(مقالهٔ پژوهشی)

تعیین ضریب تصحیح فرمول استرلینگ (ضریب واداش) با تحلیل فیزیکی در درمان‌های مگاولتاژ

محمد جواد طهماسبی بیرگانی[1]، محمد علی بهروز [2]، محمد حسینی[3]، فاطمه قهرمانی[4]، فاطمه سیف[5*]

۱- دانشیار گروه فیزیک پزشکی.
۲- استاد گروه فیزیک پزشکی.
۳- استادیار گروه رادیوتراپی.
٤-دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک پزشکی.
٥-دانشجوی دکترای تخصصی فیزیک پزشکی.

۱و۲و٤و٥- گروه فیزیک پزشکی، دانشکدهٔ پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، ایران.
۳- بخش رادیوتراپی و آنکولوژی بیمارستان گلستان اهواز، ایران.

* نویسندهٔ مسؤول:
فاطمه سیف؛ گروه فیزیک پزشکی، دانشکدهٔ پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، ایران.
تلفن:۰۰۹۸۹۱۸۳۶۱۵۱۴۱
Email: sahar_s59@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: در پرتودرمانی با فوتون‌های اشعهٔ ایکس، فاکتور پراکندگی کولیماتور (Sc) میزان فوتون‌های پراکنده از کولیماتور را تعیین می‌کند. این پراکندگی ناشی از کولیماتورهای متحرک تعیین‌کننده ابعاد میدان درمانی می‌باشد که به‌واسطهٔ ضخامت بالا (۷/۸ cm) در فاصلهٔ یکسانی از سطح بدن بیمار قرار ندارند. در نتیجه پرتوهای پراکنده ناشی از آنها که به ناحیه درمانی می‌رسد، یکسان نیست. این امر باعث می‌شود که میدان-های درمانی نسبت به تعویض کولیماتورها در راستای X و Y تقارن نداشته باشند. بنابراین فرمول استرلینگ که بدون در نظرگیری تأثیر این اختلاف در نحوهٔ پرتوهای پراکندهٔ رسیده به میدان درمانی برای میدان‌های معادل استفاده می‌شود، باید تصحیح گردد. این تصحیح برای دستگاه‌های پرتودهی (کبالت-٦٠ و شتاب‌دهنده‌های خطی الکترون) با اعمال فاکتوری به‌نام ضریب واداش در فرمول استرلینگ صورت می‌گیرد و در طراحی نقشهٔ درمانی بیمار و تخمین درست توزیع دوز از اهمیت بالایی برخوردار است.

روش بررسی: با اندازه‌گیری مقدار Sc برای میدان‌های مربعی، نمودار تغییرات Sc برحسب ضلع مربع میدان رسم و رابطهٔ بین آنها توسط نرم‌افزار اکسل تعیین شد. به کمک این رابطهٔ مربع معادل میدان‌های مستطیلی تعیین شد و برای آنها یک ضریب واداش میانگین($\overline{A}$) محاسبه شد. با انتخاب مقادیر مختلف A حول این میانگین، برای هر انرژی (6MV و 18MV) یک مقدار به‌عنوان ضریب واداش A تعیین گردید، به‌طوری که واریانس کل آنها نسبت به میانگین حداقل باشد.

یافته‌ها: مقادیر ضریب واداش برای انرژی 6MV و 18MV دستگاه شتاب-دهندهٔ Varian 2100-CD به ترتیب برابر۲/۱٤ و ۲/۲۹ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: با توجه به عدم تقارن ناشی از جابه‌جایی کولیماتورها، فرمول استرلینگ نیاز به تصحیح دارد، این تصحیح با به‌کارگیری تحلیل فیزیکی Sc در انرژی‌های مختلف قابل استخراج است.

کلیدواژگان: رادیوتراپی، ضلع مربع معادل، پراکندگی نایکسان کولیماتورها، نقشه درمان، فاکتور واداش.

