

بررسی میزان تغییرات pH در اثر تولید پروتون توسط رادن و دختران در آب با ابزار

شبیه‌سازی Geant4

INC29-1004

یاسین حیدری‌زاده، شراره بابامحمدی، محمدرضا رضایی*

گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی و فناوری پیشرفته، ۷۶۳۱۸۸۵۳۵۶، کرمان، ایران.

چکیده:

رادن یکی از گازهای رادیواکتیو است، که خصوصاً در آب چشمه‌های آب گرم وجود دارد. میزان رادن در آب، به مقدار $۲۰۰ - ۰ \text{ kBq/m}^3$ در ایران و جهان گزارش شده است. عناصر حاصل از واپاشی رادن Po^{214} و Po^{218} نیز همانند رادن آلفا می‌باشند. آلفا ساطع شده از آن‌ها به ترتیب داری انرژی‌های ۵،۴۹، ۶ و ۷،۶۹ در واحد MeV می‌باشد. pH آب رابطه مستقیمی با میزان پروتون‌های موجود در آن دارد، به علت حضور رادن در آب و برهم‌کنش آلفا با هسته‌های هیدروژن و اکسیژن امکان تولید پروتون و ذرات باردار دیگر وجود دارد. در این تحقیق سعی شده است احتمال تولید پروتون در اثر یک واپاشی رادن و دختران آن با استفاده از ابزار Geant4 محاسبه شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که رابطه بین تغییرات pH نسبت به غلظت رادن به صورت $\Delta pH = 0.0017C$ می‌باشد. حضور رادن در آب به علت افزایش مقدار pH باعث افزایش خاصیت بازی شده که اثری مثبت است.

کلیدواژه‌ها: اسپالیشن، رادن و دختران، آلفا، آب، pH، Geant4

Geant4 Simulation the Effect of Proton Production by Radon and Progeny Alpha Particles on pH. Level in Water

Yassin Heydarizade, Sharareh Babamohammadi, Mohammad Raza Rezaie*

Department of Nuclear Engineering, Faculty of Sciences and Modern Technologies, Graduate University of Advanced Technology, ۷۶۳۱۸۸۵۳۵۶, Kerman, Iran

Abstract:

The pH of water has a direct relevance with the number of protons in it. Due to alpha interaction of Radon in water with hydrogen and oxygen nuclei, it is possible to produce protons and other charged particles. In this research, first it has been tried to calculate the probability of proton production due to alpha interaction of Radon and progeny with water using Geant4 toolkit. Then using proton production probability was tried to obtain the amount of proton production by 1 kBq/m^3 radon concentration in water. Finally using practical results, the relation between Radon concentration and pH value is extracted. The results of simulation and practical test show that the relation between pH changes and Radon concentration is $\Delta pH = 0.0017C$. There is more than 99% agreement between the formulation and practical results. The presence of Radon in water increases the base property due to the increase in pH value, which is a positive effect on human health.

Keywords: Spallation, Radon and progeny, Alpha, pH, Water, Geant4.

۱. مقدمه

رادن یکی از گازهای رادیواکتیو است، که خصوصاً در چشمه‌های آب گرم وجود دارد [۱]. میزان رادن در آب به مقدار $0 - 200 \text{ kBq}/m^3$ در ایران و جهان گزارش شده است [۲]. رادن دارای دو دختر ^{218}Po و ^{214}Po می‌باشد، که آن‌ها نیز همانند رادن آلفا هستند [۳]. ضریب تعادلی بین رادن و دختران آن به صورت ۰,۳، ۰,۷، ۱ و می‌باشد [۴]. آلفا ساطع شده از آن‌ها به ترتیب دارای انرژی‌های ۵,۴۹، ۶ و ۷,۶۹ MeV برحسب می‌باشد [۵]. با فرض آن که آلفا در محیط آب به علت زیاد بودن توان ایستاندگی آن متوقف می‌شود و ذرات آب را یونیزه می‌کند، امکان برهمکنش آن‌ها با هسته‌های هیدروژن و اکسیژن آب نیز وجود دارد، این برهمکنش ممکن است منجر به تولید پروتون و ذرات هسته‌ای دیگری شود. در این مقاله سعی می‌شود که با استفاده از ابزار Geant4، امکان تولید پروتون و ذرات دیگر در اثر برهمکنش آلفای رادن و دختران آن با هسته‌های اکسیژن و هیدروژن بررسی شود. شبیه‌سازی به روش مونت کارلو (Monte Carlo)، یک روش دقیق برای تأیید نتایج، توسعه و بهینه‌سازی یک نمونه آزمایش است. کد Geant4 (برگرفته از *Geometry and Tracking*)، یک ابزار شبیه‌سازی به روش مونت کارلو است که به زبان برنامه‌نویسی C++ نوشته شده و بر مبنای تراپرد انواع ذرات در محیط است [۶]. در نهایت سعی می‌شود که با استفاده از نتایج شبیه‌سازی رابطه‌ای بین از غلظت میزان پروتون‌ها و مقدار pH آن استخراج شود [۷]، روش این کار در ادامه شرح داده می‌شود.

