Archive of SID

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۸، شمارهٔ ٤، ویژه‌نامه پرتوهای یون‌ساز، ۱۳۹۸، صفحه ۱۹۱-۱۹٦
پنجمین کنفرانس ملی سنجش و ایمنی پرتوهای یون‌ساز و غیریون‌ساز (مهرماه ۱۳۹۷)
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰٦/۰۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۰۱

دزیمتری تابش گاما براساس روش داده‌برداری گزینشی از آشکارساز یدورسدیم

حسین ذکی دیزجی[۱*]، طیب کاکاوند[۲] و مهدخت فرزام[۲]

[۱]دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.
[۲]دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
[*]تهران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، دانشکده علوم پایه، کدپستی: ۳۷۳٦٥-۱٦۹۸۷
پست‌الکترونیکی: hz.dizaji@yahoo.com

چکیده

آشکارسازی تابش برای تعیین مقدار دز تابش لازم است. با توجه به نوع آشکارساز و روش تعیین دز، ممکن است آشکارسازی در سطوح مختلف انجام گیرد. حداقل سطح آشکارسازی، شمارش تعداد پالس‌ها است. به‌طورمعمول، خروجی یک آشکارساز تابش به صورت مستقیم در تعیین مقدار دز تابش قابل استفاده نیست. با تغییر و اصلاح تابع پاسخ و یا خروجی آشکارساز، سعی می‌شود ارتباط و تناسبی بین خروجی آشکارساز با مقدارمعادل دز ایجاد گردد. برای این منظور روش‌های متعدد سخت‌افزاری و نرم‌افزاری به کار برده می‌شود تا مقادیر معادل دز به‌دست‌آید. در روش‌های سخت‌افزاری لایه‌هایی به عنوان تعدیل‌کننده، جبران‌کننده، کندکننده و غیره استفاده می‌شود. در روش‌های نرم‌افزاری نیز فرآیندهای داده‌برداری و پردازش آن‌ها مانند بازیابی، پیچش، واپیچش و غیره استفاده می‌شود. روش داده‌برداری گزینشی از چندین کانال انرژی، از روش‌های نرم‌افزاری بوده و در این مقاله ارائه شده است. در این روش، دستیابی به پاسخ دزیمتری فوتون در بازه انرژی ۰/٤۱۱ MeV تا ۳ MeV براساس داده‌های یک آشکارساز یدورسدیم پرداخته شده است. با استفاده از شبیه‌سازی کد MCNPX تابع پاسخ آشکارساز برای تابش گاما تعیین گردیده و سپس ضرایب کالیبراسیون برای محاسبه‌ی دز محاسبه شده است. در نهایت پاسخ انرژی آشکارساز یدورسدیم برای دزیمتری تابش گاما برای چندین کانال انرژی تعیین گردید. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که روش ارائه‌شده، دقت بالایی در دزیمتری تابش گاما دارد.

کلیدواژگان: آشکارسازی، تابع پاسخ، دزیمتری، تابش گاما، کد MCNPX.

۱. مقدمه

امروزه تابش‌های هسته‌ای در خیلی از جوانب زندگی بشر حضور دارند. در کنار محاسن و مزیت‌های این حضور تابش‌های هسته‌ای، برخی معایب و چالش‌هایی نیز وجود دارد که می‌بایست الزامات و اقدامات مقتضی موردتوجه قرار گیرد. استفاده وسیع از تابش‌های یون‌ساز در حوزه‌های مختلف مانند صنعت، کشاورزی، سلامت و پزشکی باعث شده است که لزوم توجه و بهره‌مندی از روش‌ها و ابزارهای متعدد اندازه‌گیری شاخص‌های مربوط به میدان تابشی بیش‌تر شود. توسعه روش‌های دزیمتری یکی از این شاخص‌های مربوط به میدان تابشی است. لذا برای پایش و انجام اقدامات مربوط به

Downloaded from rsm.kashanu.ac.ir at 12:59 +0330 on Wednesday December 9th 2020

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from rsm.kashanu.ac.ir at 12:59 +0330 on Wednesday December 9th 2020

حفاظت، ایمنی و سلامت افراد، لازم است از میزان دز تابش دریافتی توسط افراد مطلع بود. بنابراین لازم است که ابزاری در اختیار داشت که همواره میزان دز دریافتی این تابش‌ها را اندازه‌گیری کرده و نمایش دهند.

