

## فرمولی جدید برای محاسبه درصد دوز عمقی کبالت ۶۰

محمد جواد طهماسبی بیرگانی<sup>۱</sup>، مهدی قربانی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشیار گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اهواز

۲- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۴/۱۱/۸

تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۸۴/۷/۱۱

### چکیده

**مقدمه:** دوزیمتری پرتوها در رادیوتراپی دارای اهمیت بالایی می باشد زیرا رادیوتراپی موفقیت آمیز مستلزم تابش دقیق دوز به حجم سرطانی در بافت می باشد. یکی از کمیت‌های مهم در محاسبه زمان درمان در رادیوتراپی، درصد دوز عمقی است. هدف این مطالعه معرفی فرمولی جدید برای محاسبه درصد دوز عمقی بر روی محور مرکزی میدانهای کبالت ۶۰ است.

**مواد و روشها:** در مطالعه حاضر بر اساس جدول درصد دوز عمقی ارائه شده در مجله بریتانیایی پرتوشناسی، ۹ فرمول جدید برای محاسبه درصد دوز عمقی در عمق‌های ۳۰-۵ سانتی متر و میدانهای ۴×۴ الی ۴۵×۴۵ سانتی متر مربع ارائه گردید. برای بررسی میزان توافق فرمولها و مقادیر جدول از میانگین قدرمطلق اختلاف آنها استفاده شد و فرمول با کمترین میانگین قدرمطلق اختلاف به عنوان فرمول دارای بیشترین توافق انتخاب گردید. برای به دست آوردن فرمولها و انجام محاسبات از نرم افزار میکروسافت اکسل ۲۰۰۰ و دیتافیت ۸ استفاده گردید.

**نتایج:** در مقایسه با مقادیر جدول مجله بریتانیایی پرتوشناسی، از بین ۹ فرمول یک فرمول توافق بیشتری را نشان داده است. فرمول مورد نظر بر حسب  $\log(A/P)$  دارای دو قسمت درجه ۱ و درجه ۲ می باشد، به طوری که برای بازه عمقی ۵-۰/۵ سانتیمتر به صورت درجه ۱ و برای بازه عمقی ۳۰-۶ سانتی متر به صورت درجه ۲ است. میانگین قدر مطلق اختلاف مقادیر جدول و محاسبه شده با فرمول انتخاب شده ( $\Delta$ ) برابر با ۰/۳۱۵۲ است.

**بحث و نتیجه گیری:** فرمول ارائه شده دارای توافق بیشتری با مقادیر جدول مجله بریتانیایی پرتوشناسی بوده و می توان از آن در برآورد درصد دوز عمقی میدانهای کبالت ۶۰، به ویژه برای عمقها و ابعاد میدانهایی که جدول مجله بریتانیایی پرتوشناسی بدون مقدار می باشد استفاده کرد. (مجله فیزیک پزشکی ایران، دوره ۲، شماره ۸، پاییز ۸۴: ۶۰-۵۳)

واژگان کلیدی: درصد دوز عمقی، کبالت ۶۰

### ۱- مقدمه

در دوز می تواند احتمال آسیب غیر قابل برگشت را به همین نسبت افزایش دهد [۱]. بنابراین نتایج به دست آمده، حداقل برای برخی از انواع تومورها، تابع احتمال کنترل تومور بر حسب دوز دارای شیب زیادی است. به عنوان مثال، کاهش ۱۰ درصد در دوز استاندارد اسمی<sup>۱</sup> کافیت تا احتمال کنترل

تابش دقیق دوز به حجم سرطانی احتمال موفقیت را در رادیوتراپی بالا می برد. به همین علت دوزیمتری در رادیوتراپی با اهمیت تلقی می شود. اعتقاد بر این است که ۱۰-۱۵ درصد کاهش در دوز دریافتی باعث کاهش شانس درمان به میزان ۲ یا ۳ برابر می شود؛ درحالی که افزایش مشابهی

1-Nominal Standard Dose

\* نویسنده مسؤل: مهدی قربانی

آدرس: گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی

mhd-ghorbani@mums.ac.ir

مشهد.