۲. روش کار

برای محاسبه احتمال تولید پروتون و ذرات ثانویه دیگر در اثر برهمکنش آلفا با اجزای آب جهت بررسی میزان پروتون‌های تولیدشده در آب در اثر ذرات آلفای رادن و دختران آن از ابزار Geant4 استفاده شده است. هندسه موردنظر در شبیه‌سازی یک فانتوم آب به ابعاد $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$ است. بر روی آن ذرات آلفا انرژی‌های ۵,۴۹، ۶ و ۷,۶۹ MeV به ترتیب مربوط به آلفای رادن، ^{218}Po و ^{214}Po تابیده می‌شود. در پوشه *include* و *src* از کتابخانه *Detector Construction* برای ساختن هندسه موردنظر استفاده شده است که یک فانتوم از جنس آب و به ابعاد $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$ تعریف شده است، جهت تعریف چشمه از کتابخانه *Primary Detector Construction* و از دستور `G4ParticleTable::GetParticle()->FindParticle("alpha");` برای تعریف چشمه آلفا و انرژی‌های آن استفاده شده است. همچنین برای محاسبه طیف ذرات تولیدشده از تابع *BeginOfRunAction* در کلاس *RunAction* بهره برده شده است، و نیز برای نمایش ذرات تولیدشده از تابع *UserSteppingAction* در کلاس *SteppingAction* استفاده شده است. تعداد ذرات پرتابی چشمه را 10^8 ذره در نظر گرفته تا احتمال خطا به زیر ۱٪ کاهش یابد. با محاسبه ذرات ثانویه تولیدشده از تابش اولیه 10^8 ذره، می‌توان احتمال تولید پروتون و ذرات ثانویه دیگر ناشی از یک ذره آلفا و یا واپاشی یک رادن در آب را به دست آورد. شبیه‌سازی Geant4 با یک لپ‌تاپ دارای پردازنده Corei5 چهار هسته‌ای با رم ۴ گیگابایتی انجام شده است. جدول ۱ نتایج حاصل از میزان عناصر تولیدشده در اثر تابش ذرات آلفا با انرژی‌های ۵,۴۹، ۶ و ۷,۶۹ MeV که به آب تابیده شده است را در شبیه‌سازی با ابزار Geant4 نشان می‌دهد.

جدول ۱: میزان عناصر تولیدشده در اثر تابش ذرات آلفا با انرژی‌های ۵,۴۹، ۶ و ۷,۶۹ MeV که به آب تابیده شده است در

شبیه‌سازی با Geant4 را نشان می‌دهد.

E _{alpha} (MeV)	Particles produced										
	¹⁶ O	¹⁷ O	¹⁸ O	²¹ Ne	²² Ne	deuteron	e-	e+	gamma	neutron	proton
5.49	4609	1	2			2					14219
6	6613	1	12		1	1	9		9		16229

7.69 13445 3 33 6 3 5 147 1 31 3 24641

با توجه به جدول ۱ میزان پروتون‌های تولیدشده برای حالت‌های مختلف به صورت زیر است:

جدول ۲: میزان تولید کل پروتون‌ها بر اساس مقادیر شبیه‌سازی شده

$E_{\alpha}(\text{MeV})$	Number of protons	Balance factor	Number of effective protons	Probability of production
5.49	14219	1	14219	1.42×10^{-4}
6	16229	0.7	11360	1.13×10^{-4}
7.69	24641	0.3	7392	7.39×10^{-5}
Total number of protons:			33071	3.31×10^{-4}

