مقارنة بين بارامترات منابع أشعة غاما ومنابع ليزرية لحساب جرعة إشعاعية موصوفة لمعالجة سرطان عنق الرحم بمعدل جرعة منخفض باستخدام كود مونت كارلو MCNP

أ. د. ماجدة نحيلي*

الملخص

تم في هذا البحث مقارنة بين بارامترات منابع أشعة غاما ومنبع ليزري نبضي في المجال المرئي ومجال ماتحت الأحمر من الطيف (600-1100)nm لحساب جرعة إشعاعية موصوفة لمريضة في حالة معالجة سرطان عنق الرحم بمعدل جرعة منخفض باستخدام كود مونت كارلو MCNP.

دلت نتائج الحساب أن:

- منبع الليزر قادر على إعطاء نفس قيمة الجرعة الإشعاعية الممتصة الموصوفة للمريضة لمعالجة سرطان عنق الرحم بالتماس والتي بلغت (14-16)Gy،
- زمن معالجة المريضة بواسطة جرعة ممتصة ليزرية بلغ (6.7) دقيقة وهذا الزمن أقل بكثير من مثيله في حالة استخدام منابع مشعة لغاما والذي بلغ (18) ساعة،
- الجرعة الممتصة الليزرية في الأعضاء المحيطة بالرحم أقل بكثير من مثيلاتها في حالة استخدام منابع مشعة لغاما، مما يجنب الأنسجة السليمة لمخاطر التعرض للإشعاع المؤين.

كلمات مفتاحية: سرطان عنق الرحم، أشعة غاما، الليزر، فانتوم MIRD5، كود MCNP.

* أستاذ– قسم الفيزياء– كلية العلوم– جامعة دمشق– دمشق– سورية. عميد المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته.

Comparison of parameters of gamma ray sources and laser sources for calculating a prescribed radiation dose for the treatment of cervical cancer at a low dose rate using the Monte Carlo code MCNP

Dr. Mageda Nahili*

Abstract

In this paper, a comparison was made between the parameters of the gamma ray sources and a pulsed laser source in the visible and infrared spectrum (600-1100) nm to calculate a prescribed radiation dose for a patient in the case of cervical cancer treatment at a low dose rate using the Monte Carlo code MCNP.

The results of the calculation indicated that:

-The laser source is able to give the same value as the absorbed radiation dose prescribed to the patient for the treatment of cervical cancer by contact, which amounted to (14-16) Gy،

-The treatment time of the patient using a laser absorbed dose was (6.7) minutes, and this time is much less than that in the case of using radioactive sources of gamma, which amounted to (18) hours،

- The laser absorbed dose in the organs surrounding the uterus is much lower than in the case of using gamma radioactive sources, which spares healthy tissues the risks of exposure to ionizing radiation.

Keywords: Cervical cancer, gamma rays, laser, phantom MIRD5, MCNP code.

* Professor - Department of Physics - Faculty of Science - University of Damascus - Damascus - Syria.
Dean of the Higher Institute for Laser Research and its Applications.

1) مقدمة:

يعد سرطان عنق الرحم من أكثر أنواع السرطان التي تصيب النساء في العالم. وانطلاقاً من أهمية الكشف المبكر عن السرطان في إنقاص نسبة الوفيات، يجري البحث عن طرائق جديدة لتشخيص سرطان عنق الرحم تسمح بتطبيق العلاج اللازم (جراحي، كيميائي، إشعاعي) في المراحل المبكرة وزيادة نسبة الشفاء بشكل ملحوظ. في الوقت الحاضر، أصبح استخدام المحاكاة الحاسوبية (الكودات والبرمجيات المختلفة) عنصراً مهماً من عناصر الدراسات العلمية التطبيقية، وخاصة الدراسات الإشعاعية والنووية.