دریافت مقاله: 1390/3/25 **دریافت مقالهٔ اصلاح‌شده**: 1391/3/16 **اعلام قبولی**: 1391/3/23

مقدمه

در رادیوتراپی با پرتوهای X فاکتور پراکندگی کولیماتور (Sc) میزان تغییرات پرتوهای پراکنده شده را در حجم ناحیهٔ درمانی اندازه‌گیری می‌کند و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Sc(A)=\frac{\text{دوز رسیده به میدان درمانی } A \text{ در هوا}}{\text{دوز رسیده به میدان مرجع در همان نقطه در هوا}}$$

این اندازه‌گیری توسط یک اتاقک یونیزاسیون همراه با کلاهک انبوهش مناسب (جهت ایجاد دوز انبوهش ماکزیمم) صورت می‌گیرد (۱). از آنجایی‌که میدان دستگاه‌های درمانی غالباً به صورت مستطیل یا نامنظم باز می‌شود، برای تعیین فاکتور خروجی (Out put factor) میدان مربعی معادل آن در نظر گرفته می‌شود که باید از نظر توزیع دوز در حجم درمان با میدان درمانی اعمال شده معادل باشد. در اولین تقریب ضلع این میدان معادل برحسب نسبت مساحت (A) به محیط (P) میدان درمانی به‌صورت $\frac{4A}{P}$ به‌دست می‌آید که در میدان‌های مستطیلی به‌صورت: (*رابطه ۲*) $E=\frac{2XY}{X+Y}$ در می‌آید(X و Y طول و عرض میدان مستطیلی اعمالی هستند)(۲).

از آنجایی‌که اضلاع میدان درمانی توسط کولیماتورهای متحرک از جنس سرب با ضخامت قابل توجه (cm ۷/۸) تعیین می‌شود، این کولیماتورها به‌صورت جفت در فاصله یکسانی از سطح بدن قرار ندارند.

بنابراین پراکندگی آنها روی سطح بدن بیمار یکی نیست، لذا دوز اندازه‌گیری‌شده در میدان‌های XY و YX حتی با مساحت یکسانی از بازشدگی برابر نخواهد بود. در نتیجه، فرمول استرلینگ تحت تبدیل $X \rightarrow Y$ دارای تقارن نمی‌باشد، لذا برای تصحیح فرمول استرلینگ به‌واسطهٔ این عدم تقارن باید تصحیحی در نظر گرفته شود که بعد از انجام آن ضلع مربع معادل به‌صورت زیر تصحیح می‌گردد: (رابطهٔ ۳) $E=\frac{(A+1)XY}{AX+Y}$

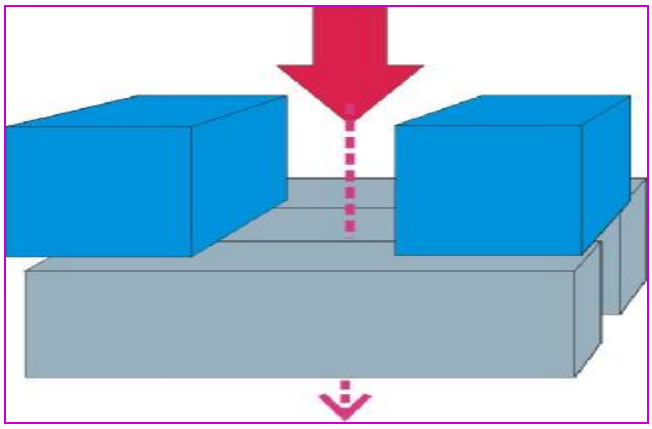
A را ضریب واداش می‌نامند، بدیهی است که در حالت میدان مربعی A=1 خواهد بود (۳-۸).

واداش و همکارانش دریافتند که فاکتور پراکندگی کولیماتور (Sc) برای میدان‌های XY و YX یکسان نیست، به همین دلیل برای محاسبهٔ مربع معادل میدان‌های مستطیلی x و Y رابطهٔ تجربی (۳) را ارائه کردند و با به‌دست آوردن داده‌های مربع معادل از طریق برون‌یابی داده‌ها و تعیین Sc، Sc را تعیین نموده و مینیمم کردند و به این ترتیب A مورد نظر را محاسبه کردند. (*رابطه ۱*)