تلفن: ۲۱۱۲-۷۵۴ (۰۹۱۲) ۹۸+

[۱۱]. کلنیتساس<sup>۱۰</sup> و فیوس<sup>۱۱</sup> در سال ۱۹۷۵ بر اساس مقادیر اندازه گیری شده، فرمولی را برای محاسبه دوز بر روی محور مرکزی کبالت ۶۰ و همچنین نقاط خارج از محور ارائه کردند [۱۲].

در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از جدول مقادیر درصد دوز عمقی مربوط به کبالت ۶۰ ( $SSD = 80\text{ cm}$ ) موجود در مجله بریتانیایی پرتوشناسی<sup>۱۲</sup> (BJR) [۱۳]، چند فرمول جدید برای محاسبه درصد دوز عمقی ارائه شود و سپس از میان فرمولهای ارائه شده یک فرمول که توافق بیشتری با این جدول دارد انتخاب گردد.

## ۲- مواد و روشها

ابتدا با استفاده از نرم افزار میکروسافت اکسل ۲۰۰۰<sup>۱۳</sup> و فرمول استرلینگ مقادیر درصد دوز عمقی برای عمقهای ۳۰ و ۲۸، ۲۶، ۲۴، ۲۲، ۲۰، ...، ۳، ۲، ۱، ۰/۵ سانتی متر و میدانهای ۴۵×۴۵ و ۴۰×۴۰، ۳۵×۳۵، ۳۰×۳۰، ۲۵×۲۵، ۲۰×۲۰، ۱۵×۱۵، ۱۲×۱۲، ۱۰×۱۰، ۹×۹، ۸×۸، ۷×۷، ۶×۶، ۵×۵، ۴×۴ سانتی متر مربع محاسبه و با مقادیر جدول درصد دوز عمقی BJR [۱۳] مقایسه گردید. برای این منظور، قدر مطلق اختلاف مقادیر محاسبه شده و جدول BJR برای هر عمق و میدان تعیین گردید و سپس میانگین این مقادیر برای همه عمقها و میدانها محاسبه شد. بر اساس روش استرلینگ و همکارانش و با استفاده از داده ها و نرم افزار جدید، فرمولی برای محاسبه درصد دوز عمقی استخراج گشت. بدین ترتیب که با استفاده از نرم افزار اکسل و با دانستن اینکه در هر عمق، درصد دوز عمقی بر حسب  $\log(A/P)$  خطی است، ابتدا

سرطان سلولهای اسکواموس سوپراگلوت<sup>۱</sup> را از ۷۰ درصد به ۱۰ درصد کاهش دهد. کمیسیون بین المللی واحدها و اندازه گیریهای پرتوی<sup>۲</sup> (ICRU) به عنوان نتیجه ای از تجزیه و تحلیل داده های مربوط به پاسخ بافت به دوز جذبی اشعه، دقتی برابر با  $\pm 5\%$  درصد را در تابش دوز در رادیوتراپی توصیه کرده است [۲]. از این رو بسیاری از تحقیقاتی که در زمینه رادیوتراپی صورت می گیرند به اندازه گیری و محاسبه دوز و ارائه روشهای جدیدی برای محاسبه دوز می پردازند [۳-۶]. در همین راستا استرلینگ<sup>۳</sup> و همکارانش در سال ۱۹۶۴ فرمولی را برای محاسبه درصد دوز عمقی<sup>۴</sup> (PDD) برحسب عمق و  $\log(A/P)$  ارائه کردند. آنها همچنین روشی را برای محاسبه درصد دوز عمقی در نقاط خارج از محور ارائه کرده اند [۷]. استرلینگ و همکارانش در سال ۱۹۶۷ توانستند با تقسیم عمق به دو بازه و استفاده از دو فرمول به دقت بهتری دست بیابند [۸]. توماس<sup>۵</sup> در سال ۱۹۷۰ فرمولی را برای محاسبه دوز پرتوهای گامای کبالت ۶۰ و پرتوهای ایکس ۴، ۸ و ۱۵ مگا ولت ارائه کرد [۹]. تیمز<sup>۶</sup> در سال ۱۹۷۳ روشی را برای محاسبه دو بعدی دوز برای چشمه های گاما و ایکس ارائه کرد [۱۰]. کرلنسن<sup>۷</sup> و پانگ<sup>۸</sup> در سال ۱۹۷۵ فرمولهایی را برای محاسبه درصد دوز عمقی و نسبت بافت به هوای<sup>۹</sup> پرتوهای گامای کبالت ۶۰ و پرتوهای ایکس با کیفیت ۱/۵ میلیمتر مس تا ۸ مگا ولت ارائه کردند و برای تعدادی از میدانهای مربعی و مستطیلی، مقادیر محاسبه شده با استفاده از فرمول را با مقادیر اندازه گیری مقایسه کرده اند