المعالجة الإشعاعية بطريقة العلاج عن قرب [1]

المعالجة الإشعاعية عن قرب (أو بالتماس أو العلاج الموضعي) هي نوع من أنواع العلاج الإشعاعي بالطب النووي للأورام السرطانية بحيث يكون المنبع المشع على مسافة قصيرة من الورم أو يزرع في بعض الأحيان في داخل الورم، ويكون المنبع المشع مغلق وصغير الحجم وعلى شكل بذور أو كبسولات تزرع في منطقة الورم، بحيث يتعرض الورم للأشعة المؤينة التي تؤدي لقتل الخلايا السرطانية طيلة وجود المنبع، ويمكن فيما بعد إزالة المنبع بعد تحقق أهداف العلاج.

معظم المنابع المشعة المستخدمة في المعالجة بهذه التقنية تصدر الفوتونات غاما وفي بعض الحالات تصدر جسيمات بيتا أو نترونات أو جسيمات ألفا.

تصنف المعالجة الإشعاعية عن قرب من حيث مدة الزرع إلى نوعين [1]

- لفترة قصيرة من الزمن وتدعى هذه التقنية زرع مؤقت، وتتم إزالة المنبع بعد زمن معين، ويُستخدم في هذه التقنية منابع مشعة ذات عمر نصف مشع طويل نسبياً حيث يمكن استخدامه أكثر من مرة.
- بشكل دائم بحيث يبقى المنبع المشع في الورم حتى ينتهي عمره الإشعاعي، ولهذا يُستخدم منبع مشع عمره النصفي قصير.

بينما تصنف المعالجة عن قرب من حيث منطقة الزرع [1]

- الزرع عبر الأجواف على مقربة من الورم مثل جوف المري، الرحم، القصبة الهوائية بواسطة مطبقات خاصة،
- الزرع ضمن النسيج الورمي بواسطة العمل الجراحي،
- المعالجة السطحية حيث يوضع المنبع على سطح الجلد.

العلاج بالليزر [2]

يقسم العلاج بالليزر إلى فئتين: العلاج بالليزر منخفض الشدة والعلاج الضوئي الديناميكي (PDT) Photodynamic therapy باستخدام الليزر متوسط الاستطاعة.

العلاج بالليزر منخفض الاستطاعة: في معظم الحالات، يتم إجراء العلاج بالليزر منخفض الشدة باستخدام أنواع مختلفة من ليزر الهليوم–نيون. في الوقت الحاضر، تُستخدم خمس طرائق رئيسية للإجراءات العلاجية في الطب العملي:

1) التعرض المباشر لإشعاع الليزر على الجرح المفتوح والأسطح الملتهبة،
2) تشعيع الليزر للبؤر المرضية عبر الجلد،
3) الوخز بضوء الليزر والتدليك،
4) العلاج باستعمال الألياف الليزرية، كالمناظير الداخلية،
5) تشعيع السوائل بما في ذلك الدم.

2. الهدف من البحث:

- التحقق من استلام الجرعة الإشعاعية الموصوفة لحالة مريضة مصابة بسرطان عنق الرحم والتي بلغت $(14-16)Gy$، من خلال بناء فانتوم فوكسل للمريضة وإدخاله في كود مونت كارلو MCNP4C2 وحساب الجرعة الإشعاعية الممتصة في منطقة الرحم (باستخدام منابع مشعة

لغاما) وفي بعض الأعضاء المهمة المحيطة به، وتم إجراء هذا الجزء في بحث سابق [1].

- تطبيق كود مونت كارلو MCNP على ليزر نبضي متغير الطول الموجي ضمن النافذة العلاجية (600-1100)nm لحساب الجرعة الليزرية الممتصة في منطقة الرحم وفي بعض الأعضاء المهمة المحيطة بها باستخدام الفانتوم المرجعي MIRD5.
- مقارنة بين قيم النتائج المحصول عليها في البندين السابقين.

الجديد في هذا البحث:

تطبيق كود مونت كارلو MCNP للمرة الأولى في سوريا على ليزر نبضي لحساب الجرعة الليزرية الممتصة في منطقة الرحم وفي بعض الأعضاء المهمة المحيطة بها باستخدام الفانتوم المرجعي MIRD5، والتحقق من أن المنابع الليزرية قادرة على إعطاء نفس جرعة الإشعاع المؤين الموصوفة للمريضة.

