

۱۶ و ۱۷ شهریور ماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

تعیین حدود دور ریزی پسماند مایع راکتور تحقیقاتی تهران برای تخلیه روزمره با استفاده از نرم افزار AMBER

عادلای خواه، محمد عماد^{۱*}؛ طاهریان، امیر مسعود^۲؛ مالکی فارسانی، علی^۲؛ شیرانی، امیر سعید^۱؛

^۱دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته ای

^۲شرکت پسمانداری صنعت هسته ای ایران، معاونت تولید مواد اولیه سوخت هسته ای

چکیده

مواد رادیواکتیو یکی از انواع آلاینده های زیست محیطی می باشند که امروزه با توجه به رشد روزافزون نیروگاه های تحقیقاتی هسته ای مورد توجه قرار گرفته اند. در این مقاله، پسماند مایع راکتور تحقیقاتی تهران به عنوان مایع تخلیه شده در سیستم فاضلاب در نظر گرفته شده و سپس مقدار مایع تخلیه شده به محیط زیست با مقادیر مختلف ضریب توزیع (به عنوان پارامتر مهم در شبیه سازی) برای تعیین دوز موثر سالانه در فرد نماینده با استفاده از نرم افزار AMBER مدل سازی و تعیین شده است. نتایج نشان داد که میتوان پسماند مایع را با اکتیویته بالاتری که توسط گزارش زیست محیطی راکتور آورده شده تخلیه کرد؛ بطوریکه از حد مجاز دوز دریافتی مردم که $10 \mu\text{Svyr}^{-1}$ است و توسط INRA تصویب شده، تجاوز نکنیم.

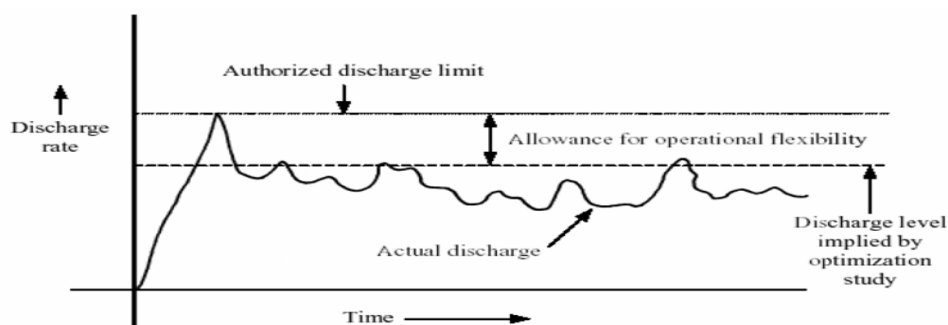
کلید واژه: حدود دور ریزی، پسماند مایع رادیواکتیو، راکتور تحقیقاتی تهران، نرم افزار AMBER

مقدمه

راکتورها در ابتدا به علت مشکلات مربوط به دفن پسماندهای هسته ای، عوارض ناشی از تشعشعات هسته ای و... در مکانهای دور از مردم ساخته شدند ولی با توجه به توسعه علم و فناوری برخی از آنها از قبیل راکتورهای تحقیقاتی در داخل شهرها واقع شدند که از جمله آنها راکتور تحقیقاتی تهران می باشد. حال این تاسیسات هسته ای دارای پساب مایع بوده که ناشی از فعالیت راکتور و آزمایشگاه ها است که پس از رسیدن به میزان قابل دور ریزی وارد چاه های جذبی می شوند. این چاه ها در بررسی آلودگی ناشی از تخلیه پسماندها و مایعات پرتوزا در داخل زمین اولین آثار آلودگی را بروز می دهند. این امر موجب ورود پساب به آبهای زیرزمینی و مصرف توسط انسان و حیوانات و دیگر موجودات زنده می شود. در طی دو دهه اخیر سازمان انرژی اتمی (IAEA) تحقیقاتی را در مورد حدود دور ریزی پسماند مایع و گازی رادیواکتیو به محیط زیست انجام داده و بصورت راهنما و سند منتشر کرده است [1,2]. همچنین Environment Agency در سال ۲۰۱۲ راهنما و معیاری برای دور ریزی پسماندهای رادیواکتیو مایع و گازی به محیط زیست در انگلستان وولز منتشر

۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

کرد [3,4]. براساس این اسناد رابطه بین حدود دورریزی بهینه شده و مجاز در شکل ۱ نشان داده شده است. علاوه بر این مطالعه آبهای زیر زمینی از دو نقطه نظر صورت می گیرد: نقطه نظر علم مهندسی آبهای زیرزمینی و نقطه نظر علم هیدروژئولوژی. قسمت اول مبتنی بر محاسبات ریاضی و فیزیک و مکانیک سیالات و قسمت دوم مبتنی بر مشاهده، تحقیق و استنباط در شرایط طبیعی می باشد. بطور کلی استفاده از مدل سازی جریان و انتقال آبهای زیرزمینی روشی را میسر ساخته است تا غلظت رادیونوکلئیدهای مورد انتظار و تحت نظر که به محیط زیست رها می شوند را محاسبه کنیم [5].