یو (Yu) و همکارانش با تعیین Sc برای میدان‌های مستطیلی از طریق اندازه‌گیری و تعیین آن بر مبنای منحنی استاندارد Sc، توانستند میزان A را برای هر میدان تعیین کرده و با کمینه کردن انحراف معیار Scهای دوزیمتری و محاسباتی، A درستی را به‌دست آورند. آنها همچنین بر اساس یک رابطهٔ تجربی میزانA را به‌صورت زیر تعریف کردند: (رابطهٔ ٤) $A=\left(\frac{\text{فاصله فک پایین از چشمه}}{\text{فاصله فک بالا از چشمه}}\right)^2$

و نتایج حاصل از این رابطهٔ پیشنهادی را با نتایج روش قبلی خود مقایسه نمودند (٦).

در مطالعه‌ای دیگر که برای به‌دست آوردن فاکتور واداش انجام شد، فرمولی ساده برای محاسبهٔ مربع معادلی که بتواند برای میدان‌های مستطیلی مختلف، فاکتور پراکندگی کولیماتور یکسانی را نتیجه دهد، ارائه شد که این فرمول مستقیماً بر اساس هندسهٔ سیستم (شکل و پیکربندی) سر دستگاه شتاب‌دهنده خطی به دست آمد. این مطالعه به روش هندسی و با کمک گرفتن از فواصل چشمه تا بالای هر یک از کولیماتورهای X و Y و نیز فاصلهٔ کولیماتورهای X و Y تا صفحهٔ آشکارساز (دتکتور) در رابطهٔ (۳) به دست آمد. سپس فاکتور پراکندگی کولیماتور Sc برای میدان‌های مستطیلی (یک‌بار در حالتی که کولیماتور X ثابت است و کولیماتور Y در بازشدگی متغییر و بار دیگر برعکس حالت قبلی) با دوزیمتری عملی اندازه‌گیری شد. و در نهایت با ثابت نمودن نمودارهای مربوطه، ثابت A برای هر دو حالت به‌دست آمد.



شکل 1: موقعیت قرار گرفتن کولیماتورهای X و Y شتاب‌دهندهٔ خطی Varain 2100 CD

روش بررسی

با استفاده از اتاقک یونیزاسیون استوانه‌ای CC13 با کلاهک انبوهش مناسب (از جنس برنج و با قطر D=15.6mm برای انرژی 6MV و D=30mm برای انرژی 18MV) که توسط مرکز ثانویهٔ استاندارد دزیمتری (SSDL) کالیبره شده بود میزان Sc برای میدان‌های مربعی 5×5 cm^2 تا 40×40 cm^2 تعیین و نمودار Sc بر حسب ضلع میدان مربعی رسم شد. به کمک نرم‌افزار اکسل رابطهٔ تحلیلی بین Sc و ضلع میدان مربعی معادل نیز تعیین شد.

برای میدان‌های دلخواه ۵×۴۰، ۵×۲۰، ۵×۱۰، ۱۰×۴۰، 10×20 cm^2 که (y›x) و نیز میدان‌های ۵×۴۰ ، ۵×۲۰ ، ۵×۱۰، ۱۰×۴۰و 20×10 cm^2 که (y‹x) میزان Sc برای دستگاه شتاب‌دهنده Varian 2100c در دو انرژی 6MV و 18MV اندازه‌گیری شد. سپس به کمک نمودار Sc بر حسب ضلع میدان مربعی، ضلع مربع معادل میدان‌های مستطیلی فوق (در عمق رفرنس 10cm) تعیین گردید. با توجه به فرمول واداش برای ضلع میدان معادل مقدار A برای هر میدان مستطیلی نیز تعیین شد. اکنون می‌توان برای این مقادیر A یک مقدار میانگین به‌دست آورد. از آنجا که برای هر مولد اشعه، بسته به انرژی تولیدی مقدار بهینه‌ای وجود دارد، با انتخاب مقادیر مختلف A حول مقدار میانگین($\bar{A}$) یک A حساب می‌کنیم که میزان واریانس کل آن نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده مینیمم باشد.