3. مواد البحث وطرائقه:

3.1. كود MCNP [3]

كود مونت كارلو (MCNP) Monte Carlo Neutrons Particle هو مجموعة من البرامج المخصصة لنمذجة انتقال الإشعاع المؤين (النيوترونات، والفوتونات، والإلكترونات، إلخ) في الأوساط المادية باستخدام طرائق مونت كارلو. تم تطوير هذا الكود في مختبر لوس آلاموس الوطني في الولايات المتحدة الأمريكية، يحاكي هذا الكود تفاعل الجسيمات (النيوترونات والفوتونات والإلكترونات إلخ) مع الأوساط المادية من خلال النماذج الفيزيائيّة لمختلف أنواع التفاعلات النوويّة مثل تفاعلات التبعثر والامتصاص المعرّفة ضمن الكود والمرتبطة مباشرة بأحدث بيانات المقاطع العرضيّة (المكتبات ENDF/v- ENDF/vi)، كما ويتميّز أيضاً بقدرته على تعريف أعقد أنواع البنى الهندسيّة. إذ يمكن نمذجة مايصل إلى 26 سطح من الدرجة الأولى والثانيّة والرابعة إضافة لإمكانيّة تعريف سطوح عشوائيّة (باستعمال نقاط). يتمّ تتبع الأخطاء المرتكبة في التوصيف الهندسي من خلال عرضها والإشارة إلى مواضع الخطأ، ما يسهّل المهمّة أمام المستخدم. ويستطيع الكود إجراء حسابات دقيقة عشوائيّاً لعدد من البارامترات الفيزيائيّة، وذلك باستعمال العدادات (Tallies) المتاحة في الكود، ولعدد كبير من التّطبيقات تخص مثلاً مسائل الفيزياء الطبيّة بأنواعها ومسائل التّدريع وحسابات الحرجيّة والتّطبيقات الإشعاعيّة والنّوويّة، والتطبيقات في الطب النووي وفي المسرعات وحسابات الجرعة الإشعاعية على اختلافها. يتوفر في مكتبات الكود MCNP عدد من المقاطع العرضية للتفاعلات النووية بما فيها محاكاة التفاعلات النووية الضوئية مع إنتاج النيوترونات باستخدام مكتبات المقاطع العرضية للتفاعل النووي الضوئي، وكذلك يتوفر في الكود معلومات كافية لجميع العناصر بالإعداد الذرية من Z=1 إلى Z=98.

يحاكي الكود MCNP انتقال النترونات في مجال الطاقة MeV (10^{-11}-20) والفوتونات في مجال الطاقة MeV (10^{-3}-100).

3.2. الفانتوم MIRD5 [3-7]

الفانتوم MIRD5 هو فانتوم رياضي لخنثى يتضمن أعضاء خاصة بالإناث (الثدي والمبيض إلخ) وقد تم تطويره لأول مرة لحساب جرعات التعرض الداخلي. يحاكي MIRD5 جسم الإنسان باستخدام سلسلة من الأسطح لوصف جميع أعضائه. حصل هذا الفانتوم على هذا الاسم من لجنة الإشعاع الداخلي الطبية التي قدمته في كتيبها رقم 5. تم تطوير هذا الفانتوم لاستخدامه في حسابات مونت كارلو باستخدام عدة أكواد مختلفة مثل EGSnrc و MCNP.

تم اختيار أبعاد الفانتوم بعد النظر في توزيع الأبعاد والأوزان لبعض المجموعات السكانية الغربية والرجل المرجعي لبرنامج ICRP (الطول 174cm والوزن