- 
- 1-Supraglottis
  - 2-International Commission on Radiation Units and Measurements
  - 3-Sterling
  - 4-Percentage Depth Dose
  - 5-Thomas
  - 6-Thames
  - 7-Kornelson
  - 8-Young
  - 9-Tissue Air Ratio

10-Kanellitsas

11-Fayos

12-The British Journal of Radiology

13-Microsoft Excel 2000

رابطه  $PDD = a \cdot e^{bd}$  برای درصد دوز عمقی در هر  $A/P$  در نظر گرفته شد و سپس  $a$  و  $b$  نیز بر حسب  $\log(A/P)$  به ترتیب یک بار  $b$  به صورت درجه اول و  $a$  به صورت چهارم و بار دیگر  $b$  به صورت درجه اول و  $a$  به صورت درجه پنجم در نظر گرفته شد. قابل ذکر است که با ملاحظه محدودیتهای نرم افزار اکسل، ضرائب معادلات درجه ۱ به بالا با استفاده از نرم افزار دیتافیت محاسبه شده اند. در ادامه با استفاده از نرم افزار دیتافیت، رابطه درصد دوز عمقی به صورت چند جمله ایهای مختلف و توابع مختلف بر حسب  $d$ ،  $\log(d)$ ،  $\log(A/P)$  و  $\log(\log(A/P))$  به دست آورده شد که از بین آنها یک فرمول که کمترین خطای استاندارد را داشت انتخاب گردید. در پایان با استفاده از نرم افزار اکسل، میانگین قدرمطلق اختلاف مقادیر محاسبه شده با استفاده از فرمولهای ارائه شده در این تحقیق و مقادیر اندازه گیری موجود در جدول BJR محاسبه گردید.

### ۳- نتایج

برای فرمول استرلینگ که به صورت:

$$\log(PDD) = [(-0.13d - 0.0056)\log(A/P) + (-0.36d + 2/0.44)]$$

می باشد مقدار میانگین قدرمطلق اختلاف مقادیر درصد دوز عمقی محاسبه شده با استفاده از این فرمول و جدول BJR ( $\bar{\Delta}$ ) برابر است با ۱/۵۲۷۳. توافق مقادیر محاسبه شده و جدول در عمقهای پایین کمتر بوده و در عمقهای بالا بیشتر می شود. برای عمق ۰/۵ سانتی متر، درصد دوز عمقی جدول ۱۰۰ درصد می باشد که با استفاده از رابطه استرلینگ، این مقدار بین ۱۰۶ و ۱۰۷ درصد حاصل می شود. برای فرمول درجه اول بر حسب  $\log(A/P)$  که به صورت:

