

محاكاة رمي المدفعية الأرضية مع احتساب تراكم الضرر

الدكتور ميسر الحسن*

سليمان مريم**

(تاريخ الإيداع 26 / 5 / 2008. قُبل للنشر في 10/8/2008)

□ الملخص □

يمثل قانون التدمير الإحداثي الميزة الاحتمالية الكاملة للأثر التدميري لقذائف المدفعية، وقد أدت صعوبة تحديد هذا القانون إلى البحث عن علاقات أكثر بساطة للتعبير عن هذه الميزة، ولكن ظاهرة "تراكم الضرر"، وقفت عائقاً أمام تبسيطه.

في المرحلة الأولى من الدراسة تم وضع نموذج إحصائي، يسمح بمحاكاة عمليات رمي المدفعية والمدفعية الصاروخية على أهداف فردية أو جماعية مختلفة بدون احتساب هذه الظاهرة، مع الاقتصار على معالجة الأهداف المدرعة، كما استخدم هذا النموذج لتقييم فعالية رمي المدفعية الأرضية باعتماد احتمال الإصابة العام كمعيار للفعالية. تعالج هذه الدراسة نفس المسألة مع مراعاة ظاهرة تراكم الضرر، وتعميم نتائج الدراسة على الأنواع المختلفة للأهداف.

الكلمات المفتاحية: محاكاة- مدفعية الميدان- قانون التدمير الإحداثي- تراكم الضرر.

* أستاذ مساعد- عضو هيئة تدريسية - كلية الهندسة الإلكترونية - أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية - حلب.
** طالب دراسات عليا (ماجستير)- كلية الهندسة الإلكترونية - فرع التوجيه و التحكم - أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية - حلب.

Simulation of Ground Artillery Shelling and Calculation of Damage Accumulation

Dr. Miassar Alhasan*
Sulaiman Mariam**

(Received 26 / 5 / 2008. Accepted 10 / 8 / 2008)

□ ABSTRACT □

The law of coordinates destruction represents the full potential advantage of the destructive impact of artillery shells. The difficulty in determining this law has resulted in seeking simplicity for expressing this feature. But the phenomenon of "the accumulation of damage," has proved an impediment to its simplification. At first, a statistical model was built, allowing for the simulation of the shelling operations of artillery and missile artillery of different individual or collective targets without calculating this phenomenon; by only engaging in armored targets, this mode is also used to evaluate the effectiveness of ground artillery shelling by adopting the general hitting possibility as a criterion for effectiveness. This study deals with the same issue, taking into account the phenomenon of the accumulation of damage, and distributing the results of this study to the different types of objectives.

Keywords: Simulation, Ground Artillery, Law of coordinates destruction, accumulation of damage.

* Associate Professor, Faculty of Electronic Engineering, Al-Assad Academy For Military Engineering, Aleppo, Syria.

**Postgraduate Student, Department of Guidance and Control, Faculty of Electronic Engineering, Al-Assad Academy For Military Engineering, Aleppo, Syria.

مقدمة:

يمثل الانتقال من التمهيد المدفعي إلى الهجوم عملية دقيقة، تستند إلى حسابات معقدة، تعطي نتائجها على شكل معدّلات تكتيكية لنسب تدمير القوات المعادية، يعتمد عليها القادة التعبويون في عملهم. ولكن هذه المعدلات تعطي بشكل تقريبي من خلال الخبرات الميدانية للقادة التي تتبع الحدس في كثير من الأحيان، بسبب تعذر الحصول على تقييم صحيح لنتائج الرمي من خلال الرصد والمسح الجوي بالسرعة المطلوبة، وخاصة في ظروف التفوق الجوي المعادي.

يركز هذا البحث على تقييم نتائج رمي المدفعية الأرضية، من خلال إجراء محاكاة لعمليات الرمي في الحالات المختلفة مع احتساب ظاهرة تراكم الضرر.

أهمية البحث وأهدافه:

تتبع أهمية البحث من ضرورة إيجاد طريقة لإجراء الحساب الميداني المؤتمت لنتائج رميات المدفعية المتعاقبة، من خلال معرفة قوام القوات المعادية ومكان انتشارها وطبيعته. يرمي هذا البحث إلى أتمتة عمليات تنظيم المعركة في مرحلة التحضير، وبشكل خاص خلال تقدير الموقف وحساب ميزان القوى، وذلك باستخدام النمذجة التقليدية لصراع قوات المدفعية الصديقة ضد الأهداف الأرضية المعادية، المدرعة وغير المدرعة، المحصنة والملتجئة، بالإضافة إلى المنشآت والقوى الحية.

طرائق البحث و مواده:

بالاعتماد على أسس النمذجة التقليدية، وعلى مبادئ علم الاحتمالات، تمت دراسة ظاهرة الرمي بمراحلها المختلفة (التحضير، الرمي، تقدير النتائج) من وجهة نظر تعبوية ورياضية، وتحديد معايير فعاليتها، ووضع الفرضيات الأولية وإجراء التبسيطات الممكنة من أجل صياغة النموذج المطلوب لتقييم فعالية رمي المدفعية الأرضية من خلال وضع نموذج رياضي يعبر عن هذه الظاهرة.

بعد ذلك تم وضع برنامج حاسوبي لتمثيل عملية الرمي المطلوبة، يسمح باختيار نوع الرمي المطلوب، وطريقة توضع المدافع، وعدد تجارب حساب النتائج الإحصائية، وعدد القذائف المرمية، ومساحة الهدف الجماعي، وعدد العناصر المفردة في هذا الهدف.

أخيراً تم استخدام هذا البرنامج لحل بعض المسائل الواقعية المحلولة، ومقارنة نتائج الحل مع قيم المعدلات التكتيكية المعتمدة.

1- تحديد معيار فعالية الرمي على هدف مساحي:

يتلخص تقييم فعالية رمي المدفعية في إيجاد المقياس الكمي للضرر الذي يلحق بالعدو "معيار الفعالية"، وهو يحسب كاحتمال إلحاق الضرر بالهدف بنسبة لا تقل عن قيمة محددة [1]:

$$P_u = P(U \geq u) \quad (1)$$

حيث: U - مقدار عشوائي يمثل الضرر النسبي $U \in [0, 1]$ ، u - الضرر المطلوب.