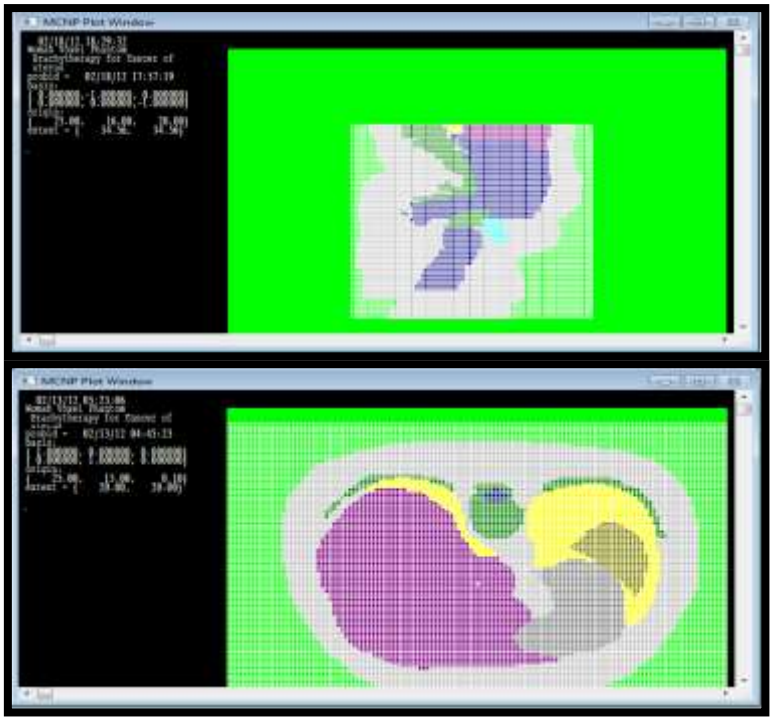
70kg). يحتوي الفانتوم على 61 نوعاً مختلفًا من الأنسجة نوعان من أنسجة الرئة ($0.296gr/cm^3$)، 38 نوعاً من الأنسجة الرخوة ($0.987gr/cm^3$)، و 21 نوعاً من الأنسجة الهيكلية ($1.486gr/cm^3$)، تعتبر جميع أنواع الأنسجة والأعضاء باستثناء الهيكل العظمي والرئتين من الأنسجة الرخوة من نفس التركيب.

استعمل الفانتوم MIRD5 في العديد من الأعمال الخاصة بحسابات الجرعات الإشعاعية الناجمة عن التعرض الإشعاعي الخارجي، مثل الجرعة المكافئة للأعضاء والأنسجة في تصوير الرحم والبوق ومقارنتها مع مثيلاتها المحسوبة باستخدام فانتوم الفوكسل (لأنثى بالغة).

3.3. حساب الجرعة الممتصة في منطقة الرحم وفي بعض الأعضاء المحيطة

3.3.1. حساب الجرعة الممتصة في منطقة الرحم وفي بعض الأعضاء المحيطة باستخدام منابع السيزيوم ^{137}Cs المشع لغاما [1]

تم اعتماد حالة مريضة مصابة بسرطان عنق الرحم، التي خضعت للمعالجة في مشفى البيروني بدمشق في عام 2011 [1]، حيث تم متابعة المريضة في مرحلة العلاج الإشعاعي، وبناء على صور الطبقي المحوري المحوسب المأخوذة لمنطقة الحوض للمريضة (computerized tomography images) تم إنشاء فانتوم فوكسل خصيصاً لها (الشكل 1) وتم استخدامه لحساب الجرعة الإشعاعية الممتصة في منطقة الرحم (باستخدام 5 منابع من السيزيوم ^{137}Cs المشع لغاما بلغ نشاطها الكلي $A = 6.22.10^9 Bq$) وفي بعض الأعضاء المهمة المحيطة بها بواسطة كود مونت كارلو MCNP4C2.



شكل (1) صورة مقطعية طولية وأخرى عرضية تم بناءهما للمريضة كما يظهرهما رسام كود MCNP4C2.

..

3.3.2 حساب الجرعة الممتصة في منطقة الرحم وفي بعض الأعضاء المحيطة باستخدام منبع ليزري متغير الطول الموجي والفانتوم $MIRD5$

من المعلوم؛ أن النفاذية الأعظمية للأنسجة البشرية تقع عند الأحمر البعيد ومجال ما تحت الأحمر القريب من الطيف $(750-1500)nm$، لذلك تم اعتماد حزم ليزرية نبضية متغيرة الطول الموجي في المجال $(600-1100)nm$، حيث تم اعتماد مدة النبضة $(0.7Ps)$ وطاقتها $(0.7\mu J)$ ومعدل تكرار النبضات $(1kHz)$ وشدة حزمة الليزر $(10^3 \mathrm{W}/cm^2)$ ترد إلى منطقة الرحم (الخلية رقم (64) على الشكل (2)).

