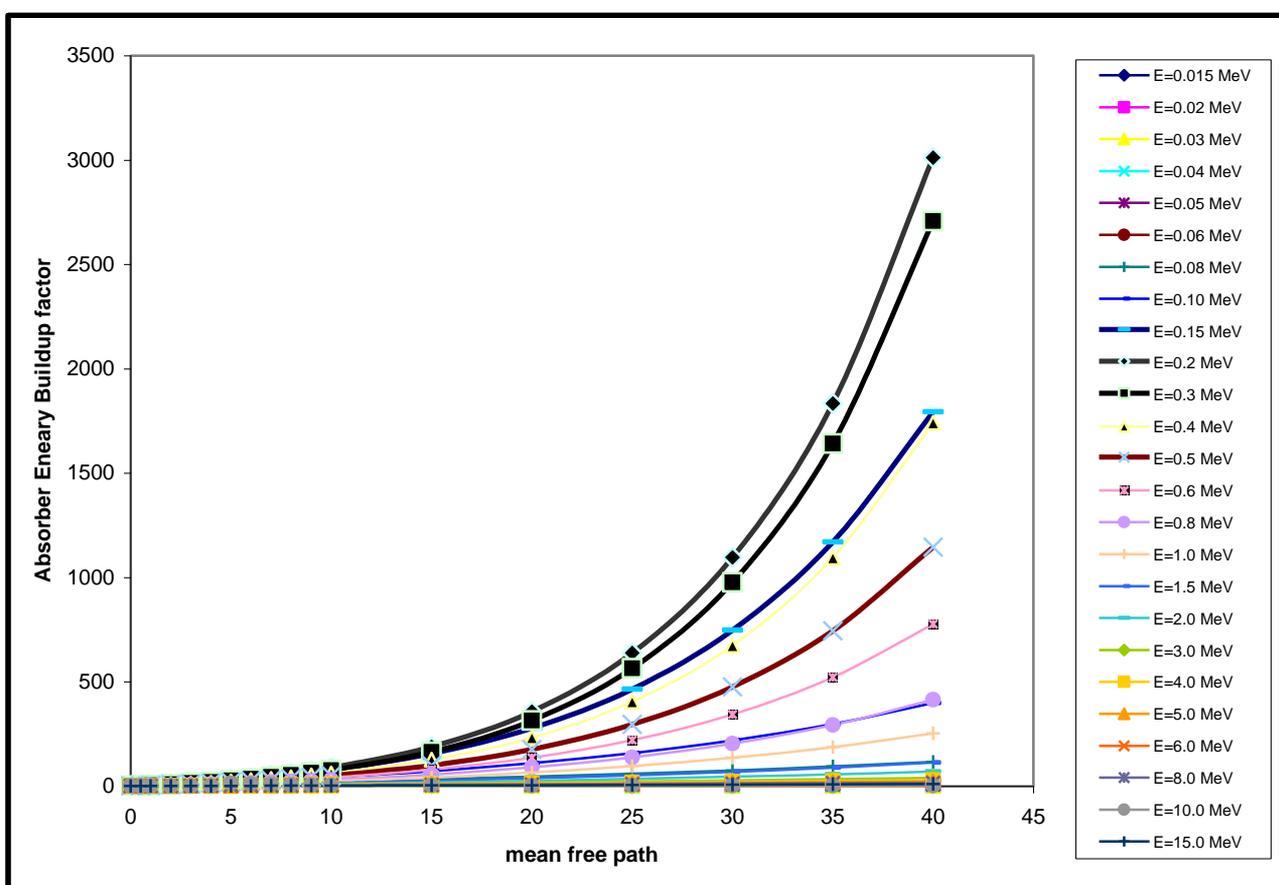
٤- النتائج والمناقشة:

تم حساب كل من عامل تراكم الجرعة الممتصة وعامل تراكم الطاقة الممتصة باستخدام طريقة شبه تجريبية لتايلر كما في المعادلة (١) وبالاتتماد على الالغومات نشرتة في الدراسات السابقة، كما هو واضح في الجدول (٣) الذي يبين قيم عامل تراكم الجرعة الممتصة في الكونكريت الاعتيادي ، والجدول (٤) يبين عامل