شکل ۱- رابطه بین نرخ دورریزی بهینه شده و مجاز

روش کار

راکتور تحقیقاتی تهران (TRR) راکتوری ۵ مگاواتی از نوع استخری بوده که توسط شرکتی آمریکایی در سال ۱۹۶۰ طراحی و ساخته شده است. منطقه بحرانی در حدود 10 km^2 می باشد. سازمان انرژی اتمی متشکل از سازندگان هزاردره آبرفتی (سری A) و شمال تهران سازندگان آبرفتی ناهمگن (سری B) می باشد. ساختار متراکم آبرفتیهای سری A و B و نفوذپذیری کم آنها به عنوان یک مانع طبیعی عمل کرده و مانع ورود آبهای زیرزمینی منطقه بالادست به محدوده سازمان انرژی اتمی میشود [6]. اطلاعات زمین شناسی و هیدروژئولوژی منطقه در جدول ۱ آورده شده است؛ در صورتی که اطلاعات مورد نیاز در دسترس نباشد از مقادیر توصیه شده توسط IAEA استفاده شده است. پسمانده مایع تولید شده توسط تانکر به تاسیسات مدیریت پسماند مرکزی از TRR برای ذخیره سازی موقت و فرآیندهای مربوطه منتقل می شوند. منبع اصلی پسماند رادیواکتیو سطح پایین از TRR مربوط به آزمایشگاههای تحقیقاتی واقع در سازمان انرژی اتمی بوده و حجم این پسماندهای مایع حدود $350-400 \text{ m}^3/\text{yr}$ است. مهمترین این رادیونوکلئیدها در پسماندهای مایع در جدول ۲ داده شده است [7,8]. این پسماند تصفیه شده و سپس مایع تصفیه شده با اکتیویته زیر حد تخلیه در چاه های جذبی رها خواهد شد. جریان آب آلوده از طریق فاضلاب به دسته سنگ رهاسازی شده و رادیونوکلئیدها از طریق مسیرهای طبیعی توسط نفوذ و انتشار پراکنده خواهند شد. مایع تخلیه شده پس از جاری شدن از طریق منطقه اشباع به صفحه آبخوان تهران متصل می شود. کاربرد اصلی آب از آبخوان توسط آب آشامیدنی، استخر، آبیاری گیاهان (در پارک)، مراتع

۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

و محصولات می باشد.

جدول ۱- داده های زمین شناسی و هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

Parameters	Units	Unsaturated	Aquifer	Description
T	$m^2 day^{-1}$	3-1200	1200-1600	Transmissivity
B	m	100	250	Thickness of alluvial
K	myr^{-1}	$T/b*365$	$T/b*365$	Hydraulic conductivity
$grad H$	-	0.01	0.01	Hydraulic gradient
θ_w	-	0.048	0.32	Water filled porosity
ρ_b	kgm^{-3}	1990	2130	Bulk density of the medium

جدول ۲- غلظت رادیونوکلئیدها در پسماند مایع تخلیه شده در چاه های جذبی

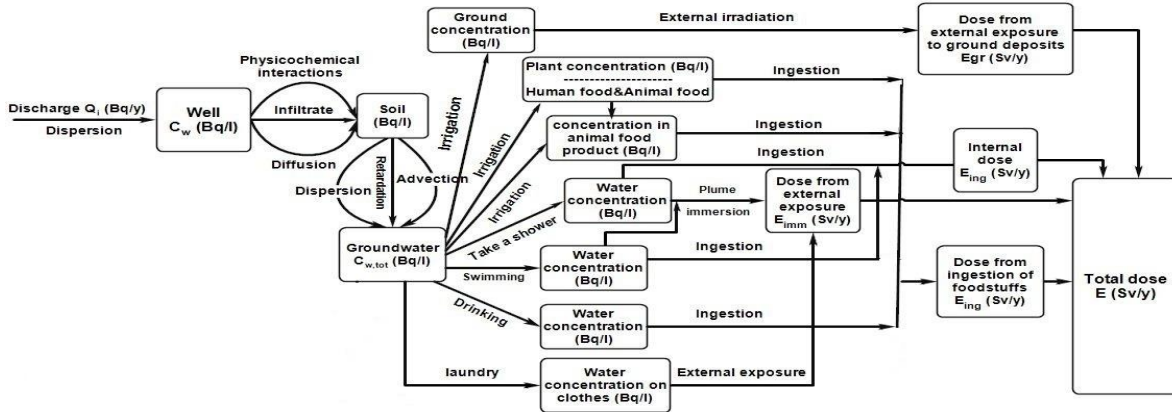
رادیونوکلئید	پسماند مایع (Bq/l)	رادیونوکلئید	پسماند مایع (Bq/l)	رادیونوکلئید	پسماند مایع (Bq/l)
H-3	11700	I-131	539	Ce-144	1810
C-14	1190	Mn-54	2590	Co-60	1060
Ag-110m	20500	Sr-90	239	Cs-134	1540
Ba-133	90	Nb-95	5100	Cs-137	5410
Ba-140	2840	Ru-103	861	Zn-65	24500
Ce-141	1710	Sb-124	5150	zr-95	5300
Cr-51	22000				