ويمكن اعتبار أن معيار الفعالية هو احتمال تنفيذ المدفع للمهمة القتالية المحددة، وبالتالي يكتب تابع توزيع

الضرر $F(u) = P(U < u)$ كما يلي:

$$R_u = 1 - P(U < u) = 1 - F(u) \quad (2)$$

عند حل المسائل العملية وتعيين الاحتمال R_u يظهر مفهوم "الاحتمال المضمون" الذي يرمز له R_2 . ويحسب الضرر المضمون u_2 بحل المعادلة:

$$F(u_2) = 1 - R_2 \quad (3)$$

يمثل الضرر الوسطي $M = M[U]$ معياراً مستقلاً للفعالية، ومعياراً وسطياً عند حساب الضرر المضمون u_2 الذي يعطى في الوثائق الفنية لوسائط التدمير، أي:

$$\int_0^{u_{\max}} [1 - F(u)] du = M \quad (4)$$

يستخدم المعياران (1) و(4) لتقييم فعالية تدمير الهدف [2] عند حل المسألة المباشرة، أي عند معرفة أنواع الأهداف وقوام القوات وفرضية التذخير وطريقة الاستخدام القتالي. بينما تتلخص المسألة العكسية في حساب قوام القوات المدفعية اللازم، كي لا يقل الضرر عن القيمة المطلوبة عند معرفة نوع الهدف ونوع المدفع وفرضية التذخير وطريقة الاستخدام القتالي.

تقسم الأهداف عادة إلى أهداف أحادية وجماعية ومساحية. ويمكن أن تكون متجانسة أو غير متجانسة. يمثل الهدف الجماعي مجموعة من الأهداف الأولية المرتبطة تنظيمياً أو وظيفياً، ويمثل تدميره مهمة قتالية. يقاس الضرر الملحق بالهدف الجماعي عادة بعدد أجزاء العناصر المدمرة، لذلك يعتبر هذا الضرر مقداراً عشوائياً يرمز له: $U : U = \frac{\mu}{n_u}$ ،

حيث: μ - العدد العشوائي للعناصر المدمرة ($\mu = 0, n_u$)، n_u - عدد الأهداف الأولية المكونة للهدف الجماعي، كما في حالة مرائب الدبابات وسرايا العربات القتالية في أثناء المسير. يتألف الهدف الجماعي المتجانس من مجموعة عناصر متساوية ومتكافئة من حيث الوظيفة والاستمرار.

إذا كانت عناصر الهدف الجماعي غير مرئية، أي كان توزيعها المتبادل غير معلوم، فإن الهدف يعتبر مساحياً [3]، ويدرس عادة كمجموعة تتبع مراكز الأهداف الأولية داخلها بشكل منتظم، ويتناسب الضرر الملحق بالهدف المساحي مع نسبة السطح المدمر منه: $U = \frac{S_n}{S_u}$ ، إذ إن: S_n - هي السطح المدمر من الهدف، وتمثل مقداراً

عشوائياً. $S_u = I_x \times I_z$ - سطح الهدف، I_x ، I_z - أبعاد الهدف وفق المحورين Ox ، Oz . ومن الأهداف المساحية العتاد المدرع في منطقة التحشد وتشكيلات القوات على أرض المعركة والمؤسسات الصناعية العسكرية.. الخ.

2- تعيين الخواص الاحتمالية لتناثر القذائف:

تتلخص ظاهرة تناثر القذائف في تبعثر نقاط سقوط القذائف بالنسبة لنقطة التسديد أثناء الرمي في شروط متماثلة. ويظهر تناثر القذائف من الناحية الكمية في الانحرافات العشوائية لنقاط السقوط عن نقطة التسديد على سطح الأرض أو في المستوي العمودي على اتجاه الرمي. يتم اختيار محاور الإحداثيات في المستوي XOZ ، بحيث تكون مركبات الأخطاء X و Z مستقلة.

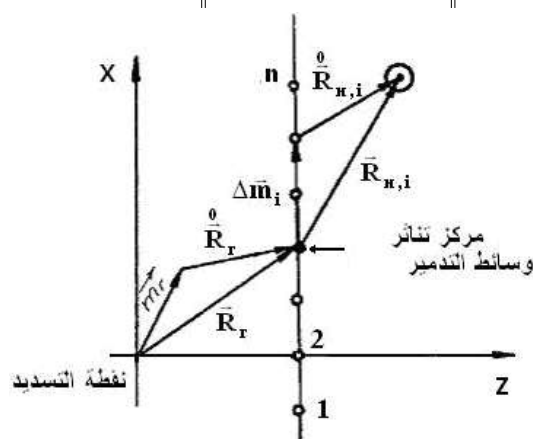
تعود أسباب ظهور تناثر القذائف إلى الأخطاء المرتبطة بعمل كل من أجهزة التسديد والضبط، إضافة إلى الأخطاء المتعلقة بعمل الرماة (السدنة) أثناء التسديد، بالإضافة إلى الأخطاء المرتبطة بانحراف ميزات القذائف وشروط استخدامها عن الشروط الجدولية.

تمت دراسة سلسلة تعاقب $2n$ إحدائية عشوائية لنقاط سقوط القذائف كشعاع عشوائي ذي $2n$ بعد في المستوي $(X_1, Z_1; X_2, Z_2; \dots; X_n, Z_n)$ ، واعتبار أن قانون توزيع هذا الشعاع هو قانون التوزيع الطبيعي، كون تتأثر أي من القذائف يتحدد بالتأثير الإجمالي لمجموعة عوامل، وتتحقق في أثناء ذلك شروط النظرية الحدية المركزية. إن خواص الشعاع المذكور هي شعاع التوقعات الرياضية:

$$(m_{x1}, m_{z1}; m_{x2}, m_{z2}; \dots; m_{xn}, m_{zn})$$

ومصفوفات الارتباط وفق كلٍ من محوري الإحداثيات ox, oz :

$$\|K_{ij}^{(z)}\| = \begin{pmatrix} D_1^{(z)} & K_{12}^{(z)} & K_{13}^{(z)} & \dots & K_{1n}^{(z)} \\ & D_2^{(z)} & K_{23}^{(z)} & \dots & K_{2n}^{(z)} \\ & & D_3^{(z)} & \dots & K_{3n}^{(z)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ & & & & D_n^{(z)} \end{pmatrix} \quad \|K_{ij}^{(x)}\| = \begin{pmatrix} D_1^{(x)} & K_{12}^{(x)} & K_{13}^{(x)} & \dots & K_{1n}^{(x)} \\ & D_2^{(x)} & K_{23}^{(x)} & \dots & K_{2n}^{(x)} \\ & & D_3^{(x)} & \dots & K_{3n}^{(x)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ & & & & D_n^{(x)} \end{pmatrix}$$



الشكل (1) أخطاء التناثر النظامية الجماعية والذاتية

بما أن التناثر يدرس في محاور الإحداثيات الرئيسية، فإن الإحداثيات X_i و Z_i تكون مستقلة بعضها عن بعض ، علماً أن إحدائيات نقاط سقوط مختلف القذائف وفق كل محور من المحاور مرتبطة، وهو ما يعبر عنه بمصفوفات العزوم المرتبطة المبينة أعلاه. وتستخدم من أجل الحسابات ثوابت الارتباط $\mu_{ij}^{(z)}$ و $\mu_{ij}^{(x)}$ التي تشكل مصفوفات الارتباط

$$\text{النظامية ذات العناصر: } \mu_{ij} = \frac{K_{ij}}{\sqrt{D_i D_j}} \text{، حيث } (i, j = \overline{1, n})$$