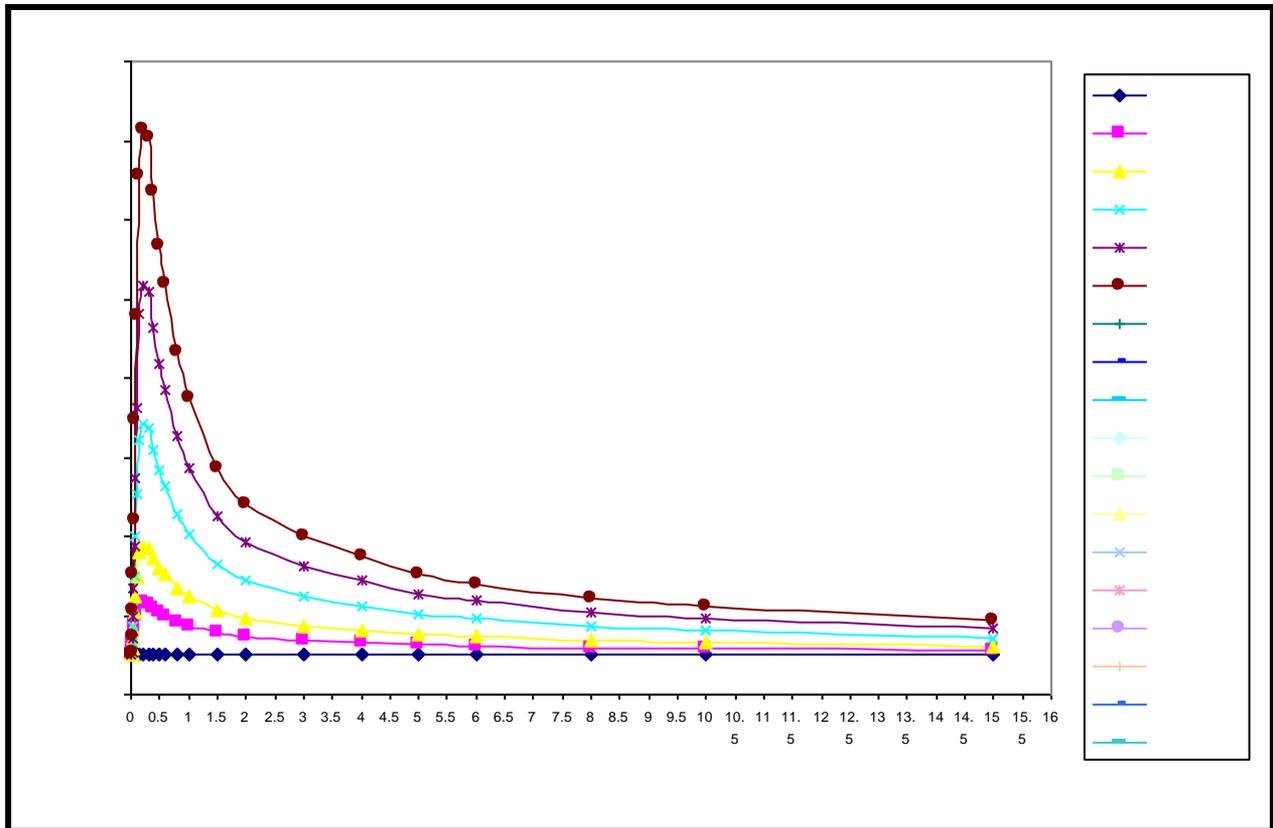
تراكم الطاقة الممتصة في الكونكريت الاعتيادي . إذ يلاحظ من الجدولين (٣) و (٤) إن هناك تأثير واضح لكل من سمك الدرع (معدل المسار الحر) وطاقة المصدر المشع على قيمة عامل التراكم ، ومن خلال الشكلين (١) و (٢) نجد إن قيمة عامل التراكم تزداد مع زيادة سمك الدرع وهذا يتفق مع جميع الدراسات السابقة ، وكذلك من الشكلين (٣) و (٤) إن قيمة عامل التراكم تزداد بزيادة طاقة المصدر المشع من $0,015 \text{ MeV}$ إلى $0,2 \text{ MeV}$ ومن ثم تقل قيمته من $0,3 \text{ MeV}$ إلى 10 MeV . ويمكن تفسير الحالة الأولى (زيادة عامل التراكم مع زيادة معدل المسار الحر) على انه عند زيادة سمك الدرع سوف تزداد عدد الالكترونات المدارية لمادة الدرع التي تتفاعل مع فوتونات أشعة كاما الساقطة على الدرع ، وبالتالي سوف تزداد الفوتونات المستطارة وهذا يؤدي بالنتيجة إلى زيادة عامل التراكم لان عامل التراكم يعتمد على عدد الفوتونات المستطارة. أما الحالة الثانية (زيادة عامل التراكم بزيادة الطاقة لمدى من الطاقات الواطئة من $(0,015 \text{ MeV})$ إلى $(0,2 \text{ MeV})$) ويقبل بزيادة الطاقة لمدى من الطاقات العالية من $(0,3 \text{ MeV})$ إلى (10 MeV) . ويمكن تفسير ذلك على إن عامل التراكم يعتمد بصورة أساسية على استطارة كومبتن وفي هذه الظاهرة تتوزع طاقة الفوتون الساقط على الفوتون المستطار وعلى الإلكترون المتحرر ، فطاقة الفوتون التي تقل كثيراً عن طاقة السكون للإلكترون ، يكسب الفوتون المستطار معظم الطاقة وهذا يفسر زيادة عامل التراكم مع زيادة طاقة الفوتون الساقط . أما عند مدى الطاقات المتوسطة والطاقات التي تزيد على الطاقة السكونية للإلكترون فإن الإلكترون المرتد يكسب معظم طاقة الفوتون الساقط ، ولا يبقى للفوتون المستطار إلا ما يقارب نصف طاقة سكون الإلكترون [٩] وهذا يفسر نقصان عامل التراكم مع زيادة طاقة الفوتونات الساقطة ضمن مدى الطاقات المتوسطة والعالية. ومن الملاحظ في الجدولين (٣) و (٤) إن قيمة عامل تراكم الطاقة الممتصة أكبر من عامل تراكم الجرعة الممتصة وهذا شئ طبيعي ، لان الجرعة الممتصة تعرف على إنها الطاقة الممتصة لوحة الكتلة.