جهت حاکم بر جریان در ناحیه غیراشباع به سمت پایین است تا وقتی که جریان به ناحیه اشباع برسد و در داخل ناحیه اشباع جریان بطور برجسته افقی یا عرضی می باشد. گام فرمولاسیون و پیاده سازی مدل شامل گرفتن اطلاعات از محتوی ارزیابی، توصیف سیستم و مراحل توسعه سناریو برای کمک به تولید مدل‌های مفهومی از سیستم رهاسازی می باشد. مدل‌های مفهومی و فرآیندهای مرتبط، در مدل‌های ریاضی نشان داده شده و سپس در کدهای کامپیوتری اجرا می شوند. بنابراین برای انجام شبیه سازی ابتدا مدل مفهومی طراحی کردیم که در شکل ۲ نشان داده شده، این مدل به منظور برآورد حداکثر دز سالانه دریافت شده در طول دوره کاری یک تاسیسات طراحی شده است [9,10].

میزان جذب رادیونوکلئید در فاز جامد با استفاده از ضریب توزیع جامد و مایع K_d بیان و نسبت غلظت رادیونوکلئید جذب شده در فاز جامد به غلظت همان رادیونوکلئید در فاز مایع بوده و مقادیر آن در مراجع ۱۱ و ۱۲ موجود است. همچنین فاکتور انتقال (F_v)، برای جذب هر رادیونوکلئید از خاک به گیاه تعریف شده و مقادیر آن در مراجع ۱۱ و ۱۲ موجود است [11,12]. حیوانات نیز می توانند توسط رادیونوکلئیدها از سه مسیر پوست، تنفسی و بلعیدن آلوده شوند. مهمترین مسیر انتقال به حیوانات، مصرف خوراک و خاک آلوده می باشد. در مراجع ۱۱ و ۱۲ مقادیر انتقال برای شیر و گوشت گاو، گوسفند و بز به صورت جدول ارائه شده است. همچنین ضرایب دز مورد نیاز در محاسبه دز برای هر ۳ گروه سنی مورد

۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ آبان ماه یزد

نظر از مراجع ۱۳ و ۱۴ برداشت شده است [13,14].