إن أبسط وأعم نموذج لتناثر القذائف المستخدمة في ضربة واحدة هو مخطط مجموعتين من الأخطاء، تمثل وفقه

كل إحدائية $(X_i \vee Z_i)$ لنقطة سقوط القذيفة (i) مجموع حدين مستقلين هما الخطأ الجماعي والخطأ الذاتي:

$$M[X_{u,i} X_{u,i}] = 0 \quad (i, j = \overline{1, n}; i \neq j)$$

$$\left. \begin{aligned} M[Z_{u,i} Z_{u,i}] &= 0; \\ M[X_{z,i} X_{u,i}] &= 0; \\ M[Z_{z,i} Z_{u,i}] &= 0. \end{aligned} \right\}$$

وبهذا الشكل، يعبر عن إحداثيات سقوط القذيفة (i) بالشكل التالي:

$$\left. \begin{aligned} X_i &= m_{x_2,i} + \dot{X}_i = m_{x_2,i} + \dot{X}_z + \dot{X}_{u,i} \\ Z_i &= m_{z_2,i} + \dot{Z}_i = m_{z_2,i} + \dot{Z}_z + \dot{Z}_{u,i} \end{aligned} \right\} (5)$$

حيث:

$$\left. \begin{aligned} m_{x_2,i} &= m_{x_2} + \Delta m_{x,i} \\ m_{z_2,i} &= m_{z_2} + \Delta m_{z,i} \end{aligned} \right\} (6)$$

m_{x_2}, m_{z_2} - هي أخطاء التناثر الجماعية النظامية.

$\Delta m_{x,i}, \Delta m_{z,i}$ - أخطاء التناثر الذاتية النظامية.

يوضح الشكل (1) مجموعتي الأخطاء من أجل عملية قصف مدفعي مستمر بـ n قذيفة. ويعبر في الشكل المذكور عن الأخطاء الجماعية النظامية بشعاع $\vec{m}_2 = (m_{x_2}, m_{z_2})$ ، وعن الأخطاء الجماعية العشوائية بالشعاع $\vec{R}_2 = (\dot{X}_z, \dot{Z}_z)$ ، وعن الأخطاء النظامية الذاتية بالشعاع $\vec{R}_{u,i} = (\dot{X}_{u,i}, \dot{Z}_{u,i})$ ، والأخطاء الجماعية والذاتية بالأشعة $\vec{R}_{u,i}, \vec{R}_2$ ، وثابت الارتباط:

$$\cdot \mu_{ij}^{(x)} = \frac{K_{ij}^{(x)}}{\sqrt{D_{xi} D_{xj}}} \quad (i, j = \overline{1, n})$$

عند افتراض أن عملية الرمي مستقرة تكون: $K_{ij}^{(x)} = D_{x_2} = \sigma_{x_2}^2$ و $D_{xi} = D_{xj} = D_x$ و $\mu^{(x)} = \frac{\sigma_{x_2}^2}{\sigma_x^2}$ ، وبصورة

مشابهة تكتب: $\mu^{(z)} = \frac{\sigma_{z_2}^2}{\sigma_z^2}$ ويتحقق مخطط مجموعتي الأخطاء بالشكل الصريح عند استخدام قذائف وصواريخ غير

موجهة بطريقة الرشقات، أما في بقية الحالات فيؤول التبعثر إلى هذا المخطط.

إن تناثر القذائف في مستوي اللوحة هو تناثر دائري عادة، عند تساوي تشتتات أخطاء التناثر في المحاور

$$\sigma_{x_2} = \sigma_{z_2} \text{ و } \sigma_{xu} = \sigma_{zu} : \sigma_z, \sigma_x$$

الرئيسية، عموماً، لا يعتبر التناثر على الأرض دائرياً، وخاصة عند استخدام القذائف ذات المسارات منخفضة الارتفاع، ففي هذه الحالة، تكون الأخطاء بالمسافة أكبر منها بالاتجاه $\sigma_{x_2} > \sigma_{z_2}$ ، $\sigma_{xu} > \sigma_{zu}$ بمرتين أو أكثر. وتحسب الخواص الاحتمالية للتناثر بالمعالجة الإحصائية لنتائج الاستخدام القتالي للقذائف في حقل الرمي [4].

عند تقييم الفعالية تستخدم القيم المعيارية لمواصفات الدقة الخاصة بالاستخدام القتالي للقذائف الخاصة بكل نوع من أنواع المدافع ودقة أجهزة التسديد، ويستخدم الانحراف المعياري σ كمواصفة دقة موحدة، وأما الخطأ الأعظمي فيقدر بالقيمة 3σ [5]، كما يمكن استخدام خواص أخرى كالانحراف الاحتمالي E و الانحراف الاحتمالي الدائري E_{k80} والانحراف القطري الوسطي.

تسمى القيمة الوسطية \bar{R} لانحرافات القذائف القطرية عن نقطة التصويب من أجل $m_x = m_z = 0$ ،

$\sigma_x = \sigma_z = \sigma$ بالانحراف القطري الوسطي، ويعطى التوقع الرياضي للانحراف القطري بالعلاقة [5]:

$$\sigma = 0,80 \bar{R} \quad \text{أو} \quad M[R] = \bar{R} = 1,25 \sigma \quad (7)$$

عند حساب \bar{R} وفقاً لنتائج التجارب المنفذة في حقل الرمي يتم تقييم الانحراف القطري الوسطي بالعلاقة التالية:

$$\bar{R}^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$$
 ، إذ تمثل R_i الانحراف القطري بواسطة التدمير i . وهنا، كلما ازداد عدد التجارب المنفذة، زادت دقة المساواة.

3- حساب الخواص الاحتمالية للأثر التدميري لأسلحة المدفعية:

إذا افترضنا أن ظاهرة "تراكم الضرر" على الهدف الأولي غير موجودة، فإن كل قذيفة تدمر الهدف بشكل مستقل عن بقية القذائف، ما يفسح المجال للتعبير عن قانون التدمير الإحداثي:

$$G(x, z) = G(x_1, z_1; x_2, z_2; \dots; x_n, z_n) \quad (8)$$

كما يلي:

$$G(x, z) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - G(x_i, z_i)] \quad (9)$$

أي أن مفهوم هذا القانون يؤول إلى احتمال تدمير الهدف بقذيفة واحدة على الأقل من بين القذائف الإجمالية (n) التي أخذت إحداثياتها القيم التالية: $x_1, z_1; x_2, z_2; \dots; x_n, z_n$. ويتوقف شكل هذا القانون ومدى بساطته على نوع القذائف المستخدمة (خارقة أو منشطية)، ويخضع المقدار العشوائي "عدد الإصابات اللازم لتدمير الهدف" لقانون التوزيع الهندسي [7]:

$$P_m = 1 - (1 - r)^{m-1} \quad ; \quad (m=1, 2, \dots) \quad (10)$$

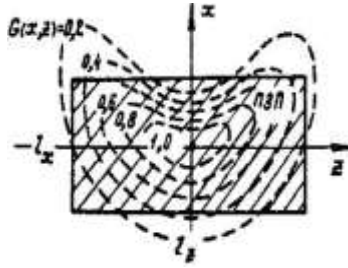
إذ إن $r = G(1)$ هي احتمال تدمير الهدف عند إصابته بقذيفة واحدة.