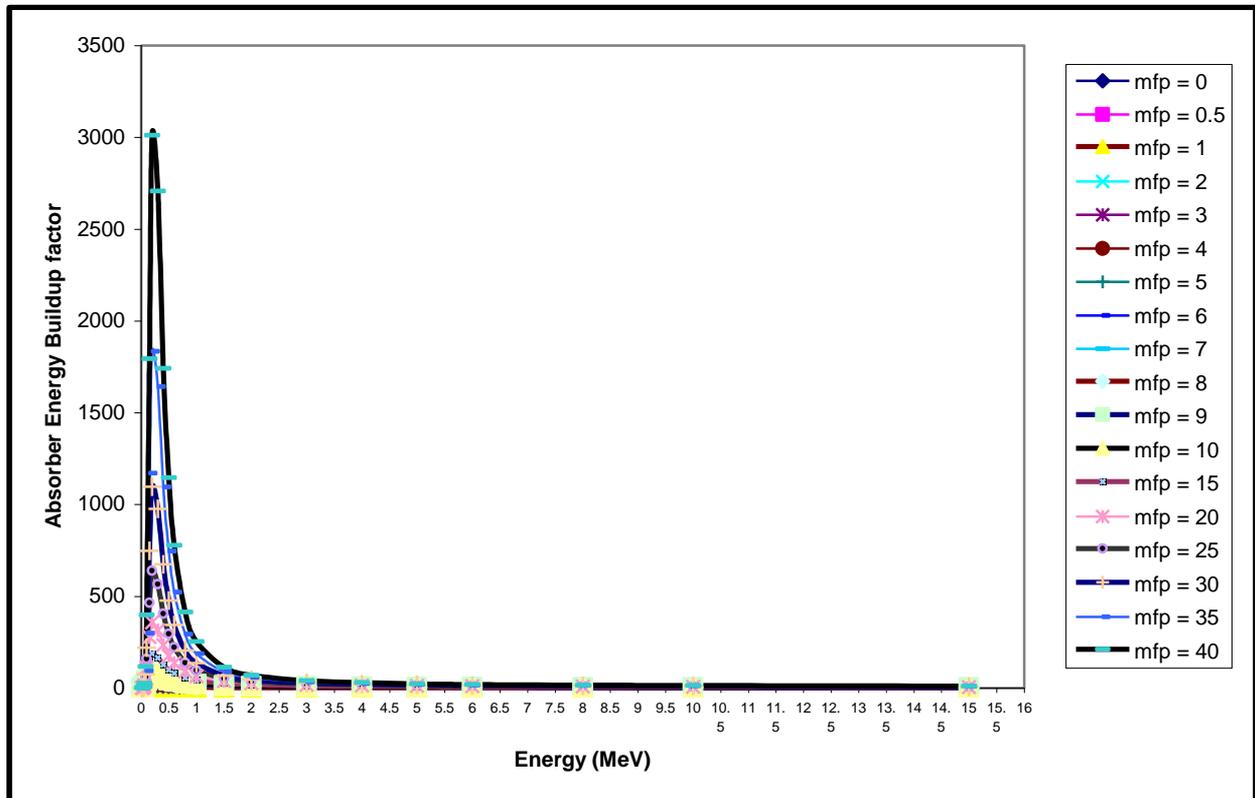
شكل (١) يوضح تأثير معدل المسار الحر على عامل تراكم الجرعة الممتصة.



شكل (٢) يوضح تأثير معدل المسار الحر على عامل تراكم الطاقة الممتصة.



شكل (٣) يوضح تأثير طاقة الفوتون الساقط على عامل تراكم الجرعة الممتصة.



شكل (٤) يوضح تأثير طاقة الفوتون الساقط على عامل تراكم الطاقة الممتصة.

جدول (٣) يوضح قيم عامل تراكم الجرعة لأشعة كاما في الكونكريت الاعتيادي
Gamma-Ray Dose Buildup Factors for Concrete