هر کدام از ابزارهای دزیمتری اعم از فعال و غیرفعال فردی، دستی و ایستگاهی با وجود داشتن مزیت‌های زیاد، برخی معایب و محدودیت‌هایی نیز دارند که مهم‌ترین آن‌ها دست‌یابی به پاسخ دزیمتری مناسب در انرژی‌های مختلف است.

به‌طورکلی، برای‌این‌که از آشکارساز برای تعیین مقدار دز تابش استفاده شود، روش‌های متعدد سخت‌افزاری و نرم‌افزاری به کار برده می‌شود. در روش‌های سخت‌افزاری لایه‌هایی به عنوان تعدیل‌کننده، جبران‌کننده، کندکننده و غیره در پیرامون آشکارساز اضافه‌شده تا تغییری در تابع پاسخ آشکارساز داده شود. در روش‌های نرم‌افزاری نیز فرآیندهای داده‌برداری و پردازش آن‌ها مانند بازیابی، پیچش، واپیچش و غیره استفاده می‌شود، تا خروجی مناسب برای دزیمتری حاصل گردد [۱-٤].

در برخی دزیمترها به دلایل مختلف، امکان استفاده کافی از لایه‌هایی مانند تعدیل‌کننده و جبران‌کننده انرژی وجود نداشته و در نتیجه پاسخ دزیمتری تابش گاما در بازه گسترده انرژی، با خطای نسبتا زیادی همراه است. از این رو با استفاده از یک عامل نرم‌افزاری می‌توان پاسخ دزیمتری را در انرژی‌های دلخواه بهینه کرد و دقت در اندازه‌گیری دز را افزایش داد [۵].

در این مقاله، روش داده‌برداری گزینشی مبتنی بر روش دزیمتری نرم‌افزاری ارائه شده است. هدف این روش، دست‌یابی به پاسخ دزیمتری فوتون در انرژی‌های مختلف است. این روش برای یک آشکارساز یدورسدیم، پیاده‌سازی شده است و محاسبات نشان می‌دهد که مقدار معادل دز تابش گاما در انرژی‌های ۰/٤۱۱ تا ۳ مگاالکترون‌ولت با دقت بالایی تعیین می‌شود.

۲. روش کار

۱،۲. روش تعیین دز

پرتوهای گاما وارد حجم حساس آشکارساز شده و از طریق برخورد با الکترون‌ها در آشکارساز انرژی خود را به الکترون‌ها واگذار می‌نمایند. الکترون‌ها با ترابرد در حجم حساس آشکارساز انرژی یا بخشی از انرژی خود را ذخیره می‌کنند. در نتیجه جمع‌آوری این الکترون‌ها، پالس‌های الکتریکی تولید شده و در سیستم الکترونیک هسته‌ای ثبت و پردازش می‌شوند.

به طور معمول، برای دزیمتری فوتون‌ها از تابع (ضرایب) تبدیل شار به معادل دز استفاده می‌شود. هر چند تابع تبدیل شار به معادل دز تابع انرژی بوده، ولی برای دزیمتری به طور معمول انرژی تابش تعیین نمی‌گردد، بلکه در قسمت‌های سخت‌افزاری و یا نرم‌افزاری فرآیند آشکارسازی و دزیمتری طوری عمل می‌کنند که یک ارتباط خطی بین آهنگ شمارش آشکارساز و آهنگ معادل دز تابش برقرار شود [٦].

برای اندازه‌گیری معادل دز گاما با استفاده از یک آشکارساز می‌بایست فرآیند ایجاد پاسخ دزیمتری گاما در کل بازه انرژی انجام گیرد. روش به کار رفته برای دست‌یابی به معادل دز گاما براساس داده‌برداری گزینشی از خروجی آشکارساز براساس ارتفاع پالس‌های تولید شده است. در این روش، صرفاً تمام پالس‌های تولید شده در آشکارساز شمارش نمی‌شوند، بلکه در چند ناحیه خاصی از انرژی که تابع توزیع انرژی واگذار شده از الکترون‌ها قابل توجه است، شمارش انجام می‌گیرد. در فرآیند آشکارسازی و داده‌برداری، یک حد پایین برای حذف پالس‌های نوفه قرار داده شده و شمارش‌های واقع در بازه‌های انرژی برای پاسخ گاما منظور می‌گردد [۵].

