

## روش تحلیلی اندازه گیری زاویه گوه با استفاده از آشکارساز آرایه ای

مهدیه، بهجتی\*<sup>۱</sup> - فتح الله، بوذرجمهری<sup>۲</sup>؛ مصطفی، سهراب پورا<sup>۱</sup>

۱-دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی انرژی، گروه مهندسی هسته ای

۲-دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، گروه فیزیک پزشکی

### چکیده

اندازه گیری زاویه گوه در اندازه میدان های مختلف برای طراحی درمان مورد نیاز است. تعیین زاویه گوه از منحنی های همدز گوه مطابق با تعریف ۲۴-ICRU دشوار و زمان بر است. آشکارساز آرایه ای پروفایلر با استفاده از یک روش تحلیلی زاویه گوه را محاسبه می کند. در این تحقیق دقت و صحت این روش اندازه گیری برای دو نوع فیلتر گوه موتوری و فیزیکی ارزیابی شد. در هر دو نوع سیستم گوه زاویه های گوه محاسبه شده از روش تحلیلی آشکارساز پروفایلر اختلاف کمتر از ۲ درجه با روش تجربی داشتند. در این مطالعه نشان داده شد که روش تحلیلی اندازه گیری زاویه گوه با استفاده از آشکارساز پروفایلر با صرف زمان و اندازه گیری کمتر می تواند جایگزین خوبی برای روش تعیین زاویه گوه از منحنی های همدز باشد.

### معرفی

ایجاد توزیع دز یکنواخت در تمام حجم درمان یکی از مهمترین اهداف رادیوتراپی می باشد که ابزارهای متفاوتی برای شکل گیری میدان پرتو دهی و تنظیم شدت پرتو مورد نیاز است. یکی از این ابزارها که در پرتو درمانی برای بهبود یکنواختی دز در حجم هدف استفاده می شود فیلتر گوه است. اثر گوه بر روی توزیع دز با زاویه گوه توصیف می شود که مطابق با تعریف ۲۴-ICRU به زاویه بین منحنی همدز گوه و خط عمود بر محور مرکزی در عمق ۱۰ سانتی متر را گویند. [۵]

از آنجا که اندازه گیری منحنی های همدز نیاز به تجهیزات دارد امروزه آشکارسازهایی طراحی شده اند که با استفاده از روش های تحلیلی در نرم افزار خود و حداقل اندازه گیری مورد نیاز زاویه گوه را تعیین می کنند. آشکارساز آرایه ای پروفایلر، یکی از آشکارسازهایی است که امکان اندازه گیری زاویه گوه را همزمان با اندازه گیری پروفایل را می دهد.



در این مطالعه روش اندازه‌گیری زاویه گوه با استفاده از آشکارساز پروفایلر در مورد گوه فیزیکی دستگاه کبالت و گوه موتوری شتابدهنده کامپکت مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

در نرم افزار پروفایلر از رابطه تحلیلی زیر برای محاسبه زاویه گوه استفاده می‌شود:

$$\theta_E = \arctan \frac{\ln \frac{D_1}{D_2}}{0.5 \times F_S \times \mu} \quad (1)$$

در این رابطه  $D_1$  و  $D_2$  دزهای ثبت شده از دو دیود آشکارساز پروفایلر است.  $F_S$  نشان دهنده اندازه میدان و  $\mu$  ضریب تضعیف خطی جرمی است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\mu = \frac{\ln \frac{D_1}{D_2}}{h_2 - h_1} \quad (2)$$

$D_1$  و  $D_2$  دز به دست آمده در میدان بدون گوه در دو عمق  $h_1$  و  $h_2$  است که باید به نرم افزار آشکارساز داده شود.

در روش تحلیلی با دقتی اندک در رابطه می‌توان به این نتیجه رسید. دزهای  $D_1$  و  $D_2$  دزهای اندازه‌گیری شده توسط آشکارساز ردیفی - خطی هستند که از دو قسمت ضخیم و نازک گوه به آشکارساز رسیده‌اند. تابشی که از قسمت ضخیم گوه به آشکارساز ردیفی - خطی رسیده است شدت کمتری نسبت به قسمت نازک گوه دارد درحالی‌که هر دو از ضخامت برابر از آب گذشتند. با توجه به رابطه ۱ می‌توان تفاوت دزها را به تفاوت عمق تبدیل کرد. دو پرتو رسیده از دو قسمت ضخیم و نازک گوه داخل فانتوم آب عمق‌های مختلفی را طی کردند تا به دز یکسان برسند که این همان تعریف منحنی هم‌دز گوه است.