Energy MeV	Thickness (mfp)								
	٠	٠,٥	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧
٠,٠١٥	١	١,٠٠١٢١٩	١,٠٠٢٤٤٨	١,٠٠٤٩٣٢	١,٠٠٧٤٥١	١,٠١٠٠٠٦	١,٠١٢٥٩٥	١,٠١٥٢٢٠	١,٠١٧٨٧٨
٠,٠٢٠	١	١,٠١١٦٠٤	١,٠٢٢٧١٦	١,٠٤٣٥٤٨	١,٠٦٢٦٦٢	١,٠٨٠٢٠٩	١,٠٩٦٣٢٧	١,١١١١٤٢	١,١٢٤٧٦٨
٠,٠٣٠	١	١,٠٩٢٧٣٧	١,١٧٢٢٢١	١,٢٩٩٠٥٤	١,٣٩٣٠٥٠	١,٤٦٣٢٩١	١,٥١٦٣٥٢	١,٥٥٦٩٩٠	١,٥٨٨٦٤٩
٠,٠٤٠	١	١,٢٣٠٣٩٨	١,٤٢٥٥٨٧	١,٧٣٢٨٥٦	١,٩٥٨٠٣٦	٢,١٢٦٣١٦	٢,٢٥٥٢١٦	٢,٣٥٦٩٢٠	٢,٤٣٩٩٠٢
٠,٠٥٠	١	١,٣٤٠١٨٦	١,٦٥١١٧٩	٢,١٩٧٢٩٨	٢,٦٥٨٩٣٠	٣,٠٥٢٧٢٢	٣,٣٩٢١٤٤	٣,٦٨٨٠٩٧	٣,٩٤٩٤٠٦
٠,٠٦٠	١	١,٥٥٧٠٤٣	٢,٠٦٧١٧١	٢,٩٦٧٩١٦	٣,٧٣٩١٥٩	٤,٤١٠٢٦٣	٥,٠٠٤٦٠١	٥,٥٤٠٨١٠	٦,٠٣٣٧٧٢
٠,٠٨٠	١	١,٧٤٩٥٢١	٢,٤٩٧٠٥٥	٣,٩٨٧٤٥٣	٥,٤٧٣٧٥٨	٦,٩٥٨٥١٠	٨,٤٤٤٢٢٨	٩,٩٣٣٤١٢	١١,٤٢٨٥٥٠
٠,١٠٠	١	١,٩٨٣٦٨٦	٢,٩٩٠٦٣٨	٥,٠٧٦٦٢٥	٧,٢٦٢٦٧٣	٩,٥٥٣٧٢٥	١١,٩٥٤٩٧	١٤,٤٧١٨٦	١٧,١١٠٠٩
٠,١٥٠	١	٢,٢٥٦٣٠٠	٣,٥٨٠٣٩٥	٦,٤٤٣١٩٤	٩,٦١١٨٧٢	١٣,١١١٦٦	١٦,٩٦٩٦٤	٢١,٢١٤٩٢	٢٥,٨٧٨٧٤
٠,٢٠٠	١	٢,٣٢٣٠٨٩	٣,٧٣٢٨٤٠	٦,٨٢٩٨٠٠	١٠,٣٢٧٨٠	١٤,٢٦٧١٣	١٨,٦٩١٦٩	٢٣,٦٤٩٣٨	٢٩,١٩٢٣٦
٠,٣٠٠	١	٢,٣٠٦٦٤٨	٣,٦٨٩٨٩٤	٦,٧٤٣٩٣٨	١٠,١٩٩٦٩	١٤,٠٩٨٢٠	١٨,٤٨٤٢٧	٢٣,٤٠٦٨٣	٢٨,٩١٩٢٩
٠,٤٠٠	١	٢,١٨٨٦١٨	٣,٤٤٩١٦٣	٦,١٩٩٤٢٤	٩,٢٧٨٩٧٠	١٢,٧١٨٣٥	١٦,٥٥٠٦٧	٢٠,٨١١٧٨	٢٥,٥٤٠٥٢
٠,٥٠٠	١	٢,٠٧٤٤٢٣	٣,٢٠٧٠٣٢	٥,٦٥٦٥٤٤	٨,٣٦٨٩١٨	١١,٣٦٦٠٨	١٤,٦٧١٦٠	١٨,٣١٠٨٤	٢٢,٣١١٠٤
٠,٦٠٠	١	١,٩٨٩٩٦٠	٣,٠٢٧٦٦٦	٥,٢٥٣٤٢٤	٧,٦٩٢٠٩٦	١٠,٣٥٩٥٠	١٣,٢٧٢٥٤	١٦,٤٤٩٢١	١٩,٩٠٨٧٥
٠,٨٠٠	١	١,٨٣٣٧٨٠	٢,٧٠٠٢٥٨	٤,٥٣٥٢٥٥	٦,٥١٣١٥٧	٨,٦٤٢٥٧٨	١٠,٩٣٢٦٠	١٣,٣٩٢٧٩	١٦,٠٣٣٢٥
١,٠٠٠	١	١,٧٢٧٦٥٣	٢,٤٧٨١٨٤	٤,٠٥٠١٠٦	٥,٧٢٠٣٢٩	٧,٤٩٣٦١٩	٩,٣٧٤٩٥١	١١,٣٦٩٥٢	١٣,٤٨٢٧٥
١,٥٠٠	١	١,٥٥٥٢٤٣	٢,١٢٠٨١٩	٣,٢٨٣٧٠٦	٤,٤٩٠١٧٣	٥,٧٤١٧٨٥	٧,٠٤٠١٦٣	٨,٣٨٦٩٨٨	٩,٧٨٣٩٩٩
٢,٠٠٠	١	١,٤٥٧٠١٥	١,٩٢٠٠٦٤	٢,٨٦٤٥٦٩	٣,٨٣٤١٢٧	٤,٨٢٩٣٦٩	٥,٨٥٠٩٣٦	٦,٨٩٩٤٩٠	٧,٩٧٥٧٠٨
٣,٠٠٠	١	١,٣٧٢٢٩٧	١,٧٤٥٠٢٧	٢,٤٩٢٠٨٣	٣,٢٤١٧٥٨	٣,٩٩٤٦٤٤	٤,٧٥١٣٣٧	٥,٥١٢٤٣٦	٦,٢٧٨٥٤٣
٤,٠٠٠	١	١,٣١١٢٣٥	١,٦٢٢٤٩٣	٢,٢٤٥٢٤٣	٢,٨٦٨٥٦٩	٣,٤٩٢٧٩٢	٤,١١٨٢٣٢	٤,٧٤٥٢١١	٥,٣٧٤٠٤٨
٥,٠٠٠	١	١,٢٥٨٨٥٩	١,٥١٧١٩٩	٢,٠٣٢٥٥٥	٢,٥٤٦٥٢٨	٣,٠٥٩٥٧٦	٣,٥٧٢١٥٠	٤,٠٨٤٧٠٢	٤,٥٩٧٦٧٦
٦,٠٠٠	١	١,٢٢٧٤٦٤	١,٤٥٤٢٧٦	١,٩٠٦١١٩	٢,٣٥٥٨٨٠	٢,٨٠٣٩٠٧	٣,٢٥٠٥٤٣	٣,٦٩٦١٢٧	٤,١٤٠٩٩٤
٨,٠٠٠	١	١,١٨٠٠٦٥	١,٣٥٩٤٤١	١,٧١٦٢٧٣	٢,٠٧٠٧٩٥	٢,٤٢٣٣٠٠	٢,٧٧٤٠٧٨	٣,١٢٣٤١٢	٣,٤٧١٥٨٤
١٠,٠٠	١	١,١٥٢٢٥٥	١,٣٠٣٩٢٩	١,٦٠٥٦٩٨	١,٩٠٥٦٣٤	٢,٢٠٤٠٥٩	٢,٥٠١٢٨٨	٢,٧٩٧٦٣٤	٣,٠٩٣٤٠٣
١٥,٠٠	١	١,١٠٩١٦٩	١,٢١٨٢٤٦	١,٤٣٦١٩٤	١,٦٥٣٩٩١	١,٨٧١٧٨٢	٢,٠٨٩٧١٢	٢,٣٠٧٩٢٥	٢,٥٢٦٥٦٥