لحساب الجرعات الداخلية الممتصة من إشعاع الليزر في منطقة الرحم والأعضاء المحيطة بها، فقد تم اعتماد الفانتوم $MIRD5$ ونسخة كود مونت كارلو $MCNP5$، حيث تم استعمال بطاقة العداد $(F6)$ المتاحة في كودات $MCNP$ لحساب الطاقة المترسبة في عضو أو نسيج معين. وبعد الانتهاء من المحاكاة، أعطى الكود $MCNP5$ قيمة الطاقة الممتصة في كل عضو مقدرة بوحدة (MeV/gr)، بالإضافة إلى الخطأ النسبي في حساب الطاقة الممتصة. وفقاً لدليل المستخدم للكود MCNP [3] فإن هذا الخطأ يجب ألا يتجاوز 10% وهذا محقق بالنسبة لكل الأعضاء.

- استخدمت بطاقة العداد $(F6)$ التي تعطي الطاقة المودعة في عضو أو نسيج لفوتون واحد من المنبع الليزري مقدرة بواحدة $\mathrm{DE}\left(\frac{\mathrm{MeV}}{\mathrm{source\ particle}}\right)$، [4]
- ثم استخدمت العلاقة التالية لتقدير قيمة الجرعة الممتصة في العضو مقدرة بواحدة الغراي:

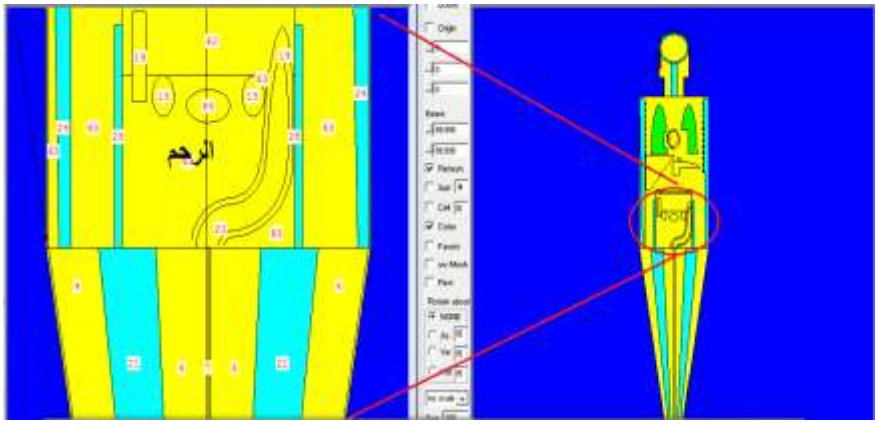
$$D\left(\frac{Gy}{source\ particle}\right) = DE\left(\frac{MeV}{particle}\right) \times 1.6 \times 10^{-13}\left(\frac{J}{MeV}\right) \times \left(\frac{10^3}{\mathrm{m(gr)}}\right) \ldots (1)$$

حيث:

$\mathrm{DE}\left(\frac{\mathrm{MeV}}{\mathrm{source\ particle}}\right)$: الطاقة المودعة لفوتون واحد من منبع الليزر في العضو المدروس،

$1.6 \times 10^{-13} 1/MeV$: معامل تحويل الطاقة من MeV إلى $Joule$،

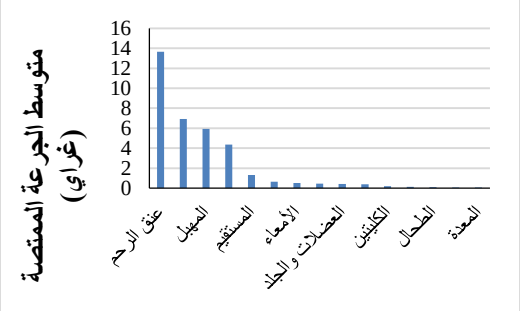
$\mathrm{m(gr)}$: كتلة العضو المدروس.