ضرائب زاویه و عرض از مبدهای این خطوط برای هر عمق به دست آمد و سپس رابطه این ضرائب زاویه و عرض از مبدها بر حسب عمق به دست آمد که این رابطه نیز خطی بود. میانگین قدر مطلق اختلاف مقادیر محاسبه و جدول BJR در این مورد نیز محاسبه گردید. برای افزایش دقت، درصد دوز عمقی بر حسب  $\log(A/P)$  به صورت یک چند جمله ای درجه دوم در نظر گرفته شد و سپس رابطه ضرائب این چند جمله ای بر حسب عمق به صورت خطی به دست آمد. با توجه به محدودیتهای نرم افزار اکسل، برای به دست آوردن ضرائب چند جمله ای درجه دوم درصد دوز عمقی بر حسب  $\log(A/P)$  از نرم افزار دیتافیت<sup>۸</sup> استفاده شد. با توجه به نتایج استرلینگ و همکارانش در تقسیم یک فرمول به دو فرمول که هر کدام برای عمقهای خاصی به کار می روند [۸]، این روش برای داده های جدید موجود در جدول BJR تکرار گردید. در این روش، برای عمقهای ۵ و ...، ۲، ۱، ۰/۵ سانتی متر، رابطه درصد دوز عمقی بر حسب  $\log(A/P)$  به صورت خطی در نظر گرفته شده و سپس رابطه ضرائب این معادله خطی بر حسب عمق به دست آمد و سپس این کار برای عمقهای ۳۰ و ...، ۲۲، ۲۰، ۱۷، ۱۶، ۱۵ سانتی متر تکرار گردید. در مرحله بعد این کار تکرار گردید ولی رابطه درصد دوز عمقی بر حسب  $\log(A/P)$  برای هر دو بازه از عمقها به صورت درجه ۲ در نظر گرفته شد. به منظور استخراج دو فرمول دیگر، رابطه درصد دوز عمقی یک بار تا عمق ۵ سانتی متر به صورت درجه ۱ و از آن به بعد درجه ۲ و بار دیگر تا عمق ۵ سانتی متر درجه ۲ و برای عمقهای ۶ سانتی متر و بیشتر به صورت درجه ۱ در نظر گرفته شد. در فرمول دیگر



درصد دوز عمقی کبالت ۶۰

سانتی متر، مقدار درصد دوز عمقی بین ۱۰۰/۶ و ۱۰۰/۷ است. برای فرمولی که دارای درجه ۲ و درجه ۱ می باشد:

$$\begin{cases} \log(\text{PDD}) = [(-0.07495708d + 0.0234)(\log(A/P))^2 + (0.18113874d + 0.1811)\log(A/P) + \\ \quad (-0.29189321d + 2.01733)] & 0.5 \leq d \leq 5 \text{ cm} \quad (\text{a-6}) \\ \log(\text{PDD}) = [(0.10625d - 0.0126)\log(A/P) + (-0.3515d + 2.05446)] & 6 \leq d \leq 30 \text{ cm} \quad (\text{b-6}) \end{cases}$$

افزایش عمق و ابعاد میدان نشان نمی دهد. در عمق ۰/۵ سانتی متر مقدار درصد دوز عمقی بین ۱۰۰/۶۳ برای میدان ۴×۴ سانتی متر مربع، تا ۱۰۷/۰۹ برای میدان ۴۵×۴۵ سانتی متر مربع متغیر است. در فرمول نمایی که به صورت:

$$\text{PDD} = \left[ \frac{2/429325 (\log(A/P))^4 - 0.122926.76(\log(A/P))^3 - 7/5150.78342 (\log(A/P))^2 + 4/70.2476564 \log(A/P) + 10.6/5.76192}{\exp[(0.24072626 \log(A/P) - 0.76891944)d]} \right] \quad (7)$$

عمقهای زیر ۳ سانتی متر و میدانهای بزرگتر این اختلاف بیشتر می باشد. برای عمق ۰/۵ سانتی متر مقادیر درصد دوز عمقی بین ۱۰۳ و ۱۰۴ درصد است. در فرمول نمایی درصد دوز عمقی که به صورت:

$$\text{PDD} = \left[ \frac{-4/620.791 (\log(A/P))^5 + 14/54371465 (\log(A/P))^4 - 11/240.4 (\log(A/P))^3 - 3/34623 (\log(A/P))^2 + 4/15274 \log(A/P) + 10.6/51667}{\exp[(0.24072626 \log(A/P) - 0.76891944)d]} \right] \quad (8)$$