استناداً لما ورد أعلاه، يمكن تمثيل نموذج تدمير الهدف عند استخدام قذائف المدفعية والصواريخ غير الموجهة الخارقة، كما في الشكل (2). وبالتالي: تكفي معرفة أبعاد الهدف H_x, H_z ، والمقدار r لتنفيذ الحسابات. يملك قانون التدمير الإحداثي $G(x, z)$ بالنسبة للقذائف المنشطية شكلاً معقداً، بسبب وجود مجموعة كبيرة من العوامل التي تؤثر في شكله، خاصة شروط اصطدام القذيفة مع الهدف، ويبين الشكل (3) تمثيلاً تقريبياً لهذا القانون عند استخدام قذيفة منشطية ذات مسار منخفض.

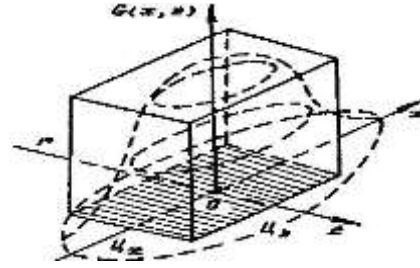
لتبسيط توصيف الأثر التدميري لهذه القذائف، تم استخدام مفهوم "منطقة التدمير المكافئة"، التي تحسب مساحتها S_n بالعلاقة التالية:

$$S_n = \iint_{-\infty} G(x, z) dx dz \quad (11)$$

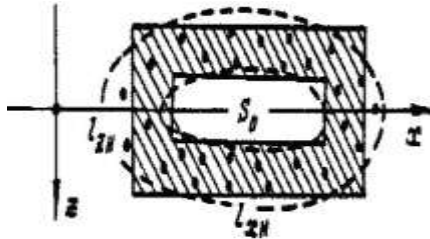
واعتبر الاحتمال الشرطي r لتدمير الهدف الأولي عند وقوع القذيفة في منطقة التدمير المكافئة مساوياً الواحد ($r=1$)، ومثلت هذه المنطقة بشكل مستطيل ذي أبعاد l_x, l_z ، وبالتالي يمكن التعبير عن نموذج تدمير الهدف بالشكل (4).



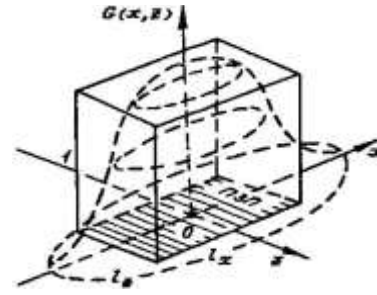
الشكل (3) قانون التدمير الإحداثي لقذيفة متشظية



الشكل (2) نموذج تدمير الهدف من أجل القذائف الخارقة



الشكل (5) تمثيل منطقة التغطية



الشكل (4) نموذج تدمير الهدف من أجل القذائف المتشظية

بنتيجة تناثر القذائف تتشكل منطقة تغطية جمعية، بفضل مناطق التدمير المكافئة. ويكون لمنطقة التغطية غالباً شكل قطع ناقص. مُثلت منطقة التغطية بشكل مستطيل أبعاده l_{xu} ، l_{zu} وأضلاعه موازية لمحاور التناثر الرئيسية الشكل (5)، ويعطى احتمال تدمير الهدف الأولي الذي يقع ضمن منطقة تغطية القذائف الصاروخية r_k

$$r_k = P_{\text{ناكر}} \cdot P_{\text{نور/ناكر}} \quad \text{بالعلاقة:}$$

إذ إن: $P_{\text{ناكر}}$ - هي احتمال تغطية الهدف الأولي بمنطقة التدمير المتشكلة عند تناثر القذائف النموذجي، $P_{\text{نور/ناكر}}$ - الاحتمال الشرطي لتدمير الهدف الأولي الذي تغطيه منطقة التدمير، بفرض أن الهدف يمكن أن يظهر باحتمال متساوٍ في أية نقطة داخل منطقة التغطية، وأما منطقة التغطية فتحتوي "نافذة" بمساحة S_0 . عندها يحسب احتمال تغطية الهدف $P_{\text{ناكر}}$ بالعلاقة:

$$P_{\text{ناكر}} = 1 - \frac{S_0}{l_{xu} l_{zu}} \quad (12)$$

ويحسب الاحتمال الشرطي $P_{\text{نور/ناكر}}$ بافتراض أن مجال نقاط سقوط القذائف بواسوني، لأن احتمال وقوع

إصابة واحدة على الأقل في الهدف الأولي هو:

$$P_{\text{نور/ناكر}} = P(m \geq 1) = 1 - P(m = 0) \quad (13)$$

$$(m = 0, 1, 2, \dots)$$

$$P(m = 0) = e^{-a} \quad (14)$$

و a^* هي التوقع الرياضي لعدد إصابات القذائف الخارقة، وأنسبة تغطية الهدف بمنطقة التدمير المكافئة الإجمالية للقذائف المتشظية $r = \frac{1}{\omega}$ ، $a^* = \frac{n \Pi_x \Pi_z r}{l_{xH} l_{zH} - S_0}$ ، من أجل القذائف الخارقة، و $r=1$ ، $a^* = \frac{n l_x l_z}{l_{xH} l_{zH} - S_0}$ ،