شكل(2): فانتوم $MIRD5$ يوضح البنية الداخلية للجسم مع منطقة الرحم كما يظهرها رسام كود $MCNP5$

4. النتائج والمناقشة:

يوضح الشكل (3) متوسط قيم الجرعة الإشعاعية الممتصة من منابع السيزيوم ^{137}Cs المشع لغاما في منطقة الحوض للمريضة محسوبة بواسطة كود $MCNP4C2$.



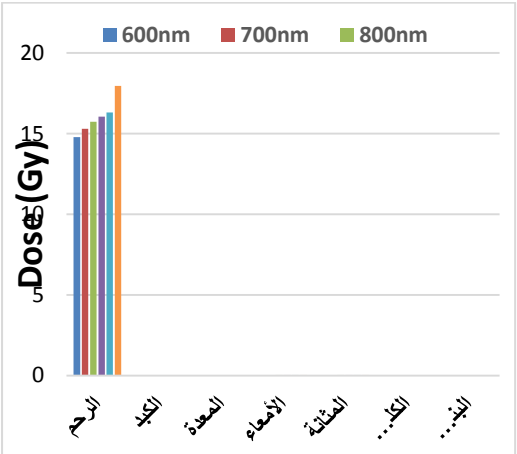
الشكل (3) قيم متوسط الجرعة الممتصة في منطقة الحوض للمريضة محسوبة بواسطة كود MCNP4C2

يلاحظ من الشكل (3) أن الجرعة الإشعاعية الممتصة في عنق الرحم بلغت $13.66(Gy)$ وهي قريبة من قيمة الجرعة الموصوفة بواسطة الطبيب الإشعاعي لعنق الرحم $(14-16)Gy$ [1]. كما ويوضح هذا الشكل أن الأعضاء المحيطة بعنق الرقم تتلقى جرعات إشعاعية متغيرة وتبلغ قيمة صغرى $0.10(Gy)$ في حالة البنكرياس وقيمة أعظمية $5.91(Gy)$ في حالة الرحم، وأن جميع الجرعات الممتصة في جميع الأعضاء المعتبرة تقع ضمن جرعات التحمل الإشعاعية لهذه الأعضاء والتي تتغير في المجال من $20(Gy)$ في حالة الكليتين إلى $85(Gy)$ في حالة عنق الرحم [1].

يوضح الجدول (1) والشكل (4) تابعية قيمة الجرعة الممتصة الليزرية في منطقة الرحم والأعضاء المحيطة بها للطول الموجي لمنبع الليزر $(600-1100)$nm المحسوبة بواسطة الكود $MCNP5$.

الجدول(1) نتائج حساب الجرعة الممتصة في منطقة الرحم والأعضاء المحيطة بها مقدرة بواحدة غراي من أجل الأطوال الموجية (600 – 1100)nm لمنبع الليزر

العضو	طول الموجة (nm)					
	600	700	800	900	1000	1100
	الجرعة الممتصة (Gy)					
الرحم	14.77874	15.29172	15.74709	16.06183	16.319101	17.952155
الكبد	0.000993	0.001177	0.001372	0.001631	0.0018533	0.0020384
المعدة	0.001739	0.002169	0.002552	0.002962	00.03284	0.0036032
الأمعاء	0.016564	0.019939	0.023551	0.027112	0.0308793	0.0339386
المثانة	0.016439	0.020002	0.023831	0.027715	0.0319831	0.0351668
الكليتين	0.003083	0.003626	0.004298	0.004852	0.0055012	0.0060394
البنكرياس	0.001233	0.001448	0.001798	0.002218	0.0023399	0.002524

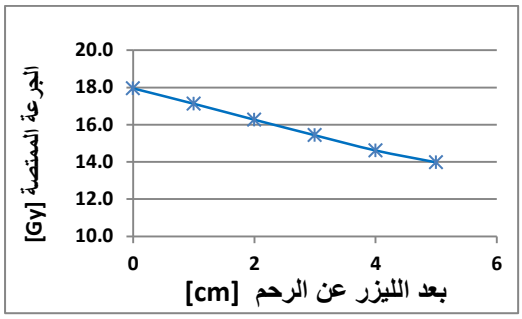


الشكل (4) تابعية قيمة الجرعة الممتصة في منطقة الرحم والأعضاء المحيطة بها للطول الموجي لليزر