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from rsm.kashanu.ac.ir at 12:59 +0330 on Wednesday December 9th 2020

۲،۲. ارتباط خروجی آشکارساز به دز

در یک دزیمتر ایده‌آل تابع پاسخ آشکارساز (R) مساوی یا متناسب با تابع تبدیل شار به معادل دز (K) است (R=αK). همچنین حاصل ضرب شار تابش در تابع تبدیل شار به معادل دز مقدار معادل دز را نشان می‌دهد [٦]:

$$DE = \int \Phi(E)K(E)dE \qquad (۱)$$

رابطه فوق را می‌توان به شکل ماتریس بازنویسی کرد:

$$DE = \Phi K \qquad (۲)$$

که DE مقدار معادل دز، Φ شار تابش و K تابع تبدیل شار به معادل دز است. همچنین خروجی آشکارساز به صورت حاصل‌ضرب شار و تابع پاسخ آشکارساز تعیین می‌شود:

$$M = \Phi R \qquad (۳)$$

با استفاده تناسب (R=αK) و از رابطه (۲) ، خروجی آشکارساز متناسب با معادل دز می‌گردد.

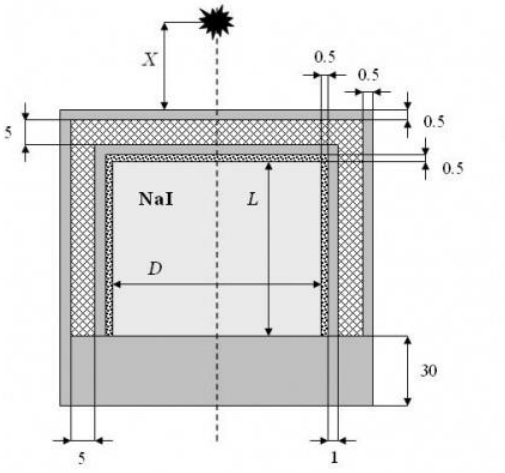
$$M = \Phi R = \Phi \alpha K = \alpha DE \qquad (٤)$$

با توجه به رابطه فوق معادل دز از روی مقادیر بدست آمده از خروجی آشکارساز تعیین می‌گردد.

۳. محاسبات

۱،۳. شبیه‌سازی آشکارساز

پرتوهای گامای فرودی وارد حجم حساس آشکارساز شده و با ماده آشکارساز یدورسدیم برهم‌کنش می‌نمایند. الکترون‌های ثانویه‌ی ناشی از اثرات فوتوالکتریک، کامپتون و تولید زوج، انرژی تابش گامای فرودی را حمل می‌کنند[۱]. الکترون‌های تولید شده بخشی از انرژی خود را در حجم حساس آشکارساز از دست می‌دهند، که این انرژی ذخیره شده متناسب با ارتفاع پالس است. در این مقاله، دزیمتری فوتون بر پایه‌ی آنالیز پالس‌های الکترون ثانویه‌ی آشکارساز انجام شده است. برای شبیه سازی مسئله، یک آشکارساز NaI(Tl) "۳×"۳ به کار گرفته شده است. طرح‌واره هندسه شبیه‌سازی شده در شکل۱ نشان داده شده است.



شکل (۱): طرح‌واره ساختار درونی آشکارساز "۳×"۳ NaI(Tl).