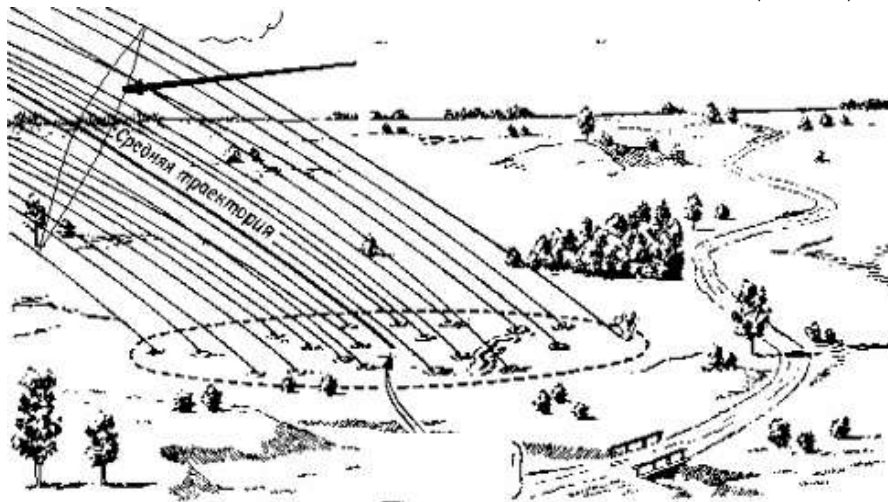
من أجل القذائف ذات التأثير المتشظي، وبالتالي فإن: $r_k = \left(1 - \frac{S_0}{l_{xH} l_{zH}}\right) \left(1 - e^{-a^*}\right)$

2- حساب الضرر الوسطي عند تنفيذ عدة ضربات:

يحسب احتمال تدمير الهدف الأحادي W_N بنتيجة عدد N من الضربات المستقلة على أنه احتمال تدميره بضربة واحدة على الأقل:

$$W_N = 1 - (1 - W_1)^N \quad (15)$$

إذ: W_1 - هي احتمال تدمير الهدف بضربة واحدة. أما بالنسبة لهدف جماعي مبعثر مكون من n_0 عنصر، فتعرض هذه العناصر لـ N ضربة، تتوزع بشكل اعتبر منتظماً، مع افتراض معرفة احتمال تدمير كل عنصر عند تنفيذ ضربة واحدة (الشكل 6).



الشكل (6) تعرض عناصر الهدف الجماعي لعدد مختلف من القذائف

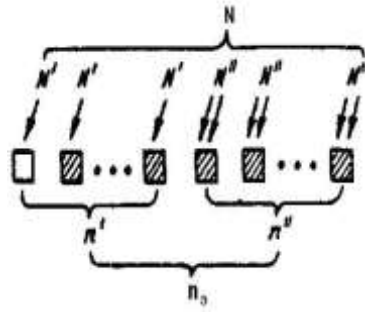
عندها تم حساب الضرر الوسطي M_N الذي يمثل التوقع الرياضي لعدد العناصر المدمرة من الهدف كما يلي:

إذا كانت N ليست من مضاعفات n_0 ، أي $\left\{ \frac{N}{n_0} \right\}$ ، فقد تم تقسيم n_0 إلى مجموعتين جزئيتين

تختلف إحداها عن الأخرى بعدد الضربات التي يتعرض لها كل عنصر، لأنه من غير الممكن توزيع الضربات بين عناصر الهدف بشكل منتظم.

يتعرض كل عنصر من عناصر المجموعة الأولى المكونة من n' عنصر إلى هجوم بعدد N' مرة، بينما يتعرض كل عنصر من عناصر المجموعة الثانية المكونة من n'' عنصر إلى هجوم بعدد N'' مرة

$$n' = n_0 - n'' \quad , \quad N'' = N' + 1 \quad \text{(كما يبين الشكل 7):}$$

الشكل (7) تقسيم مجموعة العناصر n_0 إلى مجموعتين جزئيتين

باستخدام $N_1 = \frac{N}{n_0} = [N_1] + \{N_1\}$ ، حيث: N_1 - العدد الوسطي للضربات المنفذة بكل عنصر من عناصر

الهدف، يمكن إثبات أن $n'' = n_0 \{N_1\}$ ، $N' = [N_1]$ ، وعندها تكون:

$$N'' = [N_1] + 1 \quad , \quad n' = n_0 (1 - \{N_1\})$$

من أجل هذا التوزيع للضربات يكون احتمال تدمير كل عنصر من عناصر المجموعتين الجزئيتين مساوياً للقيمتين: $P_1 = 1 - (1 - W_1)^{N'}$ ، $P_2 = 1 - (1 - W_1)^{N''}$ على الترتيب. إن عدد العناصر المدمرة في كل مجموعة جزئية هو مقدار عشوائي موزع وفق قانون التوزيع الثنائي، لذلك فإن قيمها الوسطية تساوي: $M' = n' \cdot P_1$ ، $M'' = n'' \cdot P_2$

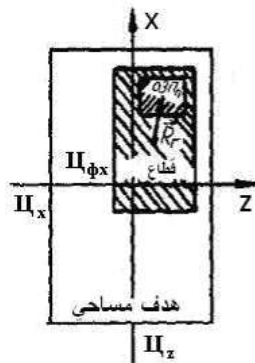
$$\text{على الترتيب، وبالتالي فإن: } M_N = \frac{1}{n_0} (M' + M'') = \frac{1}{n_0} (n' \cdot P_1 + n'' \cdot P_2)$$

بتعويض n' ، n'' ، P_1 ، P_2 ، N' ، N'' بقيمها ينتج: $M_N = 1 - (1 - W_1)^{[N_1]} (1 - W_1 \{N_1\})$ ، وبالتالي فالضرر

$$\text{الوسطي من أجل } N \text{ ضربة يتعلق ببارامترين هما: } W_1 ، N_1 = \frac{N}{n_0}$$

أما في حالة الهدف المساحي فتؤول مسألة تقدير الضرر الوسطي M_N إلى حساب النسبة الوسطية للمساحة المدمرة من الهدف عند توجيه N ضربة.

تقسم مساحة الهدف إلى n_ϕ قطاعاً (الشكل 8).

الشكل (8) تقسيم الهدف المساحي إلى n_ϕ قطاع

تم اختيار أبعاد القطاع الواحد $U_{\phi x}$ ، $U_{\phi z}$ بحيث لا تلحق الضرر التي يتعرض لها قطاع ما عملياً أي ضرر بالقطاع الآخر المجاور . وهذا ما يمكن تأمينه باختيار أبعاد القطاع كما يلي:

$$U_{\phi z} = \min \{ L_z + 2\sigma_{z2} ; U_z \} \quad U_{\phi x} = \min \{ L_x + 2\sigma_{x2} ; U_x \}$$

يتم اختيار عدد القطاعات الإجمالي من العلاقة:

$$n_{\phi} = n_x \cdot n_z = \frac{U_x}{U_{\phi x}} \cdot \frac{U_z}{U_{\phi z}} \quad (16)$$

يمثل المقدار W_1 النسبة الوسطية للسطح المدمر من القطاع. إن الضرر المطلق الملحق بالهدف المساحي عند التأثير عليه بضرر واحدة يساوي عملياً الضرر المطلق الملحق بقطاعه. ويكون سطح القطاع $S_{\phi} = U_{\phi x} \cdot U_{\phi z}$ أصغر بمقدار n_{ϕ} مرة من سطح الهدف $S_H = U_x \cdot U_z$. لذلك، فإن النسبة الوسطية للمساحة المدمرة من القطاع أكبر بمقدار n_{ϕ} مرة من النسبة الوسطية للسطح المدمر من الهدف المساحي، وبالتالي:

$$W_1 = n_{\phi} \cdot M_1 \quad (17)$$

وتمثل W_1 احتمال تدمير العنصر الاختياري في القطاع. من أجل تقدير الضرر الوسطي الملحق بالهدف عند التأثير فيه بعدد N من الضربات يمكن استخدام منحنيات بيانية معدة مسبقاً [7].