یافته‌ها

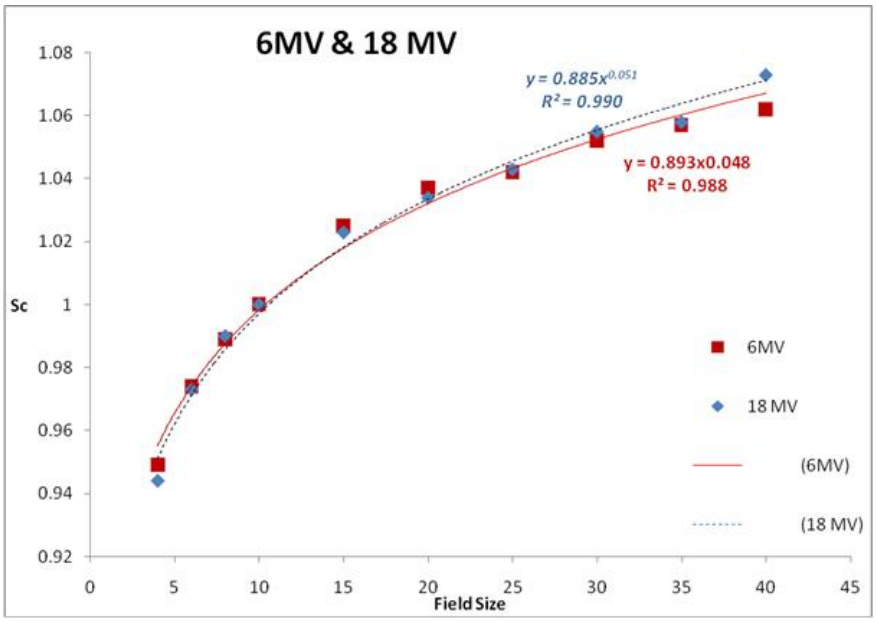
نمودار Sc بر حسب ضلع میدان مربعی، در انرژی‌های 6MV و 18MV مطابق نمودار ۱ به‌دست آمد: همان‌گونه که در نمودار ۱ نشان داده شده است به کمک نرم‌افزار اکسل در انرژی‌های فوق روابط زیر به این نمودارها منطبق می‌شود:

$Sc_{6MV} = 0.893E^{0.048}$ (رابطهٔ 5)

$Sc_{18MV} = 0.885E^{0.051}$ (رابطهٔ 6)

برای میدان‌های مستطیلی مختلف مطابق جدول (۱) خواهیم داشت:

نمودار A بر حسب ضلع مربع معادل رسم و میانگین آن برای انرژی‌های ٦ MV و ١٨ MV به‌ترتیب ۲/۷ و ۲/۸ به‌دست آمد. سپس واریانس کل مقادیر A ، حول $\bar{A}$ در $\bar{A}$+۰/۱، $\bar{A}$+۰/۲، $\bar{A}$+۰/۳، $\bar{A}$+۰/٤ و... محاسبه شد. مقدار مینیمم حاصله A قابل قبول برای ضریب واداش در انرژی مربوطه را به‌دست می‌دهد. این مقدار برای انرژی ٦ MV برابر با ۲/١٤ و برای انرژی ١٨ MV برابر با ۲/۲۹ به‌دست آمد. مقادیر Sc به‌دست آمده توسط این A نزدیکترین Sc به مقدار واقعی آن می‌باشد.



نمودار 1: نمودار تغییرات پراکندگی کولیماتور بر حسب ضلع مربع معادل در هر دو انرژی 6MV و 18MV.

جدول 1: مقادیر به‌دست آمده در دو انرژی 6 MV و 18 MV برای فاکتور پراکندگی (Sc)، اندازهٔ میدان و ضریب واداش (A).