يُلاحظ من الجدول (1) والشكل (4) أن جرعة الممتصة الليزرية تزداد بازدياد طول موجة إشعاع الليزر، حيث بلغت قيمة الجرعة Gy(14.78) و Gy(17.95) على الترتيب من أجل الطولين الموجيين (600)nm و (1100)nm، وأن الجرعة الممتصة الليزرية في جميع الأعضاء كانت أقل من الجرعة الإشعاعية لتحمل هذه الأعضاء.

يوضح الشكل (5) تابعية الجرعة الممتصة الليزرية في منطقة الرحم للمسافة من منبع الليزر إلى منطقة الرحم من أجل الطول الموجي $(\lambda = 1100)nm$

.



شكل (5) تابعية الجرعة الإشعاعية الممتصة في منطقة الرحم للبعد بين منبع الليزر ومنطقة الرحم.

يُلاحظ من الشكل (5) أن الجرعة الإشعاعية الممتصة في منطقة الرحم تنخفض بازدياد المسافة من منبع الليزر إلى منطقة الرحم.

3.3.3. مقارنة النتائج

لمعالجة سرطان عنق الرحم بالتماس بواسطة الجرعة الإشعاعية الموصوفة للمريضة والتي كانت في المجال $(14-16)Gy$:

1. تم الحصول على جرعة إشعاعية ممتصة بلغت $13.66(Gy)$ باستخدام 5 منابع سيزيوم ^{137}Cs مشعة لغاما $(E_\gamma = 662keV)$ وذات نشاط إشعاعي كلي $(A = 622.10^9\ Bq)$، حيث استغرقت مدة استلام المريضة لهذه الجرعة نحو (18) ساعة، وفي أثناء هذه المدة بلغ عدد فوتونات غاما الصادر من هذه المنابع $(N = 4.03.10^{14})$ فوتوناً غاماوياً.
2. تم الحصول على جرعة ممتصة ليزرية بلغت $(14.8-18)Gy$ من خلال استخدام منبع ليزر نبضي متغير الطول الموجي في المجال $(600-1100)\text{nm}$ المذكورة بارامتراته سابقاً والذي يوافقه تغير لطاقة الفوتونات في المجال $E = (1.16-2.13)eV$، حيث استغرق استلام الرحم لهذه الجرعات نحو (6.7) دقيقة، وفي أثناء هذه المدة بلغ عدد الفوتونات الصادر من المنبع الليزري $N = (2.05-3.76).10^{16}$ فوتوناً وفقاً للطول الموجي.

يمكن القول أن استلام الجرعة الإشعاعية الموصوفة لعلاج سرطان الرحم يكون أفضل في حالة استخدام منبع ليزري، منه في حالة استخدام منابع السيزيوم المشعة لغاما، وذلك لأن الليزر المعتمد في الدراسة يُصدر في المجال المرئي وتحت الأحمر القريب، وكلاهما يعتبر إشعاع لا هجومي لجسم الإنسان، بل أن جسم الإنسان نفسه يُصدر إشعاع حراري يقع في مجال ماتحت الأحمر، وأن المنبع الليزري قادر على إعطاء الجرعة الموصوفة للمريضة خلال زمن صغير نسبياً يبلغ نحو (6.7) دقيقة، هذا فضلاً عن توفر إمكانية التحكم بقيمة الجرعة الليزرية لتتوافق تماماً مع الجرعة الموصوفة من خلال ضبط دقيق للمسافة بين الليزر والرحم، بينما في حالة استخدام المنابع المشعة لغاما، فيجب أن تستقر هذه المنابع (بواسطة مطبقات خاصة) في الرحم دون حراك للمريضة خلال مدة العلاج (18) ساعة، هذا فضلاً عن أن الجرعات التي تتلقاها الأعضاء في منطقة الرحم، وبالرغم من أنها كانت أقل من جرعة تحمل الأعضاء، إلا أنها كانت أكبر بكثير من مثيلاتها في حالة استخدام منبع الليزر.