لحل المسألة المطروحة يستخدم البارامتر المعمم V_1 ، الذي يعبر عن العدد الوسطي الفعال لإصابات وسائط التدمير للهدف العنصري المختار عندما $N=1$:

$$V_1 = \frac{(1+0.9n)S_H}{A_x \cdot A_z} \quad (18)$$

إذ: A_x ، A_z - أبعاد منطقة التناثر النسبي لمركز الهدف العنصري المختار، ومركز تبعثر القذائف:

$$A_z = \sqrt{10\sigma_{z2}^2 + U_z^2} \quad ; \quad A_x = \sqrt{10\sigma_{x2}^2 + U_x^2} \quad (19)$$

S_n - مساحة منطقة التدمير المكافئة للهدف الأولي بقذيفة واحدة:

$$S_n = \min \{ l_x , A_x \} \cdot \min \{ l_z , A_z \} r \quad (20)$$

إذ: l_x ، l_z ، r - ميزات الأثر التدميري للقذائف، n - العدد الكلي للقذائف المستخدمة في ضربة واحدة (عند استخدام القذائف الصاروخية $n = n_x n_{\phi x}$ ، إذ: n_x عدد سبطانات الراجمة، $n_{\phi x}$ - عدد القذائف الصاروخية المرمية من كل سبطانة).

النتائج و المناقشة:

كمعيار فعالية "يتحسس" لمواصفات المدفعية يستخدم الضرر الوسطي M_1 الملحق بالهدف بضرر واحدة، ويعبر عن ذلك بالعلاقة: $M_1 = P_x P_z G$

يمكن تقييم تأثير مواصفات المدفعية من خلال مكونات العلاقة: $P_H = P_x P_z$ ، وهو احتمال تغطية مركز الهدف العنصري بمنطقة التدمير المكافئة، والاحتمال الشرطي G لتدميره في حال تغطيته.

من أجل حل مسألة تقييم فعالية الرمي تم استخدام طريقة التجارب الإحصائية (مونتي كارلو) التي تعتمد على استخدام نظرية الأعداد الكبيرة [9].

يكمن جوهر هذه الطريقة في استخدام مولد أعداد عشوائية لصياغة خوارزميات نمذجة عمل النظام المدروس، وهي تقوم بتقليد سلوك عناصر النظام مع أخذ تأثيرات الدخل العشوائية وتأثيرات الوسط الخارجي بعين الاعتبار، ويتم تحقيقها باستخدام التأمين البرمجي المناسب.

بنتيجة النمذجة الإحصائية لعملية الرمي، تم الحصول على سلسلة قيم خاصة بالمقادير المجهولة، سمحت معالجتها الإحصائية بالحصول على معلومات عن نسبة تدمير الهدف الجماعي. وبحسب هذه الطريقة إذا كان عدد التجارب المنفذة I كبيراً بشكل كاف، فإن نتائج نمذجة النظام تكتسب استقراراً إحصائياً، ويمكن اعتمادها كتقييمات للميزات المجهولة بدقة كافية [10].

انطلاقاً من هذه الافتراضات، تمت نمذجة شروط الرمي العشوائية حاسوبياً، وتحديد القيمة المتوسطة لعدد الأهداف المدمرة، إذ حددت إصابة الأهداف بأخذ نسبة الأهداف الفردية المدمرة ضمن مكونات الهدف الجماعي إلى العدد الكلي للأهداف، أو نسبة مساحة المنطقة المدمرة إلى مساحة الهدف الجماعي.

وفقاً لطريقة "مونتي كارلو" وعند تكرار المحاولات يؤول احتمال الإصابة إلى التوقع الرياضي لعدد إصابات الأهداف المفردة، أو إلى التوقع الرياضي لمساحة إصابة الهدف، أي يقبل المتوسط الحسابي على أنه التوقع الرياضي. من المعلوم أن نتيجة الرمي تعتبر عشوائية، لكن السعي لاحتماب مجموعة كبيرة من العوامل سيعقد النموذج، لذا فقد أخذت مجموعة من الافتراضات التي لا تؤثر بشكل جوهري في نتائج النمذجة، وتتلخص فيما يلي:

- اعتبرت مواصفات الهدف المفرد وأبعاد منطقة الهدف الجماعي محددة بدقة كافية، أما عدد هذه الأهداف وتوضعها فغير معروف.

- تم تقريب قانون التدمير إلى تابع أكثر بساطة هو التابع المتدرج:

$$G(x, Z) = \begin{cases} 1, (x_\mu, Z_\mu) \in S_{\text{IP}} \\ 0, (x_\mu, Z_\mu) \notin S_{\text{IP}} \end{cases} \quad (21)$$

(x_μ, Z_μ) هي إحداثيات الهدف المفرد، S_{IP} - المنطقة التدميرية المكافئة للقذيفة.

- تم استخدام التوقع الرياضي للجزء المدمر من الهدف الجماعي، نظراً لأن التوزيع الحقيقي وعدد الأهداف المفردة ضمن مساحة الهدف الجماعي غير معروفة، مع افتراض التوزيع المنتظم للأهداف المفردة.