Gamma-Ray Dose Buildup Factors for Concrete

Energy MeV	Thickness (mfp)								
	λ	ρ	1.	10	2.	20	3.	30	ε.
0.10	1,020571	1,022298	1,026009	1,040307	1,000272	1,071347	1,089989	1,100379	1,123278
0.20	1,137310	1,148873	1,109010	1,201794	1,230887	1,201777	1,277212	1,279474	1,289700
0.30	1,713820	1,734307	1,701410	1,711084	1,707708	1,801887	1,847047	1,892187	1,938929
0.40	2,010007	2,071488	2,727048	2,878781	3,103912	3,203778	3,722790	3,913374	4,227247
0.50	2,183218	2,390324	2,090418	0,421703	7,176879	7,973008	7,824017	8,782733	9,800927
0.60	7,490407	7,930280	7,371111	9,472911	11,80772	14,72349	18,07899	22,34074	27,70373
0.80	12,93213	14,44773	10,97401	23,90213	32,04381	42,23470	03,34190	77,27840	81,01877
1.00	19,87077	22,77489	20,81437	43,37009	70,72987	93,87093	129,7399	170,2979	233,1917
1.50	30,99472	37,09800	42,72912	82,84000	143,7790	234,7397	378,2797	072,7027	842,7777
2.00	30,37747	42,27708	49,92708	102,7037	188,7032	327,0870	043,0240	880,7038	1399,313
3.00	30,07988	41,90214	49,70032	102,4709	189,0477	329,8010	002,0279	899,7804	1438,100
4.00	30,77893	37,07249	42,97043	87,04829	104,3417	270,4283	422,7070	777,9702	1030,138
5.00	27,70149	31,01377	37,78134	71,32074	123,9807	202,8783	319,4208	489,7991	737,7299
6.00	23,77177	27,70982	32,19704	70,03818	102,1034	172,1090	247,7877	378,0018	037,9172
8.00	18,87472	21,89810	20,14002	40,00137	72,48334	109,8143	170,1082	227,3137	317,0090
10.00	10,72029	18,08800	20,09219	30,39379	04,79791	79,73444	111,7022	102,3180	203,8904
15.00	11,23300	12,73087	14,29400	22,99727	33,42778	40,91923	70,87891	78,70072	100,1294
20.00	9,080282	10,21392	11,37737	17,77831	24,82400	32,90989	42,20341	02,70091	74,71741
30.00	7,000270	7,828089	7,274939	10,01002	13,87721	17,38407	21,11010	20,08971	29,37339
40.00	0,111020	0,727774	7,143081	8,779774	11,00072	14,40710	17,03100	20,93907	24,79723
60.00	4,080478	0,29909	0,474713	7,713007	10,00742	12,39072	14,91820	17,71002	20,02997
80.00	3,818871	4,170047	4,011880	7,247790	8,014000	9,842408	11,77401	13,80998	17,01240
100.00	3,388897	3,784417	3,980207	0,4744430	7,019711	8,700872	10,40340	12,31340	14,41910
150.00	2,740770	2,970799	3,187478	4,308193	0,472717	7,798174	8,003198	9,407323	10,93119

جدول (٤) يوضح قيم عامل تراكم الطاقة الممتصة لأشعة كاما في الكونكريت الاعتيادي
Gamma-Ray Energy Absorption Buildup Factors for Concrete