درصد دوز عمقی که از فرمول به دست می آید بین ۱۰۲ و ۱۰۴ درصد است. فرمول نهم که با استفاده از نرم افزار دیتافیت به دست آمده و در بین ۷۹ فرمول پیشنهادی کمترین انحراف معیار (۰/۵۵۶۸) را دارا می باشد عبارتست از:

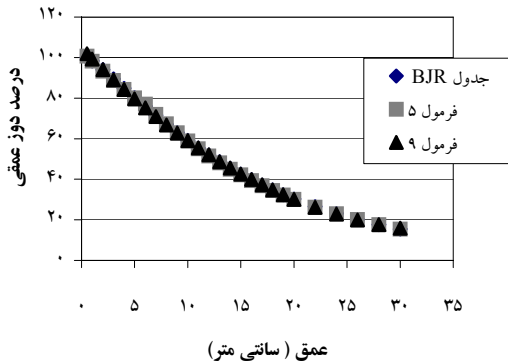
مقدار  $\bar{\Delta}$  برابر است با ۰/۳۱۵۲. به طور کلی اختلاف مقادیر جدول BJR و محاسبه شده روند ساده ای را با افزایش یا کاهش عمق و ابعاد میدان نشان نمی دهد. برای عمق ۰/۵

مقدار  $\bar{\Delta}$  برابر است با ۱/۰۴۸۱ و به طور کلی اختلاف مقادیر محاسبه شده و جدول BJR تا عمق ۵ سانتی متر زیادتر بوده و با افزایش ابعاد میدان افزایش می یابد. این اختلاف برای عمقهای بیشتر از ۵ سانتی متر کمتر بوده و روند ساده ای را با

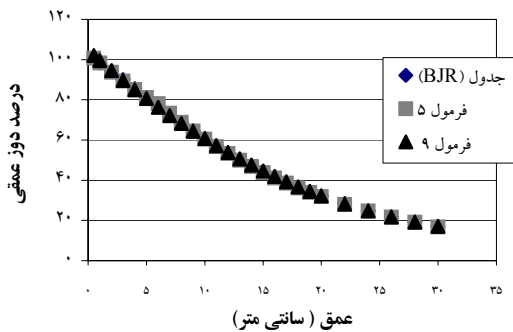
بوده و در آن ضریب تابع نمایی تابع درجه چهارم از  $\log(A/P)$  و توان تابع نمایی تابع درجه اول از  $\log(A/P)$  است، مقدار  $\bar{\Delta}$  برابر است با ۱/۱۰۷۸. برای این فرمول، تغییرات اختلاف مقادیر محاسبه و جدول BJR روند ساده ای را با تغییرات عمق و ابعاد میدان نشان نمی دهد ولی برای

بوده و در آن ضریب تابع نمایی تابع درجه پنجم از  $\log(A/P)$  و توان تابع نمایی تابع درجه اول از  $\log(A/P)$  است، مقدار  $\bar{\Delta}$  برابر است با ۱/۱۰۷۹. تغییرات اختلاف مقادیر محاسبه و جدول BJR روند مشخصی را با تغییر ابعاد میدان و عمق نشان نمی دهد. برای عمق ۰/۵ سانتی متر

$$PDD = 102/9315 - 6/38426 d + 3/071164 \log(A/P) + 0/121267 d^2 + 2/672914 (\log(A/P))^2 + 1/488511 d \times \log(A/P) - 0/00034 d^3 - 5/19147 (\log(A/P))^3 + 0/228787 d \times (\log(A/P))^2 - 0/4871 d^2 \times \log(A/P) \quad (9)$$