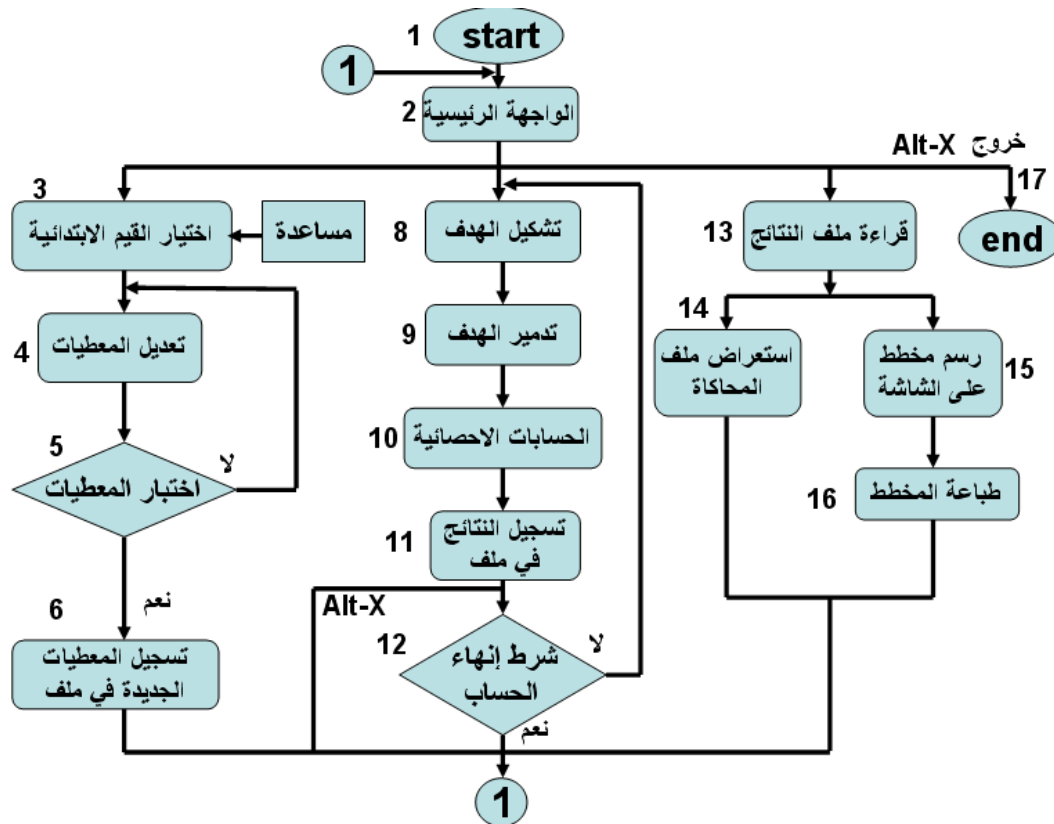
- اعتبر قوام القوى الحية المنتشرة في العراء عشوائياً، وبيدأ بالتناقص مع استمرار الرمي، لأن الطواقم القتالية تسعى للاختباء في الملاجئ والخنادق الجماعية والحفر الفردية، أي تم احتساب تغير درجة التحصن التي تؤدي إلى نقصان المساحة التدميرية المكافئة للقذيفة $S_{\text{IP}0}(t)$ وفقاً للقانون الآسي كما تبين المعادلة التالية [7].

$$S_{\text{IP}0}(t) = \pi \left[l_{\text{OH}}(t_0) \cdot l_{\text{uH}} \cdot e^{(0.9t-t_0)} + l_{\text{uH}} \right] \left[l_{\text{od}}(t_0) \cdot l_{\text{ud}} \cdot e^{(0.9t-t_0)} + l_{\text{ud}} \right]$$

إذ إن $S_{\text{IP}0}$ - هي المنطقة التدميرية المكافئة للقذيفة عند الرمي على القوى الحية المنتشرة في العراء، ويعبر عنها بشكل قطع ناقص بنصفي قطر $(l_{\text{OH}}(t), l_{\text{od}}(t))$ ، أما t - فهي الفاصل الزمني بين الانفجار الأول والانفجار الحالي، وقد تم اعتبار أن جميع عناصر القوى الحية ستصل إلى الملاجئ أو خنادق الدفاع السلبي بعد 10 ثوان من بدء القصف، وفقاً للمعدلات التكتيكية التي يتم تدريب الجنود عليها، أي أن

$$S_{\text{IP}0}(t = 10s) \approx S_{\text{IPY}}$$

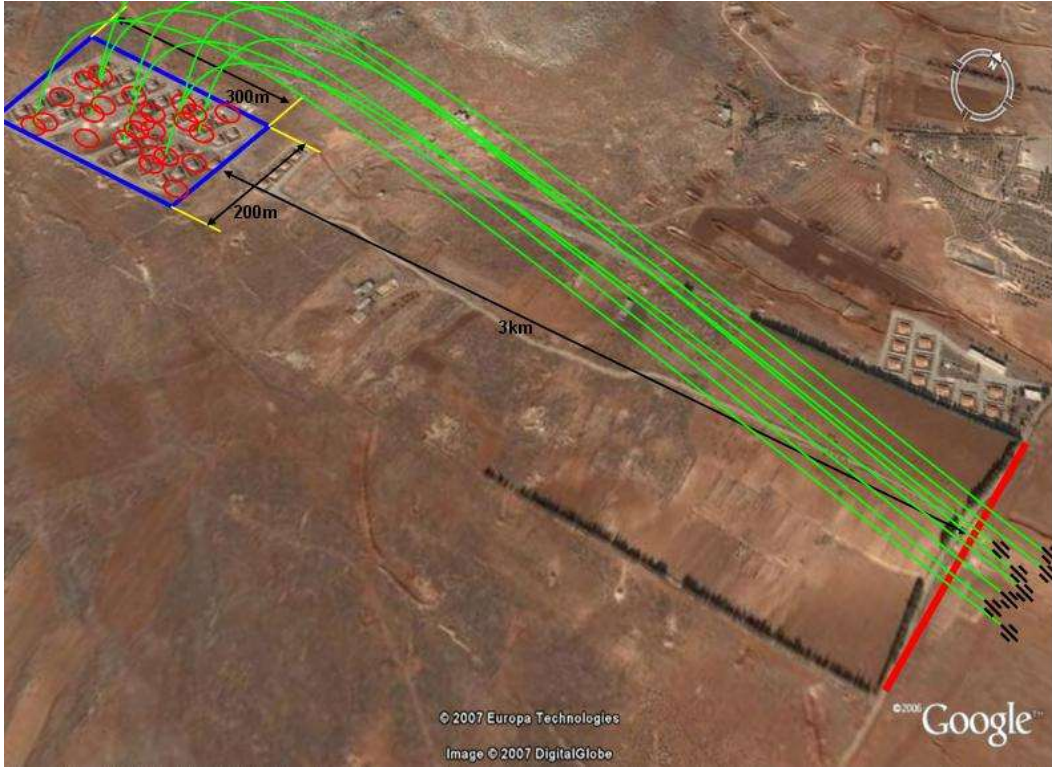
و الشكل (9) يوضح خوارزمية عمل البرنامج:



الشكل (9) المخطط النهجي لسير عمليات الحساب في النموذج المقترح

سمح هذا النموذج بتقييم فعالية رمي المدفعية الأرضية على أهداف جماعية مختلفة (فصيلة، سرية، كتيبة) في مختلف الحالات والظروف، ما يساعد القادة التعبويين على اتخاذ القرار المناسب قبل بدء العمليات القتالية، أي تحديد قوام القوات اللازمة لتنفيذ المهام القتالية المسندة وعدد الأسلحة ونسبة التكديس اللازمة، وهذا يسمح بالتنظيم الأمثل لاستخدام أسلحة المدفعية واختيار القيم المثلى لتبعثر القذائف واختيار مدى الرمي الأمثل، بالإضافة إلى الاختيار الصحيح لنقاط التسديد الأولية التي سترمي عليها مدافع التحقق..الخ.