Energy MeV	Thickness (mfp)								
	٠	٠,٥	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧
٠,٠١٥	١	١,٠٠١٢١٩	١,٠٠٢٤٤٨	١,٠٠٤٩٣٢	١,٠٠٧٤٥١	١,٠١٠٠٠٦	١,٠١٢٥٩٥	١,٠١٥٢٢	١,٠١٧٨٧٨
٠,٠٢٠	١	١,٠١١٦٠٤	١,٠٢٢٧١٦	١,٠٤٣٥٤٨	١,٠٦٢٦٦٢	١,٠٨٠٢٠٩	١,٠٩٦٣٢٧	١,١١١١٤٢	١,١٢٤٧٦٨
٠,٠٣٠	١	١,٠٩٣٤٥٢	١,١٧٤٢٣٨	١,٣٠٤٦٩٦	١,٤٠٢٨٣٦	١,٤٧٧١٢٤	١,٥٣٣٨٠٨	١,٥٧٧٥٠٢	١,٦١١٦١٤
٠,٠٤٠	١	١,٢٣٨٧٣١	١,٤٤٠٤٩٣	١,٧٥٦٩٦٩	١,٩٨٧٧٢٨	٢,١٥٩٢٩٨	٢,٢٩٠٠٥٥	٢,٣٩٢٧٢٧	٢,٤٧٦١٣٣
٠,٠٥٠	١	١,٣٤٤٧٠٩	١,٦٧٢٨٤٨	٢,٢٨٢٨٧٥	٢,٨٣٦٥٤٣	٣,٣٣٩٦٥٧	٣,٧٩٧٤٢٦	٤,٢١٤٥٣	٤,٥٩٥١٧١
٠,٠٦٠	١	١,٦٣٩١٨١	٢,٢٣٥٤٢٢	٣,٣١٤١٧٢	٤,٢٦٣٣٣٣	٥,١٠٥٦٠٣	٥,٨٦٠٠٢١	٦,٥٤٢٥٦٤	٧,١٦٦٦٤٩
٠,٠٨٠	١	٢,٠٨٠٧٤٧	٣,١٥٦٢١٤	٥,٢٩٣٦٧٧	٧,٤١٧٠٧٠	٩,٥٣٠٩٨٨	١١,٦٣٩٩٥	١٣,٧٤٨٤٤٣	١٥,٨٦٠٨١
٠,١٠٠	١	٢,٦٥٣٦٤٠	٤,٣٤٦٣٤٦	٧,٨٥٢٩٣٤	١١,٥٢٧٩٨	١٥,٣٨٠١٣	١٩,٤١٨٤٦	٢٣,٦٥٢٥١	٢٨,٠٩٢٣١
٠,١٥٠	١	٣,٢٣١٧٥٣	٥,٥٩٤٣٧٤	١٠,٧٣٥٧٣	١٦,٤٧٣٤٧	٢٢,٨٦٠٩٨	٢٩,٩٥٥٩٦	٣٧,٨٢٠٧٥	٤٦,٥٢٢٦٥
٠,٢٠٠	١	٣,٢٦٤٢٨٢	٥,٦٨٨٥٤٠	١١,٠٥٢٠٣	١٧,١٦٤٩٢	٢٤,١٠٩١٠	٣١,٩٧٤٥٥	٤٠,٨٦٠٢١	٥٠,٨٧٤٦٩
٠,٣٠٠	١	٢,٩١٢٧١٥	٤,٩٦٥٥٤٧	٩,٥٢٣٠٧٠	١٤,٧٣٩٥٦	٢٠,٦٨٨٨٠	٢٧,٤٥١٩٧	٣٥,١١٨٤١	٤٣,٧٨٦٣٦
٠,٤٠٠	١	٢,٦٣٣٠٦٣	٤,٣٧٣٤٢٩	٨,١٩٧٧٦٠	١٢,٥١٨٨٤	١٧,٣٨٦٧٢	٢٢,٨٥٥٩٥	٢٨,٩٨٦٠٦	٣٥,٨٤١٩٢
٠,٥٠٠	١	٢,٤١٥٢٢٧	٣,٩١٣٢٦	٧,١٧٢٦٧٧	١٠,٨٠٩٦٢	١٤,٨٥٨٠١	١٩,٣٥٤٥٤	٢٤,٣٣٨٨٤	٢٩,٨٥٣٧٥
٠,٦٠٠	١	٢,٢٤٣٢٨٥	٣,٥٥٠٧٤٢	٦,٣٦٨٤٣٢	٩,٤٧٤٥١٧	١٢,٨٩٢٠١	١٦,٦٤٥٥٧	٢٠,٧٦١٦٧	٢٥,٢٦٨٦٦
٠,٨٠٠	١	٢,٠٠٠٤٥٦	٣,٠٤٢٢٣٦	٥,٢٥٥٠٤٠	٧,٦٤٩٣٤١	١٠,٢٣٦٧٠	١٣,٠٢٩٣٥	١٦,٠٤٠٢٣	١٩,٢٨٣٠٢
١,٠٠٠	١	١,٨٤٢٦٩٣	٢,٧١٣٢٥٨	٤,٥٤٠٨٧٢	٦,٤٨٨٧٥٢	٨,٥٦٣٠٨٢	١٠,٧٧٠٣٤	١٣,١١٧٣٠	١٥,٦١١٠٧
١,٥٠٠	١	١,٦٠٩١٤٦	٢,٢٣٠٩٧٧	٣,٥١٣٥٢٥	٤,٨٤٩٣٤٩	٦,٢٤٠٢٠٤	٧,٦٨٧٨٩٧	٩,١٩٤٢٩٥	١٠,٧٦١٣٢
٢,٠٠٠	١	١,٤٨٨٥٣٤	١,٩٨٤٠١٩	٢,٩٩٦١٥٨	٤,٠٣٧٠٥٢	٥,١٠٧٣٥٠	٦,٢٠٧٧١٤	٧,٣٣٨٨٢١	٨,٥٠١٣٦١
٣,٠٠٠	١	١,٣٦٠٧٢٥	١,٧٢٤٠٧٣	٢,٤٥٨٧١٦	٣,٢٠٤٠٩٠	٣,٩٦٠٣٥٨	٤,٧٢٧٦٨٦	٥,٥٠٦٢٤٣	٦,٢٩٦١٩٩
٤,٠٠٠	١	١,٣٠٤٣٨٧	١,٦٠٩٧٢٤	٢,٢٢٣٢٧٢	٢,٨٤٠٧٠٠	٣,٤٦٢٠٦١	٤,٠٨٧٤١٣	٤,٧١٦٨١١	٥,٣٥٠٣١١
٥,٠٠٠	١	١,٢٥٤١٥٧	١,٥٠٨٥٨١	٢,٠١٨٢٥٤	٢,٥٢٩٠٧١	٣,٠٤١٠٨٧	٣,٥٥٤٣٥٣	٤,٠٦٨٩٢٣	٤,٥٨٤٨٥١
٦,٠٠٠	١	١,٢٢٣٣٤٥	١,٤٤٦٥٧٢	١,٨٩٢٦٩٠	٢,٣٣٨٣٨٤	٢,٧٨٣٦٨٤	٣,٢٢٨٦١٩	٣,٦٧٣٢١٨	٤,١١٧٥١٢
٨,٠٠٠	١	١,١٧٠٠٤٤	١,٣٤٠٣٠٠	١,٦٨١٤٥٢	٢,٠٢٣٤٦٦	٢,٣٦٦٣٥٤	٢,٧١٠١٢٧	٣,٠٥٤٧٩٤	٣,٤٠٠٣٦٨
١٠,٠٠٠	١	١,١٤٠٠٩٧	١,٢٨٠٤١٩	١,٥٦١٧٤٥	١,٨٤٣٩٩٨	٢,١٢٧١٩٧	٢,٤١١٣٦٣	٢,٦٩٦٥١٤	٢,٩٨٢٦٧١
١٥,٠٠٠	١	١,٠٩٦٠٢٤	١,١٩٢٣٩١	١,٣٨٦١٦٤	١,٥٨١٣٤١	١,٧٧٧٩٣٩	١,٩٧٥٩٨١	٢,١٧٥٤٨٦	٢,٣٧٦٤٧٥