اندازه‌گیری زاویه گوه برای گوه فیزیکی کبالت در زاویه ۳۰،۴۵ و ۶۰ درجه و اندازه میدان‌های ۵×۵، ۷×۷، ۱۰×۷ و ۱۰×۱۰ (معادل ۱۲×۱۲) ۱۵×۱۰ cm<sup>۲</sup> با تکرار ۴ مرتبه با استفاده از آشکارساز پروفایلر اندازه‌گیری شد. انتخاب عمق در محاسبه ضریب تضعیف جرمی به منظور کاهش خطا اهمیت زیادی دارد بنابراین انتخاب عمق‌ها مطابق با مقاله Kumar



و همکاران [۱] صورت گرفته است که عمق های ۱۰ و ۲۰ سانتی متر می باشد. با استفاده از اتاقک یونساز مدل فارمر FC۶۵ و الکترومتر Wellhofer، دز در حالت میدان باز در دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی متر داخل فانتوم آب با ابعاد  $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$  اندازه گیری شده است.

به منظور اعتبارسنجی نتایج آشکارساز پروفایلر منحنی های همدز گوه در زاویه ها و اندازه میدان های ذکر شده در بالا اندازه گیری شد. برای اندازه گیری منحنی های همدز از آشکارساز ردیفی - خطی استفاده شد. بدین ترتیب که شناسه های باریکه در عمق های مختلف اندازه گیری و با استفاده از نرم افزار مطلب به شکل منحنی های همدز تبدیل شد.

اعتبارسنجی اندازه گیری زاویه گوه برای زاویه ۶۰ درجه گوه موتوری شتابدهنده کامپکت نیز انجام گرفت. در این اندازه گیری انتخاب عمق مطابق با تحقیق دکتر حق پرست و همکاران برای شتاب دهنده با انرژی ۶ MV انتخاب شد که برابر ۵ و ۱۰ سانتی متر است. [۶]

منحنی های همدز تجربی با استفاده از شناسه باریکه گوه ۶۰ درجه در عمق های مختلف و منحنی درصد دز عمقی در هر اندازه میدان مشخص (اندازه گیری شده در آزمایش های راه اندازی دستگاه) توسط نرم افزار OMNI PRO رسم شد.

## نتایج

جدول ۱ زاویه گوه های فیزیکی دستگاه کبالت در سه زاویه اسمی ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه را در اندازه میدان های مربعی  $5 \times 5 \text{ cm}^2$ ،  $7 \times 7$  و  $10 \times 10$  و اندازه میدان مستطیلی  $10 \times 15 \text{ cm}^2$  معادل اندازه میدان مربعی  $12 \times 12 \text{ cm}^2$ ، مطابق رابطه ۱ محاسبه شده است را نشان می دهد.

جدول ۱. زاویه گوه فیزیکی دستگاه کبالت اندازه گیری شده در اندازه میدان های مختلف با استفاده آشکارساز پروفایلر

زاویه محاسبه شده گوه به روش تحلیلی آشکارساز پروفایلر				
اندازه میدان (cm <sup>2</sup> )				
۱۰×۱۵ (۱۲×۱۲)	۱۰×۱۰	۷×۷	۵×۵	زاویه اسمی
۳۲/۶۸ ± ۰/۰۲۶	۳۱/۷۹ ± ۰/۰۶۰	۳۰/۱۲ ± ۰/۰۶	۲۸/۹۰ ± ۰/۳۲	۳۰
۴۷/۶۷ ± ۰/۰۲۹	۴۶/۵۳ ± ۰/۰۱۸	۴۵/۲۸ ± ۰/۲۱	۴۴/۱۱ ± ۰/۱۱۴	۴۵
۶۲/۵۹ ± ۰/۰۱۵	۶۲/۰۱۸ ± ۰/۰۲۸	۶۰/۶۹ ± ۰/۰۲۴	۶۰/۰۷ ± ۰/۱۰۸	۶۰

در جدول بالا میزان انحراف معیار مشخص شده بسیار کوچک است که نشان دهنده دقت بالای این روش و هم چنین تکرار پذیری خوب آشکارساز پروفایلر است.

به منظور ارزیابی این روش، زاویه گوه طبق تعریف ICRU-۲۴ از منحنی های همدمز تجربی اندازه گیری شده با آشکارساز پروفایلر تعیین شده است. جدول ۲ زاویه های گوه ۳۰-۴۵ و ۶۰ درجه را در دو اندازه میدان ۱۰×۱۰ و ۵×۵ cm<sup>2</sup> نشان می دهد.