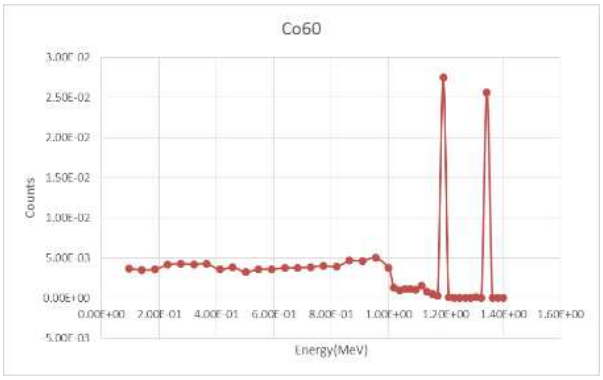
بلور NaI (با چگالی ۳/٦٦۷ g/cm^3) توسط عناصر استاندارد ثابتی احاطه شده است، که این عناصر عبارتند از: Al با ضخامت ۰/۵ mm به عنوان درپوش پایانی آشکارساز (با چگالی ۲/۷ g/cm^3)، بسته‌بندی بلور ساخته شده از فوم پلاستیکی به ضخامت ۵ mm (با چگالی ۰/۲ g/cm^3)، Al با ضخامت ۱ mm به عنوان پوشش بلور، MgO با ضخامت ۰/۵ mm به عنوان منعکس‌کننده (با چگالی ۲ g/cm^3) در نظر گرفته شده است [۷].

این آشکارساز در معرض تابش پرتوهای فوتونی با انرژی ۰/٤۱۱ تا ۳ مگاالکترون ولت قرار گرفته است. راستای تابش باریکه‌ی فوتون عمود بر سطح آشکارساز است. با استفاده از تالی F8 کد MCNPX پالس‌های تولید شده در آشکارساز جمع آوری شده و توزیع آنها براساس ارتفاع پالس (انرژی ذخیره شده) تعیین شده است [۸]. برای نمونه طیف ارتفاع پالس برای چشمه ی ^{٦۰}Co در شکل۲ نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from rsm.kashanu.ac.ir at 12:59 +0330 on Wednesday December 9th 2020



شکل (۲): طیف ارتفاع پالس چشمه‌ی ^{60}Co آشکارساز یدور سدیم.

۲،۳. محاسبه دز

روش به کار رفته برای دست‌یابی به معادل دز فوتون بر اساس داده‌برداری گزینشی از خروجی آشکارساز با توجه به ارتفاع پالس‌های تولید شده است. شمارش در نواحی خاصی از انرژی که تابع توزیع انرژی ذخیره شده از الکترون ها در آشکارساز مقدار بیشتری دارند، انجام می‌گیرد. برای چشمه‌های فوتون با انرژی ۰/٤۱۱ تا ۳ مگاالکترون ولت، پالس‌های مربوط به سه بازه‌ی انرژی کامپتون، فوتوپیک و کل طیف ارتفاع پالس، جمع‌آوری شده و شمارش آن‌ها به عنوان پاسخ آشکارساز در نظر گرفته شده است. حاصل‌ضرب این شمارش‌ها در کانال انرژی مشخص شده (N_i) در یک ضریب ثابت کالیبراسیون (C_i) مقدار معادل دز تابشی (H_i) خواهد شد.

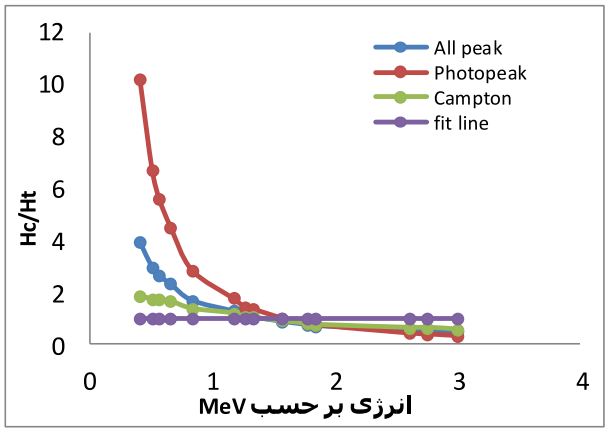
$$H_c = N_i \times C_i \qquad (۵)$$

همان‌طور که بیان شد، حاصل‌ضرب شار تابش در تابع تبدیل شار به معادل دز، مقدار معادل دز را نشان می‌دهد، یعنی $H(10)=\phi K$ با داشتن ضرایب تبدیل شار به معادل دز از ICRP 116، و شار می‌توان مقدار معادل دز میدان تابش حاصل از چشمه‌های گاما‌زا (H_t (۱۰)) را برای انرژی‌های مختلف تابش گاما بدست آورد.