Gamma-Ray Energy Absorption Buildup Factors for Concrete

Energy MeV	Thickness (mfp)								
	٨	٩	١٠	١٥	٢٠	٢٥	٣٠	٣٥	٤٠
٠,٠١٥	١,٠٢٥٧١	١,٠٢٣٢٩٨	١,٠٢٦٠٥٩	١,٠٤٠٣٥٧	١,٠٥٥٤٦٢	١,٠٧١٣٤٧	١,٠٨٧٩٨٩	١,١٠٥٣٦٩	١,١٢٣٤٦٨
٠,٠٢٠	١,١٣٧٣١٠	١,١٤٨٨٦٣	١,١٥٩٥١٥	١,٢٠١٧٩٤	١,٢٣٠٨٨٧	١,٢٥١٦٦٧	١,٢٦٧٢١٢	١,٢٧٩٤٦٤	١,٢٨٩٦٥٠
٠,٠٣٠	١,٦٣٨٦٥٨	١,٦٦٠٤٩١	١,٦٧٨٤٨٥	١,٧٣٨٣٦٤	١,٧٨٠٢٢٩	١,٨١٨٧٤٣	١,٨٥٧١٣٧	١,٨٩٦١٣٢	١,٩٣٥٩٠٠
٠,٠٤٠	٢,٥٤٦٣٨٣	٢,٦٠٧٧١٣	٢,٦٦٣٠٥٧	٢,٩٠٣٠٩٣	٣,١٣٦١٣٤	٣,٣٨٣٣٦٨	٣,٦٤٩٣٧٤	٣,٩٣٦١٨	٤,٢٤٥٥٠٨
٠,٠٥٠	٤,٩٤٣١٢٠	٥,٢٦١٧٦٤	٥,٥٥٤١٤٦	٦,٧٠٨٥٣٤	٧,٥١٦٥٣١	٨,١٢٧٦٥٣	٨,٦٢٩٣٣٤	٩,٠٧٢٧٩٥	٩,٤٨٨١٣٥
٠,٠٦٠	٧,٧٤٣٥٥٣	٨,٢٨٢٧٦٦	٨,٧٩٢٢٨٣	١١,٠٩٧٥٧	١٣,٣٣٦٧٨	١٥,٧٧٢٦٤	١٨,٥٥١٣٨	٢١,٧٧٨٢٤	٢٥,٥٤٩٤٦
٠,٠٨٠	١٧,٩٨١٤٧	٢٠,١١٤٧٣	٢٢,٢٦٤٩٠	٣٣,٤١٩٣٤	٤٥,٦٤٣٦٥	٥٩,٥٠١٩٠	٧٥,٦٠٩٤٤	٩٤,٦٦١٣٥	١١٧,٤٦٣٥
٠,١٠٠	٣٢,٧٤٨٤٠	٣٧,٦٣١٨٦	٤٢,٧٥٤٣٥	٧٢,٤٠٣٠٢	١١٠,١٥٤٤	١٥٨,٣٠٤٤	٢١٩,٧٩٨٥	٢٩٨,٤١٤٧	٣٩٨,٩٩٩٦
٠,١٥٠	٥٦,١٣٤٣٣	٦٦,٧٣٤٢٣	٧٨,٤٠٦٩٩	١٥٦,٣٢٢١	٢٧٨,٢٤٤٩	٤٦٥,٢٧٨٥	٧٤٧,٩٠٤٣	١١٦٩,٩٧٧	١٧٩٤,٣٧٧
٠,٢٠٠	٦٢,١٣٧٣٢	٧٤,٧٧٩٠٤	٨٨,٩٤٣٥٨	١٨٨,٦٩١٧	٣٥٧,٨٤٠٧	٦٣٨,٣٥٦٥	١٠٩٦,٠٦٤	١٨٣٣,٧٩٦	٣٠١١,٦٥٨
٠,٣٠٠	٥٣,٥٦٣٧٨	٦٤,٥٦٩٣١	٧٦,٩٣٣٢٤	١٦٤,٦٥٢٣	٣١٤,٨٠٨٨	٥٦٥,٦٠٨٢	٩٧٦,٩٧٤٩	١٦٤٢,٣٨٨	٢٧٠٦,٩٩١
٠,٤٠٠	٤٣,٤٩٤٢٠	٥٢,٠١٩٩٠	٦١,٥٠٢٨٥	١٢٦,٧٦٧٩	٢٣٣,٦٤٧٢	٤٠٤,٨٧٩٣	٦٧٤,٧٥٩٩	١٠٩٤,٧٨٥	١٧٤١,٩٨٣
٠,٥٠٠	٣٥,٩٤٥٥٥	٤٢,٦٦٤٢١	٥٠,٠٦٣٦٩	٩٩,٤٨٠٩٣	١٧٦,٩٠٣٤	٢٩٥,٨٦٦١	٤٧٥,٩٨٧٩	٧٤٥,٦٠١١	١١٤٥,٤٩٢
٠,٦٠٠	٣٠,١٩٦٩٥	٣٥,٥٧٩٠٩	٤١,٤٥٠٠٠	٧٩,٥٤١١٥	١٣٦,٧٣٤٦	٢٢١,١٩٢٥	٣٤٤,٣٣٢٨	٥٢٢,٠٨٤	٧٧٦,٦١٣٤
٠,٨٠٠	٢٢,٧٧٢١٧	٢٦,٥٢٢٩٨	٣٠,٥٥١٦٢	٥٥,٤٩٥١٨	٩٠,٤٠١٨١	١٣٨,٦١٢٧	٢٠٤,٥٠٩٤	٢٩٣,٨٢٦	٤١٤,٠٥٢٦
١,٠٠٠	١٨,٢٥٩٠٧	٢١,٠٦٩٠٧	٢٤,٠٤٩٢٣	٤١,٨١٤٤٤	٦٥,٢٩٢٦٩	٩٦,٠٢٠٤٧	١٣٥,٩١٩٤	١٨٧,٣٨٩٩	٢٥٣,٤٢٦٦
١,٥٠٠	١٢,٣٩٠٩٤	١٤,٠٨٥٢١	١٥,٨٤٦٢٣٠	٢٥,٧٣٠٦٢	٣٧,٦٣٧٩٣	٥١,٩١٢٦٨	٦٨,٩٥٤٥٢	٨٩,٢٢٦٨٣	١١٣,٢٦٦٦
٢,٠٠٠	٩,٦٩٦٠٤٠	١٠,٩٢٣٥٨	١٢,١٨٤٧١٠	١٩,٠٢١٠٦	٢٦,٨١٦٦٥	٣٥,٦٨٢٢٣	٤٥,٧٤٠٠	٥٧,١٢٧٤٤	٦٩,٩٩٣٧٠
٣,٠٠٠	٧,٠٩٧٧٢٨	٧,٩١١٠٠٦	٨,٧٣٦٢١٣	١٣,٠٤٧٦٢	١٧,٦٨٥٦٩	٢٢,٦٧٦٠٥	٢٨,٠٦٣٥	٣٣,٨٢٦٣٩	٤٠,٠٤٨٣٢
٤,٠٠٠	٥,٩٨٧٩٧٢	٦,٦٢٩٨٥١	٧,٢٧٦٠٠٦	١٠,٥٧٣٠٢	١٣,٩٨٦٠٤	١٧,٥٢٣٠٧	٢١,١٩٢٤٩	٢٥,٠٠٣١٢	٢٨,٩٦٤٢٥
٥,٠٠٠	٥,١٠٢١٩٠	٥,٦٢٠٩٩٦	٦,١٤١٣٢٢	٨,٧٦٧٦٧٤	١١,٤٤٠٣٣	١٤,١٦٦٤١	١٦,٩٥٣٢١	١٩,٨٠٨٢٦	٢٢,٧٣٩٣٣
٦,٠٠٠	٤,٥٦١٥٣٠	٥,٠٠٥٣٠٢	٥,٤٤٨٨٥٦	٧,٦٤٤٣٩٥	٩,٨٧٨٨٩١	١٢,٠٩٥٩٧	١٤,٣١٩٢٥	١٦,٥٥٢٣٣	١٨,٧٩٨٧٩
٨,٠٠٠	٣,٧٤٦٨٥٩	٤,٠٩٤٢٧٨	٤,٤٤٢٦٣٧	٦,١٩٨٩١١	٧,٩٨٠٣٦٣	٩,٧٨٨٤٣٨	١١,٦٢٤٦٢	١٣,٤٩٠٤٢	١٥,٣٨٧٤٠
١٠,٠٠٠	٣,٢٦٩٨٥٥	٣,٥٥٨٠٨٤	٣,٨٤٧٣٧٩	٥,٣١٠٥٦٦	٦,٨٠٣٥١٩	٨,٣٢٨٩١٧	٩,٨٨٩٥٢٨	١١,٤٨٨٢١	١٣,١٢٧٩٣
١٥,٠٠٠	٢,٥٧٨٩٦٩	٢,٧٨٢٩٨٩	٢,٩٨٨٥٥٨	٤,٠٤٠٣٨١	٥,١٣٤٢٤٨	٦,٢٧٣١٠٧	٧,٤٦٠٠٧٣	٨,٦٩٨٤٣٣	٩,٩٩١٦٦٠