جدول ۲. زاویه های گوه محاسبه شده به روش ICRU-۲۴ در اندازه میدان های ۱۰×۱۰ و ۵×۵ cm<sup>2</sup>

زاویه گوه روش ICRU-۲۴		زاویه اسمی گوه
اندازه میدان (cm <sup>2</sup> )		
۱۰×۱۰	۵×۵	
۳۱	۲۸	۳۰
۴۷	۴۴	۴۵
۶۲	۵۸	۶۰

با مقایسه ی جدول ۱ و ۲ مشاهده می شود دقت روش آشکارساز پروفایلر تعیین می شود. اختلاف تعیین زاویه در دو روش کمتر از ۲ درجه است و خطای نسبی تعیین زاویه به دو روش کمتر از ۲,۵٪ است.

جدول ۳ مقایسه بین زاویه های گوه ۶۰ درجه موتوری تعیین شده استفاده از آشکارساز پروفایلر و منحنی های همدز تجربی در سه اندازه میدان  $5 \times 5 \text{ cm}^2$ ،  $10 \times 10$  و  $15 \times 15$  را نشان می دهد.

جدول ۳. مقایسه ای بین دو روش تعیین زاویه گوه را برای زاویه گوهی موتوری ۶۰ درجه شتاب دهندهی کامپکت در سه اندازه میدان  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  -  $10 \times 10$  -  $15 \times 15$

اندازه میدان ( $\text{cm}^2$ )	زاویه ی تعیین شده از منحنی های همدز تجربی (درجه)	زاویه موثر گوه اندازه گیری شده توسط دستگاه آشکارساز ردیفی - خطی (درجه)	اختلاف زاویه موثر گوه با زاویه منحنی همدز تجربی
۵×۵	۵۱	۵۱/۱	۰/۱
۱۰×۱۰	۵۴/۲	۵۵/۳	۱/۱
۱۵×۱۵	۵۸	۵۷/۱	-۰/۹

اختلاف درجه بین زاویه های اندازه گیری شده در دو روش تجربی و روش آشکارساز پروفایلر کمتر از ۱/۱ درجه است. این جدول نشان دهندهی تطابق خوب دو روش تعیین زاویه گوه و اعتبارسنجی روش تحلیلی مورد استفاده در آشکارساز پروفایلر با روش تجربی است.

### نتیجه گیری:

در این مطالعه دقت و صحت روش اندازه گیری زاویه گوه توسط آشکارساز پروفایلر با اندازه گیری منحنی های همدز تجربی برای گوه موتوری شتاب دهنده کامپکت و گوه فیزیکی دستگاه درمانی کبالت مورد ارزیابی قرار داده شد. نشان داده شد که که آشکارساز آرایه ای پروفایلر با دقت زیر ۲ درجه می تواند زاویه گوه را اندازه گیری کند. در نتیجه اعتبار



این روش به عنوان یک روش مناسب برای تعیین زاویه گوه بدون نیاز به اندازه‌گیری منحنی‌های هم‌دز برای دو گوه

موتوری و فیزیکی به اثبات رسید.

### مراجع:

۱. Rajesh Kumar, D. K. (۲۰۱۲). Design, implementation and validation of a motorized wedge filter for a telecobalt machine. Volume ۲۸, Issue ۱ , Physica Medica: European Journal of Medical Physics , pp. ۵۴-۶۰.
۲. Zwicker RD, S. S. (۱۹۸۵, April ۲۶). Effective wedge angles for ۶-MV wedges. Med Phys , pp. ۳۴۷-۹.
۳. Siddon, P. L. (۱۹۸۵, May ۷). Effective wedge angles with a universal wedge . Phys Med Biol , pp. ۹۸۵-۹۱.
۴. Faiz M. Khan, "Physics of Radiation", ۲۰۱۰, Lippincott, Williams and Wilkins.
۵. International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). ۱۹۷۶, Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or gamma rays in radiotherapy procedures. ICRU Rep; ۲۴.
۶. عیوضی ع.ج. (۱۳۹۰). بررسی عوامل بر ضریب تضعیف موثر ماده جبران کننده ها به منظور درمان با فوتون ۶MV به روش پرتو درمانی با شدت تعدیلی. مجله کومش, جلد ۱۲- شماره ۳.