بنتيجة استخدام النموذج المقترح للقيام برمي التركيز المتتابع على هدف جماعي مساحي ممثل بمرآب دبابات مكشوفة تتوضع على نسقين له الأبعاد 200×300m، بكتيبة من الهاونات التي ترمي قذائف صاروخية على مدى 3000m مع اعتماد ثمانية نقاط تسديد بالجهة وثلاث نقاط بالعمق، تم الحصول على التناثر المبين في (الشكل 10).



الشكل (10) تناثر القذائف عند الرمي على مرآب دبابات

وهذا يوافق أخطاء الرمي المبينة في الشكل (11).

أخطاء الرمي الواقعية									
Exe	0	Exd	48	Exb	21	Exop	12	vd	24
gxe	0.00	gxd	0.79	gxb	0.16	gxop	0.05	vb	3
Eze	0	Ezd	26	Ezb	12	Ezop	7		
gze	0.00	gzd	0.75	gzb	0.20	gzop	0.05		خروج

الشكل (11) أخطاء الرمي المحسوبة وفق المحاور المختلفة

إذ تمثل :

- vd: نصف القطر الكبير للقطع الناقص الذي يمثل المنطقة التدميرية المكافئة للقذيفة.
- Vb: نصف القطر الصغير للقطع الناقص الذي يمثل المنطقة التدميرية المكافئة للقذيفة.
- Exop: خطأ الرمي الناتج عن مدفع واحد بالمدى.
- Exb: خطأ الرمي الناتج عن سرية (بطارية) مدافع بالمدى.
- Exd: خطأ الرمي الناتج عن كتيبة مدافع بالمدى.
- Exz: خطأ الرمي الناتج عن فوج بالمدى.
- gxop: نسبة تدمير المدفع للهدف الجماعي بالمدى.

- $gx\bar{0}$: نسبة تدمير سرية مدافع للهدف الجماعي بالمدى.
 gxd : نسبة تدمير كتبية مدافع للهدف الجماعي بالمدى.
 gxz : نسبة تدمير فوج للهدف الجماعي بالمدى.
 $Ezop$: خطأ الرمي الناتج عن مدفع واحد بالاتجاه.
 $Ez\bar{0}$: خطأ الرمي الناتج عن سرية (بطارية) مدافع بالاتجاه.
 Ezd : خطأ الرمي الناتج عن كتبية مدافع بالاتجاه.
 Ezz : خطأ الرمي الناتج عن فوج بالاتجاه.
 $gzop$: نسبة تدمير المدفع للهدف الجماعي بالاتجاه.
 $gz\bar{0}$: نسبة تدمير سرية مدافع للهدف الجماعي بالاتجاه.
 gzd : نسبة تدمير كتبية مدافع للهدف الجماعي بالاتجاه.
 gzz : نسبة تدمير فوج للهدف الجماعي بالاتجاه.
 وظهرت نتائج المحاكاة كما في الشكل (12).



الشكل (12) نتائج محاكاة عملية الرمي من أجل قيمتين مختلفتين لعدد التجارب

حيث :

M_x : التوقع الرياضي لنتيجة الرمي.

σ_x : الانحراف المعياري لنتيجة الرمي.

X_{min} : القيمة الدنيا لنتيجة الرمي.

X_{max} : القيمة العظمى لنتيجة الرمي.

مع العلم بأن احتمال التدمير الموافق للقيم السابقة والمقدر باستخدام الطرق اليدوية هو 83%، [8].

الاستنتاجات و التوصيات:

- من واقع النتائج السابقة يمكن القول بأن زيادة عدد التجارب عن قيمة معينة ($n=20$ في هذه الحالة) لا يبدي فائدة تذكر في تحسين دقة الحساب، وهذا ينسجم مع نتائج الدراسات النظرية المعروفة في هذا المجال.
- لقد تمت معالجة بعض المسائل الواقعية، ومقارنة الحل مع نتائج الرمايات الحقيقية، ممثلة بالمعدلات التكنيكية المعتمدة في علم رمي وإدارة نيران المدفعية، كما يبين المثال السابق، ويعبر تقارب القيم المحسوبة باستخدام النموذج مع النتائج الجدولية عن مصداقية النموذج المقترح وصحة الافتراضات والتبسيطات المعتمدة فيه.
- يمكن استخدام هذا النموذج من قبل القائد التعبوي لحساب نسبة القوى والوسائط قبل بدء العمليات القتالية، بحيث يتم إشراك العدد الأمثل منها لتنفيذ المهام المسندة، وهذه الخطوة تمثل أهم بند في تنظيم المعركة.
- بما أن التناثر الجماعي يتضمن الانحرافات النظامية أيضاً، فيجب العمل على تقليل هذه الأخطاء الناتجة عن أخطاء ضبط أجهزة التسديد، وهنا تظهر فائدة إضافية للنموذج المقترح، إذ يمكن تقدير الانحرافات المعيارية للأخطاء الجماعية الناتجة عن عمل السدنة، وتخزينها لسدنة كل وحدة على حدة، عند توفر إمكانية إجراء رمايات حقيقية بعد التجربة الحاسوبية، وهذا يسمح بزيادة دقة عمليات الحساب وتقدير الموقف.

المراجع:

1. ВЕНЦЕЛЬ С., - *Исследования операций* , Москва,286. 2005
2. ПОЛЛЯК Г., - *Вероятностное моделирование на ЭВМ*, Москва,192. 2007
3. ВАСИЛЬЕВ Н., - *Вероятностные методы оценки эффективности авиационного вооружения на этапе поражения целей*, ВВИА- Москва,214. 1999
4. ПОПОВ С., - *Эффективность боевого применения комплексов авиационного вооружения. Раздел II* , ВВИА- Москва,362. 2005
5. ПОПОВ С., - *Эффективность боевого применения комплексов авиационного вооружения. Раздел III* , ВВИА- Москва,281. 2006
6. ШЕННОН Р., - *Имитационное моделирование систем*, Наука-Москва,89. 1997
7. WILLIAM С., - *Organization of the cost artillery corps*, Harrisburg, PA,416. 2004
8. [CUNNINGHAM, JAMES E.](#), - *NetFires precision effects for the objective force. FA Journal.* 3, 62-74. 2002
9. ROBERT H., - *Transforming the Force--From Korea to Today (Interview)*,New york, 430. 2004
10. RALSTON, DAVID С., - *State of the Field Artillery. FA Journal* , 11, 90-114. 2006
11. [Preparing an FA platoon for operations in Iraq. \(http://www.fieldartillery.com/2006\).](http://www.fieldartillery.com/2006)
12. [The FA Master Gunner and reset of the redeployed FA battalion. \(http://www.mrls.com/2006\).](http://www.mrls.com/2006)