٥- الاستنتاجات :

١. عامل تراكم الجرعة الممتصة والطاقة الممتصة لأشعة كاما في الكونكريت الاعتيادي يزداد بزيادة معدل المسار الحر.
٢. عامل تراكم الجرعة الممتصة والطاقة الممتصة لأشعة كاما في الكونكريت الاعتيادي يزداد بزيادة طاقة الفوتون الساقط في مدى الطاقات التي تقل كثيراً عن الطاقة السكونية للإلكترون .
٣. عامل تراكم الجرعة الممتصة والطاقة الممتصة لأشعة كاما في الكونكريت الاعتيادي يقل بزيادة طاقة الفوتون الساقط في مدى الطاقات المتوسطة والعالية.
٤. عامل تراكم الطاقة الممتصة أكبر من عامل تراكم الجرعة الممتصة.

References:

- [١] J.K.Faw, R.E.Shultis, Nucl.Sci.Eng., Vol. ١١٤, No. ١, P.٧٦, (١٩٩٣).
- [٢] M.Ivan, Nucl. Sci. Eng, Vol. ١١٧, No. ٢, P. ١١٠, (١٩٩٤).
- [٣] O.Chibani, Nucl. Sci. Eng, Vol. ١٣٧, No. ٢, P. ٢١٥, (٢٠٠١).
- [٤] A.Shimizu, T.Onda, Y.Sakm, Nucl. Sci. Teach., Vol. ٤١, No. ٤, P. ٤١٣, (٢٠٠٤).
- [٥] J.Wood, "Computational Method in Reactor Shielding" (Pergamon Press U.K) P. ١٠٨, (١٩٨٢).
- [٦] A.Foderaro & R.J.Hall, Nucl. Sci. Eng, Vol. ٧٨, P. ٧٤, (١٩٨١).
- [٧] J.Kenneth & E.Richard, Health.Phys., Vol. ٨٨, P. ٢٩٧, (٢٠٠٥).
- [٨] K.Shure & O.J.Wallace, Nucl. Sci. Eng, Vol. ٦٢, P. ٧٣٦, (١٩٧٧).
- [٩] د.شذى الدركزلي، "الكشف عن الأشعة النووية" جامعة بغداد، (١٩٨٧).