4. الاستنتاجات

- يمكن استخدام الليزر لحالة علاج سرطان الرحم بالتماس والحصول على الجرعة الإشعاعية الموصوفة،
- مدة المعالجة بالليزر تكون من مرتبة الدقائق مقارنة مع مدة العلاج الطويلة من مرتبة الساعات في حالة استخدام منابع مشعة لغاما،
- يمكن بواسطة العلاج بالليزر حماية النسج السليمة والتركيز على الورم، وذلك لأن طاقة فوتونات الليزر في المجال $E =$

$(1.16 - 2.13)eV$ قريبة من طاقة الانتقالات الإلكترونية في الذرات المكونة للأنسجة، هذا بالإضافة إلى أن حزم الليزر مسددة ويمكن أن تتركز في بقع صغيرة جداً،

- إمكانية العلاج بالليزر في العيادات، بينما المعالجة بأشعة غاما تكون في مشافي متخصصة كالطب النووي،

بتحليل البنود السابقة يمكن التوصل إلى أن منبع الليزر يستطيع إعطاء نفس الجرعة الموصوفة للمريضة التي يتم الحصول عليها بواسطة منابع مشعة لغاما.

5. أعمال مستقبلية

- التعاون مع الكليات الطبية والمشافي الجامعية لتنفيذ هذا البحث على أرض الواقع، من خلال اعتماد ومتابعة حالات مختلفة للمرضى،
- تطوير برنامج خاص للحصول على فانتوم فوكسل لكل مريض بناء على صور الطبقي المحوري، وربط هذا البرنامج بكود MCNP5 للحصول بشكل مباشر على الجرعات الممتصة الليزرية في الأعضاء والأنسجة المهمة، وجعل هذا البرنامج سهل التشغيل وقابل للاستثمار بواسطة الكوادر العاملة في المشافي غير المتخصصة بالكود MCNP5.

المراجع

[1] أيهم المحمود و د. ماجدة نحيلي و د. عبد القادر بيطار رسالة ماجستير بعنوان " **حساب الجرعة في المعالجة الإشعاعية عن قرب لسرطان الرحم باستعمال الكود MCNP**" قسم الفيزياء/كلية العلوم/جامعة دمشق/ 2012.

[2]. Gogoleva N. G. **Application of lasers in science, technology, medicine**. Tutorial. St. Petersburg, SPbGETU "LETI" Publishing House, 2007. 80 p.

[3] X-5 Monte Carlo Team. April 24, 2003. MCNP — A General Monte Carlo N- Particle Transport Code, Version 5 : Los Alamos National Laboratory، LA-CP-03- 0245 (April 24, 2003).

[4] R. H. Olsher and K. A. Van Riper, "**Application of a Sitting MIRD Phantom for Effective Dose Calculations**," Radiation Protection and Dosimetry 116, 392–395, 2005.

[5]. M. Katagiri, M. Hikoji, M. Kitaichi, S. Sawamura and Y. AokiGraduate , **Effective Doses and Organ Doses per Unit Fluence Calculatedfor Monoenegetic 0.1 to 100MeV Electrons by the MIRD-5 Phantom,** School of Engineering, Hokkaido University, North 13, West 8, Kita-ku, Sapporo, 060-8628, Japan

[6]. R KRAMER, PhD, 1 H J KHOURY, PhD, 1 C LOPES, PhD and 2 J W VIEIRA, PhD **Equivalent dose to organs and tissues in hysterosalpingography calculated with the FAX (Female Adult voXel) phantom**, The British Journal of Radiology, 79 (2006), 893–898

[7]. K. Akahane, M. Kai, T. Kusama and K. Saito, **DOSE ESTIMATION OF PATIENTS FROM DIAGNOSTIC X-RAY BASED ON CT-VOXEL PHANTOM**, Proceedings of the Ninth EGS4 Users' Meeting in Japan, KEK Proceedings 2001-22, p.87-91.