	پارامترها	6 MV			18 MV		
	ابعاد میدان	Sc	Field size	A	Sc	Field size	A
Y≥X	۴۰×۵	۱/۰۰۶	۱۱/۸	۱/۹	۱/۰۱۴	۱۴/۴	۲/۹
	۴۰×۱۰	۱/۰۳۳	۲۰/۵	۲/۲	۱/۰۴۴	۲۵/۵	۴/۲۷
	۲۰×۱۰	۱/۰۲۳	۱۶/۷	۴/۱	-	-	-
	۲۰×۵	۰/۹۹۷	۹/۸	۱/۸۵	۰/۹۹۱	۹/۲	۱/۵۵
	۱۰×۵	۰/۹۸۷	۷/۹	۲/۸	۰/۹۸۶	۸/۳	۳/۸۸
	۵×۴۰	۰/۹۷۹	۶/۷	۲/۴۵	۰/۹۸۱	۷/۵	۱/۶۷
	۱۰×۴۰	۱/۰۰۷	۱۲	۳/۵۷	۱/۰۱۲	۱۳/۹	۱/۶۵
Y<X	۱۰×۲۰	۱/۰۰۸	۱۲/۳	۱/۶۹	۱/۰۱۱	۱۳/۶	۰/۸۸
	۵×۲۰	۰/۹۷۹	۶/۶۵	۱/۹۵	۰/۹۷۸	۷/۱	۱/۵۳
	۵×۱۰	۰/۹۷۵	۶/۱	۱/۷۸	۰/۹۷۹	۷/۲	۰/۶۳

بحث

مطابق نتایج به‌دست آمده، میزان فاکتور واداش وابستگی چندانی به انرژی مورد استفاده ندارد. میزان این ضریب بسته به نوع دستگاه از ۱/۵ تا ۳ تغییر می‌کند (۳, ۱۰, ۱۱). که برای سیستم واریان 2100CD مقدار A بین ۲/۱ تا ۲/۳ ارزیابی شده است. این عدد علاوه بر اینکه اثر جابه‌جایی کولیماتورها را در دستگاه‌های شتاب‌دهنده جبران می‌کند بلکه می‌تواند به‌عنوان یک شاخص در تعیین مقدار دقیق Sc که در محاسبهٔ مانیتور یونیت (MU) دستگاه‌ها اهمیت دارد، به‌کار گرفته شود (۱).

همچنین در تعیین ضلع میدان معادل که در دوزیمتری و کنترل کیفی دستگاه‌های پرتودرمانی و همچنین در فرایند کنترل کیفی سیستم‌های طراحی درمان نقش مهمی را به-

عهده دارد. اهمیت روش به‌کار گرفته شده در این تحقیق در این است که به کمک مینیمم شدن واریانس کل مقادیر تجربی و محاسباتی مربوط به ضریب واداش (A) در مقایسه با دیگر روش‌های گزارش‌شده (۳, ٦, ۹) مقدار واقعی‌تری به‌دست می‌آید چرا که در روش پیشنهادی در مطالعهٔ حاضر تغییرات Sc بسیار کند است.

نتیجه‌گیری

ضریب تصحیح واداش در فرمول استرلینگ با تحلیل فیزیکی مقدار Sc در انرژی‌های مختلف دستگاه‌های شتاب‌دهنده بین ۲/۲ تا ۲/۳ بوده و وابستگی چندانی به انرژی مورد استفاده ندارد. ضریب واداش ارائه‌شده در مطالعهٔ حاضر با در نظرگیری تفاوت الگوی فوتون‌های پراکندهٔ ناشی از کولیماتورها ضمن در دسترس قرار دادن میزان پراگندگی فوتون‌های ناشی از کولیماتورها به‌طور جداگانه، تخمین دقیق‌تری از میزان دوز دریافتی بیمار را به‌دست می‌دهد.

قدردانی

مؤلفان این مقاله بر خود لازم می‌دانند تا از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز به‌خاطر تأمین هزینهٔ این طرح پژوهشی و همچنین بخش رادیوتراپی و آنکولوژی بیمارستان گلستان اهواز به جهت همکاری صمیمانه در اجرای طرح تقدیر و تشکر نمایند.