احتمال تولید پروتون به ازای یک واپاشی رادن و دختران برابر 3.31×10^{-4} است. اگر غلظت رادن در آب برابر

$1 \text{ kBq}/m^3$ باشد، میزان اکتیویته رادن در 50 cm^3 آب موجود در ظرف آزمایش برابر است با:

$$C = \frac{A}{V} \Rightarrow A_1 = CV = 1 \times \frac{10^3 \text{ Bq}}{10^6 \text{ cm}^3} \times 60 \text{ cm}^3 \Rightarrow A_1 = 6 \times 10^{-3} \text{ Bq} \quad (1)$$

در نتیجه مقدار پروتون تولیدشده در واحد زمان به ازای $1 \text{ kBq}/m^3$ رادن در ظرف آزمایش برابر است با:

$$N = A_1 P = 6 \times 10^{-3} \text{ */sec} \times 3.3 \times 10^{-4} = 19.8 \times 10^{-6} = 19.8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s.kBq} \quad (2)$$

اگر C غلظت رادن و t زمان آزمایش باشد، مقدار پروتون‌های تولیدشده در این بازه زمانی برابر هستند با:

$$N = A_1 P C t = 19.8 \times 10^{-5} C (1 - e^{-\alpha_1 t}) \alpha_2 \quad (3)$$

تغییرات pH متناسب با مقدار پروتون‌ها در آب است.

$$\Delta pH \propto N \Rightarrow \Delta pH = \lambda N \quad (4)$$

طبق رابطه 3 مقدار N نیز به غلظت رادن و زمان اندازه‌گیری بستگی دارد.

$$N = A_1 P C t = 19.8 \times 10^{-5} C (1 - e^{-\alpha_1 t}) \alpha_2 \Rightarrow \Delta pH = 19.8 \times 10^{-5} \lambda C (1 - e^{-\alpha_1 t}) \alpha_2 \quad (5)$$

در صورتی که بازه زمانی اندازه‌گیری زیاد باشد، مقدار pH به حد اشباع خود می‌رسند. و در نتیجه در حالت اشتباه داریم:

$$\Delta pH = 19.8 \times 10^{-5} \lambda C \alpha_2 (1) \quad (6)$$

اگر $\beta = \lambda \alpha_2$ باشد در نتیجه:

$$\Delta pH = 19.8 \times 10^{-5} \beta C \quad (7)$$

رابطه فوق نسبت pH را بر حسب C نشان می‌دهد و شیب نمودار برابر $19.8 \times 10^{-5} \beta$ خواهد بود.

$$19.8 \times 10^{-5} \beta = \frac{8.77 - 8.53}{150 - 0} = 0.0016 \quad (8)$$

که در آن مقدار β برابر است با:

$$\beta = \frac{0.0016}{19.8 \times 10^{-5}} = 0.00081 \times 10^5 = 81 \text{ m}^3/\text{kBq} \quad (9)$$

در نتیجه طبق نتایج شبیه‌سازی رابطه بین ΔpH و غلظت رادن به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\Delta pH = 19.8 \times 10^{-5} \times 81 C = 0.0017 C \quad (10)$$