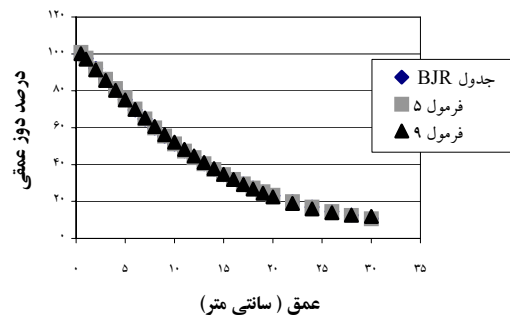


نمودار ۳- نمودار درصد دوز عمقی حاصل از جدول BJR و فرمولهای ۵ و ۹ برای میدان ۱۵×۱۵ سانتی متر مربع

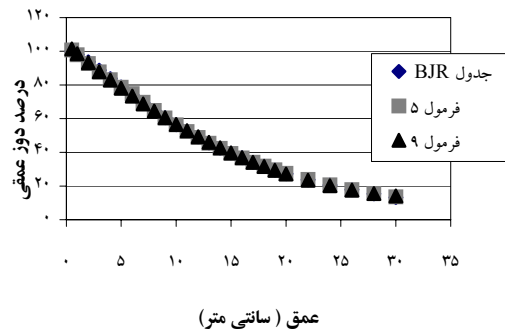


نمودار ۴- نمودار درصد دوز عمقی حاصل از جدول BJR و فرمولهای ۵ و ۹ برای میدان ۲۰×۲۰ سانتی متر مربع

مقدار  $\bar{\Delta}$  برای این فرمول برابر است با ۰/۴۲۸۴ و اختلاف مقادیر محاسبه شده و جدول BJR روند ساده ای را با افزایش یا کاهش عمق و ابعاد میدان ندارد. مقادیر محاسبه شده درصد دوز عمقی برای عمق ۰/۵ سانتی متر از ۹۹/۷۷ تا ۱۰۲/۰۲ متغیر می باشند. نمودارهای مقادیر درصد دوز عمقی جدول BJR و محاسبه شده با فرمولهای ۵ و ۹ که کمترین مقادیر  $\bar{\Delta}$  را دارند، بر حسب عمق در نمودارهای ۱ تا ۶ ترسیم شده است:



نمودار ۵- نمودار درصد دوز عمقی حاصل از جدول BJR و فرمولهای ۵ و ۹ برای میدان ۵×۵ سانتی متر مربع



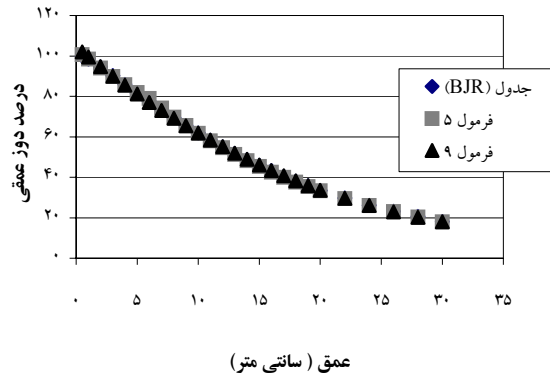
نمودار ۶- نمودار درصد دوز عمقی حاصل از جدول BJR و فرمولهای ۵ و ۹ برای میدان ۱۰×۱۰ سانتی متر مربع