۴. نتایج

با داشتن مقادیر معادل دز و تعداد پالس‌های ثبت‌شده می‌توان ضرایب C_i را برای انرژی‌های مختلف فوتون محاسبه نمود. ضرایب C_i برای فوتون‌هایی با انرژی‌های در محدوده‌ی ۰/٤ تا ۳ مگاالکترون‌ولت یکسان نبوده و تا حدودی تغییر می‌کنند. در نهایت از یک مقدار یکسان C به جای تمام ضرایب C_i استفاده می‌گردد. بدین منظور مقدار بهینه ضریب ثابت طوری تعیین می‌گردد که مقدار دز در بازه انرژی مورد نظر کمترین خطا را داشته باشد.

با رسم نمودار H_c/H_t برحسب انرژی‌های مختلف فوتون فرودی، شکل۳، که (H_c (۱۰)) مقدار معادل دز فردی بدست آمده با استفاده از ضرایب C محاسبه شده است و (H_t(۱۰)) مقدار معادل دز فردی صحیح طبق استاندارد ICRP74 می‌باشد، می توان مشاهده نمود، جواب‌های بدست آمده به جز در انرژی‌های ابتدایی، قابل قبول بوده است. میزان خطای مقادیر دز محاسبه‌شده در انرژی ۱ مگاالکترون‌ولت به بالا کمتر است و پاسخ انرژی آشکارساز تا حد مطلوبی برای دزیمتری تابش گاما بهینه شده است.



شکل (۳): نمودار H_c/H_t مربوط به سه کانال انرژی فوتوپیک، کامپتون و کل طیف برای چشمه های مختلف فوتون.

در شکل۳، داده‌برداری از خروجی آشکارساز محدود به یک بازه انرژی بود. با توجه به بازه‌ی انرژی نسبتاً زیاد فوتون‌های فرودی و وجود یک ضریب کالیبراسیون، امکان

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from rsm.kashanu.ac.ir at 12:59 +0330 on Wednesday December 9th 2020

کاهش انحراف در پاسخ دزیمتری محدود است. برای رفع این محدودیت دزیمتری، ضرایب کالیبراسیون افزایش داده می‌شوند. بدین صورت که داده‌برداری در بیش از یک کانال انرژی انجام می‌گیرد و پاسخ دزیمتری فوتون در انرژی‌های مختلف بهبود می‌یابد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی و طیف توزیع ارتفاع پالس، برای دزیمتری فوتون، چند کانال انرژی برابر ($m = 0, 1, 2, 3, \ldots$) انتخاب شده است که m نشان دهنده‌ی تعداد بازه‌های انرژی است. به‌عبارتی، برای کانال انرژی $m = 0$ تعداد کل پالس‌های بیش از آستانه ی MeV ۰/۱ به عنوان تابع پاسخ آشکارساز در نظر گرفته می‌شوند. در این صورت معادل دز مربوط به این کانال انرژی برابر است با:

$$H_0(10) = C_0 N_0 \qquad (۶)$$

برای کانال انرژی $m = 1$ یک ناحیه ی انرژی در نظر گرفته شده است و معادل دز برابر است با:

$$H_1(10) = C_1 N_1 \qquad (۷)$$

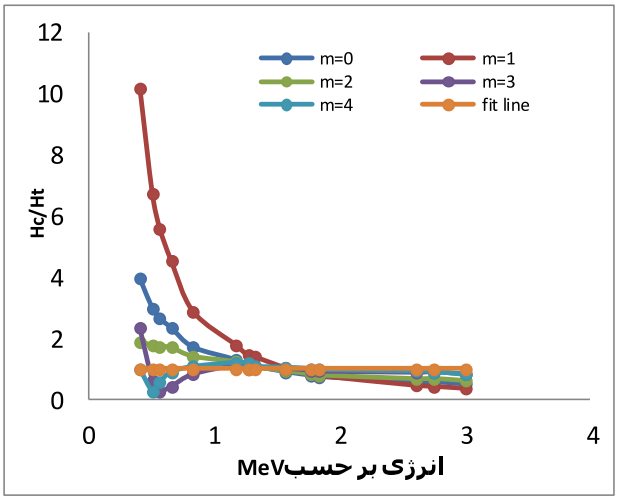
برای کانال انرژی $m = 2$ ، دو بازه ی انرژی در نظر گرفته شده است و معادل دز برابر است با:

$$H_2(10) = C_1 N_1 + C_2 N_2 \qquad (۸)$$

در آخر برای کانال انرژی $m = i$ ، i ناحیه‌ی انرژی در نظر گرفته می‌شود که همچنین مقدار معادل دز برای i ناحیه‌ی انرژی از معادله ی زیر محاسبه می گردد:

$$H_m(10) = \sum_i^m C_i N_i \qquad (۹)$$

سپس با استفاده از ضرایب C_i محاسبه شده مربوط به m کانال انرژی، مقادیر معادل دز (H_c (۱۰)) برای چشمه‌های فوتون با انرژی ۰/٤ تا ۳ مگاالکترون ولت، محاسبه شده‌اند و با مقادیر حقیقی (H_t (۱۰)) مقایسه شده و نمودار H_c/H_t بر حسب انرژی‌های مختلف فوتون در شکل ٤ رسم شده است.



شکل (۴): پاسخ انرژی آشکارساز یدورسدیم برای دزیمتری فوتون با چندین کانال انرژی.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله نشان داده شد که با استفاده از روش داده‌برداری گزینشی و داده‌های خروجی آشکارساز می‌توان معادل دز فوتون در انرژی‌های مختلف را تعیین نمود.

همچنین دزیمتری فوتون در بازه بلند انرژی با خطای نسبتا زیادی همراه است. برای کاهش خطا در انرژی‌های مختلف می‌توان بازه‌ی انرژی میدان تابش را محدود کرد. کانال‌های انتخاب‌شده، از طیف ارتفاع پالس آشکارساز یدور سدیم نواحی خاصی از انرژی است که در آن‌ها تعداد شمارش یا به‌عبارت‌دیگر توزیع ارتفاع پالس بیش‌ترین مقدار را دارد. با انتخاب بازه‌های خاصی از انرژی و افزایش تعداد ضرایب کالیبراسیون می‌توان معادل دز فوتون را با دقت بالاتری اندازه‌گیری نمود.

با افزایش تعداد کانال‌های انرژی، تعداد گروه‌های شمارش پالس‌ها بیش‌تر می‌شود و به همین نسبت تعداد ضرایب کالیبراسیون (C_i) بیش‌تر می‌شود و این امکان را فراهم می‌نماید که دقت دزیمتری افزایش چشم‌گیری پیدا کند.

www.SID.ir

Archive of SID

۶. مراجع

[1] G.F. Knoll. Radiation metection and measurement. John Wiley Press, USA, (2010).

[2] Green, R.A. Price. Energy and angular anisotropy optimization of p- type diode for in vivo dosimetry in photon beam radiotherapy. Radiat. Prot. Dosim. 116 (2005) 152–159.

[3] R.H. Olsher, Y. Eisen. A filter technique for optimizing the photon energy response of a silicon pin diode dosemeter. Radiat. Prot. Dosim. 67 (1996) 271-279.

[4] H. Dombrowski. Area Dose Rate Valuse Derived From NAI or $LaBr_3$ Spectra Radiat. Prot. Dosim. 67 (2014) 1-8.

[5] H. Zaki Dizaji. Energy response improvement for photon dosimetry using pulse analysis. Chin. Phys. C, 40 (2014) 2.

[6] ICRP 116, International Commission on Radiological Protec-tion, Annual International Commission on Radiological Pro-tection, 40 (2-5) (2010).

[7] Shi.Hu. Xia, Chen.BO. Xian, Li.Ti. Zhu, Di. Yun. Precise Monte Carlo Simulation of Gamma-ray Response Function for an NAI(TL) Detector. Appl. Radit. and Isotop. 10 (2002) 10-16.

[8] Monte Carlo N-particle transport code system for multiparticle and high energy applications.Version 2.4.0.LANL Report LA-CP-02-408. Los Alamos U.S.A (2002).

Downloaded from rsm.kashanu.ac.ir at 12:59 +0330 on Wednesday December 9th 2020

www.SID.ir