منابع

1-Khan FM. The physics of radiation therapy. 4th ed. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins; 2010. p. 158-64.
2-Sterling TD, Perry H, Katz L. Automation of radiation treatment planning-Iv. Derivation of a mathematical expression for the per cent depth dose surface of cobalt 60 beams and visualisation of multiple field dose distributions. Br J Radiol 1964;37:544-50.
3-Vadash P, Bjarngard B. An equivalent-square formula for head-scatter factors. Med Phys 1993;20(3):733-4.
4-Thomas SJ, Eaton DJ, Tudor GSJ, Twyman NI. Equivalent squares for small field dosimetry. Br J Radiol 2008;81(971):897-901.
5-Norvill CAJ, White PA. An investigation of equivalent square formulas. Australas Phys Eng Sci Med 2008;31(2):151-3.
6-Yu MK, Murray B, Sloboda R. Parametrization of head-scatter factors for rectangular photon fields using an equivalent square formalism. Med Phys 1995;22(8):1329-32.
7-Zhu TC, Bjangard BE. Head scatter off-axis for megavoltage x rays. Med Phys 2003;30(4):533-43.
8-Jensen, JM. "[Output-factors for squared, rectangular, and elongated photon fields of medical linear accelerators]." Z Med Phys 2004;14(2): 113-7
9-Kim S, Zhu TC, Palta JR. An equivalent square field formula for determining head scatter factors of rectangular fields. Med Phys 1997;24(11):1770-4.
10-Jager HN, Heukelom S, van Kleffens HJ, van Gasteren H, van der Laarse R, LM Venselaar J, et al. "Comparison of parametrization methods of the collimator scatter correction factor for open rectangular fields of 6-25 MV photon beams." Radiother Oncol 1997;45(3): 235-243.
11-Dutreix A, Bjéirngard B, Bridier A, Mijnheer B, Shaw J, Svensson H. Monitor unit calculation for high energy photon beams. Garant Publ; 1997

Determination of Correction Coefficient of the Sterlling's Formula (Vadash´s factor) in Megavoltage Photon therapy

Mohamadjavad Tahmasebi Biragani[1], Mohammad Ali Behrooz[2], Mohammad Hosseini [3], Fatemeh Ghahremani [4], Fatemeh Seyf [5 *]

1-Associate Professor of Medical Physics.
2-Professor of Medical Physics.
3-Assistant Professor of Radiotherapist and Oncologist.
4-M.S.C Student of Medical Physics.
5-PhD student of Medical Physics.

1,2,4,5-Department of Medical Physics, School of Medicine, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.
5-Department of Radiation Therapy, Golestan Hospital, Ahvaz Jundishapur University of Medical sciences, Ahvaz, Iran.

**Corresponding author: Fatemeh Seyf; Department of Medical Physics, School of Medicine, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.*
Tell:+989183615141
Email: sahar_s59@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: For high energy x-ray beams used in radiation therapy the head-scatter factor (S_c) account for the variation in scattered radiation with collimator setting of the incident beam that reaches the point of measurement on the central axis.
The scattered radiation from the jaws that determine dimensions of treatmet field, is due to high thickness of jaws that are not located at the same level of the patient's body. Therefore scattered of them on the treatment area is not the same. This makes the replace of treatment field Beacuase of $X \rightarrow Y$ are not symmetric. the Sterlling's formula for the equivalent fields must be corrected.The correction of each system takes place by applying the coefficient in Sterlling's formula that iscalled the Vadash´s factor which is important in the treatment planing of patients.

Subjects and Method: By measuring the amount of Sc for square fields,the variation of Sc in terms of square field size was plotted, the relationship between Sc and field size was determined by Exel software.By this relation, the equivalent square fields for rectangular fields attained and average Vadash's factor ($\bar{A}$) was calculated for them.A selection of different values around this average, for every energy (6MV and 18MV) the value of A were determined, finally A that total variance around the average was minimum is desirable for Vadash's factor.

Results: Vadash's factor for energy 6MV and 18MV Linac Varian 2100 CD are obtained 2.14 and 2.29 respectively.

Conclusion: According to the collimator exchange effect, the Sterlling's formula needs a correction by applying the physical analysis of Sc for various energy, this correction is extractable.

Keyword: radiation therapy, side equivalent square, collimator scattering, treatment planning, Vadash's Factor.

►*Please cite this paper as:*
Tahmasebi Birgani MJ, Behrooz MA, Hosseini M, Ghahremani F, Seif F. Determination of Correction Coefficient of the Sterlling's Formula (Vadash´s factor) in Megavoltage Photon therapy. *Jundishapur Sci Med J 2013;11(6):619-624*

Received: June 15, 2011 **Revised: June 5, 2012** **Accepted: June 12, 2012**