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

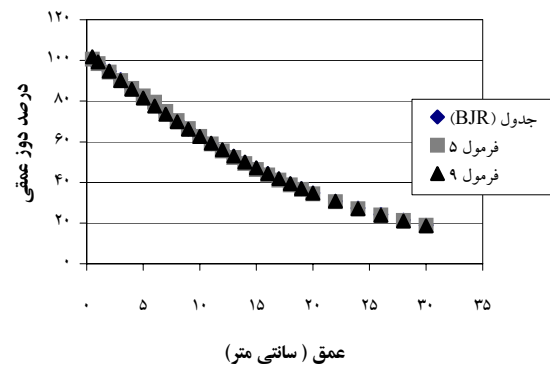
فرمولهای ۵، ۹ و ۳ به ترتیب دارای کمترین  $\bar{\Delta}$  هستند که نشان دهنده توافق بهتر آنها با مقادیر درصد دوز عمقی موجود در جدول BJR در مقایسه با سایر فرمولها است. در عمق ۰/۵ سانتی متر به ترتیب فرمولهای ۳، ۵ و ۹ توافق بهتری را با جدول BJR نشان می دهند به طوریکه درصد دوز عمقی برای فرمول ۳، بین ۱۰۰/۴۵ و ۱۰۰/۴۷ به دست می آید. درصد دوز عمقی برای فرمول ۵ بین ۱۰۰/۶ و ۱۰۰/۷ و برای فرمول ۹ بین ۹۹/۷۷ و ۱۰۲/۰۲ حاصل می شود. به نظر می رسد که فرمول ۵ برای همه میدانها و عمقهای مذکور دارای بیشترین توافق با مقادیر جدول BJR بوده و در برآورد دقیقتر مقادیر درصد دوز عمقی محور مرکزی کبالت ۶۰، به ویژه برای عمقها و میدانهایی که جدول BJR فاقد مقدار می باشد کارآمدتر است.

#### ۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می دانند که از آقای سید مجتبی کربلایی که در حل مشکلات مربوط به محاسبات همکاری داشته اند تشکر کنند.



نمودار ۵- نمودار درصد دوز عمقی حاصل از جدول BJR و فرمولهای ۵ و ۹ برای میدان ۲۵ × ۲۵ سانتی متر مربع



نمودار ۶- نمودار درصد دوز عمقی حاصل از جدول BJR و فرمولهای ۵ و ۹ برای میدان ۳۰ × ۳۰ سانتی متر مربع

#### منابع

1. Yeo I, Chris Wang C, Burch S. A filtration method for improving film dosimetry in photon radiation therapy. Med Phys 1997; 24(12): 1943-1953.
2. International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures. ICRU Report No 24, ICRU, Washington, 1976: 45-46.
3. Tsalafoutas I, Xenofos S, Papalexopoulos A, Nikolettopoulos S. Dose calculations for asymmetric fields defined by independent collimators using symmetric field data. Br J Radiol 2000; 73: 403-409.
4. Liu H, Mackie T, McCullough E. Calculation dose and output factors for wedged photon radiotherapy fields using a convolution/superposition method. Med Phys 1997; 24(11): 1714-1728.

5. Davis J, Reiner B. Depth dose under narrow shielding blocks: a comparison of measured and calculated dose. *Radiother & Oncol.* 1995; 34: 219-227.
6. Storchi P, Woudstra E. Calculation models for determining the absorbed dose in water phantoms in off-axis planes of rectangular fields of open and wedged photon beams. *Phys Med & Biol.* 1995; 40: 511-527.
7. Sterling T, Perry H, Katz L. Determination of a mathematical expression for the percent depth dose surface of cobalt 60 beams and visualization of multiple field dose distributions. *Br J Radiol.* 1964; 37: 544-550.
8. Sterling T, Perry H, Weinkam J. A general field equation to calculate percent depth dose in the irradiated volume of a cobalt 60 beam. *Br J Radiol.* 1967; 40: 463-468.
9. Thomas R. A general expression for megavoltage central axis depth doses . *Br J Radiol.* 1970; 43: 554-557.
10. Thames H. A new method for computer generation of dose distributions from external x- and gamma-ray sources. *Radiology.* 1973; 106: 199-208.
11. Kornelson R, Young M. Empirical equations for the representation of depth dose data for computerized treatment planning. *Br J Radiol.* 1975; 48 (573): 739-748.
12. Kanellitsas C, Fayos J. Analytical approach for depth dose calculations (<sup>60</sup>Co beams with fixed source-target distance). *Radiology.* 1975; 115: 181-185.
13. Hospital Physicists' Association. Central axis depth dose data for use in radiotherapy. *Br J Radiol.* 1983; Supp No 17: 54-55.