۳. نتیجه‌گیری

در اثر تابش آلفای رادن و دختران آن در آب طیف گسترده‌ای از ذرات ثانویه در آب تولید می‌شود که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. در این میان عناصر ^{16}O و ^{18}O با بیشترین مقدار تولید می‌شود. درصد تولید پروتون در اثر تابش ذرات آلفای رادن و دختران بالا است. احتمال تولید عناصر ^{21}Ne ، ^{22}Ne ، گاما، پوزیترون و نوترون بستگی به انرژی ذره آلفا دارد. برای آلفای ناشی از ^{218}Po با انرژی ۶ MeV احتمال تولید از ذرات ثانویه و پروتون‌ها بیشتر از آلفای رادن و ^{214}Po است. با استفاده از نتایج جدول ۲ که از نتایج شبیه‌سازی به‌دست آمده است، می‌توان رابطه بین pH و مقدار پروتون‌ها را محاسبه کرد. به علت ضریب تعادلی بین رادن و دختران میزان پروتون‌های تولیدشده در غلظت $1 \text{ kBq}/\text{m}^3$ رادن در آب به‌دست آمده، که برابر 19.8×10^{-5} می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که روابط بین تغییرات pH و غلظت رادن به‌صورت $\Delta \text{pH} = 0.0017C$ است. با توجه به این رابطه با افزایش غلظت رادن میزان pH آب نیز افزایش می‌یابد، و با افزایش pH، آب خاصیت بازی پیدا می‌کند، که برای سلامت انسان مفید است و آب یونیزه شده بهتر از آب معمولی برای مصارف آشامیدنی است. آب اسیدی و قلیایی را می‌توان با فرآیند یونیزاسیون تولید کرد. علت اصلی بیماری‌ها در بدن انسان اسیدیته بودن بدن انسان است، که می‌تواند توسط آب قلیایی خنثی شود. مصرف آب قلیایی یا اسیدی برای مدت طولانی برای سلامتی مفید نیستند، بنابراین می‌توان از آب قلیایی به دلایل پزشکی برای مصارف آشامیدنی استفاده نمود که برای کاهش علل زخم، سرطان و غیره مفید است [۱۲-۸]. بررسی انجام شده در این تحقیق نشان می‌دهد که حضور رادن در آب باعث افزایش خاصیت بازی آب می‌شود. از این روش برای تولید آب با pH حدود ۸٫۵ می‌توان استفاده کرد. وجود عناصر دیگر تولیدشده در آب نیز امکان تولید ^{16}O و ^{18}O و ^{21}Ne و ^{22}Ne و هسته دوترون در اثر تابش به ذرات آلفا و دختران آن وجود دارد.

۴. مراجع

- [1] Jalili-Majareshein, A., A. Behtash, and D. Rezaei-Ochbelagh. "Radon concentration in hot springs of the touristic city of Sarein and methods to reduce radon in water." *Radiation Physics and Chemistry* 81.7 (2012): 749-757.
- [2] Ngansom, Wipada, et al. "Hydrogeological environments and radon activities of saline geothermal hot spring sites located along eastern and Western coastlines of southern Thailand." *Journal of Contaminant Hydrology* (2022): 104105.
- [3] Adelikhah, Mohammadamad, et al. "Radiological assessment of indoor radon and thoron concentrations and indoor radon map of dwellings in Mashhad, Iran." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18.1 (2021): 141.
- [4] George, Andreas C. "An overview of instrumentation for measuring environmental radon and radon progeny." *IEEE Transactions on Nuclear Science* 37.2 (1990): 892-901.
- [5] Nikezic, D., and K. N. Yu. "Incidence characteristics of alpha particles on detectors irradiated in a radon+ progeny atmosphere." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 187.4 (2002): 492-498.
- [6] Hagmann, Chris, David Lange, and Douglas Wright. "Cosmic-ray shower generator (CRY) for Monte Carlo transport codes." 2007 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record. Vol. 2. IEEE, 2007.
- [7] Si, Wen, et al. "Selective artificial transmembrane channels for protons by formation of water wires." *Angewandte Chemie International Edition* 50.52 (2011): 12564-12568.
- [8] Zalvan, C. H., Hu, S., Greenberg, B., & Geliebter, J. (2017). A comparison of alkaline water and Mediterranean diet vs proton pump inhibition for treatment of laryngopharyngeal reflux. *JAMA Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 143(10), 1023-1029.
- [9] Mousa, H. A. L. (2016). Health Effects of Alkaline Diet and Water, Reduction of Digestive-tract Bacterial Load, and Earthing. *Alternative Therapies in Health & Medicine*, 22.



- [10] Koufman, J. A., & Johnston, N. (2012). Potential benefits of pH 8.8 alkaline drinking water as an adjunct in the treatment of reflux disease. *Annals of Otolaryngology & Laryngology*, 121(7), 431-434.
- [11] Magro, M., Corain, L., Ferro, S., Baratella, D., Bonaiuto, E., Terzo, M., ... & Vianello, F. (2016). Alkaline water and longevity: a murine study. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016.
- [12] Lal, S., Kakodia, A. K., & Verma, S. K. (2022). Alkaline Water and Human Health: Significant Hypothesize. *Journal of Applied Science and Education (JASE)*, 2(2), 1-11