شکل ۲- مدل مفهومی ارائه شده

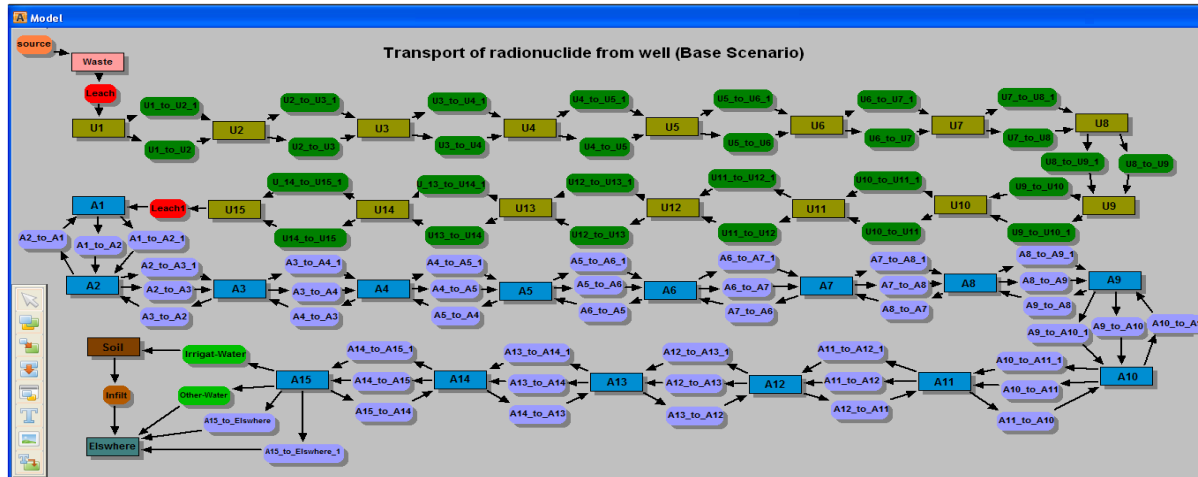
نتایج

برای پیاده سازی مدل مفهومی ارائه شده از کد AMBER استفاده گردید. AMBER یک حل کننده سریع و دقیق گام زمان و تبدیل لاپلاس و عددی بوده و گزینه های نمونه برداری مونت کارلو و Latin Hypercube دارد. برای قسمت i ام، که در آن میزان موجودی رادیونوکلیدها در یک قسمت که با گذشت زمان تغییر می کند توسط رابطه زیر ارائه می گردد [15]:

$$\frac{dN_i}{dt} = [\sum_{j \neq i} \lambda_{ji} N_j + \lambda_N M_i + S_i(t)] - [\sum_{j \neq i} \lambda_{ij} N_i + \lambda_N N_i]$$

که در آن i و j نشان دهنده کپه ها، N و M مقدار بکرل رادیونوکلیدهای N ام و M ام در یک قسمت، $S(t)$ یک چشمه خارجی وابسته به زمان رادیونوکلید N ام ($Bq yr^{-1}$)، λ_N ثابت واپاشی رادیونوکلید N ام و λ_{ij} و λ_{ji} ضرایب انتقال نشان دهنده افزایش و از دست دادن رادیونوکلید N ام از قسمت i و j می باشند (yr^{-1}). مدل پیاده شده در AMBER در شکل ۳ بیان شده است. قسمت های $U1$ تا $U15$ ناحیه غیراشباع و $A1$ تا $A15$ منطقه اشباع و قسمت های انتهایی نشان دهنده زیست کره محدوده مورد مطالعه می باشد.

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد



شکل ۳- مدل پیاده شده در AMBER

برای محاسبه حدود دورریزی، اکتیویته رادیونوکلیدها در پسماند مایع برابر مقادیری که در مراجع ۷ و ۸ آمده قرار داده شد؛ سپس براساس ۳ گزارش در ۳ تاریخ متفاوت که برای غلظت آب استخراج راکتور اخذ گردید، یک فاکتور مقایسه براساس غلظت Cs-137 بدست آورده شد که برابر است با ۱۲۸,۵۷. براساس این مقدار اکتیویته رادیونوکلیدها را افزایش دادیم تا زمانی که دز رسیده به عموم نزدیک به $10 \mu\text{Svyr}^{-1}$ شود که توسط INRA به تصویب رسیده است. از آنجاکه K_d بعنوان مهمترین فاکتور موثر در شبیه سازی بوده پس مقادیر دورریزی با توجه به تغییرات K_d از کم تا زیاد بدست آورده شد که این مقادیر در جدول ۳ آورده شده است؛ باید توجه داشت دز رسیده نباید از مقدار مجاز تصویب شده تجاوز کند. براساس جدول ۳ پسماند مایع می تواند با اکتیویته بالاتری از آنچه در مراجع آمده است، تخلیه گردد بطوریکه خطری سلامت مردم را تحدید کند. همانطور که مشاهده می شود هرچه مقادیر K_d کاهش یابد، میزان جذب رادیونوکلید و فرآیند تاخیر نیز کاهش می یابد؛ این امر منجر میشود که دز دریافتی افزایش یابد؛ پس میزان غلظت اکتیویته رها شده به محیط زیست افزایش می یابد.

جدول ۳- مقادیر دورریزی پسماند مایع با توجه به K_d های مختلف

Nuclide	Activity concentration (Bq/yr)			Nuclide	Activity concentration (Bq/yr)		
	(K_d)max	(K_d)mean	(K_d)min		(K_d)max	(K_d)mean	(K_d)min
H-3	3.68E+10	3.55E+10	2.06E+09	Cs-137	1.72E+10	1.63E+10	9.52E+08
C-14	3.73E+09	3.61E+09	2.09E+08	I-131	1.7E+09	1.64E+09	9.48E+07
Ag-110m	6.44E+10	6.23E+10	3.61E+09	Mn-54	8.14E+09	7.86E+09	4.56E+08
Ba-133	2.84E+08	2.73E+08	1.58E+07	Sr-90	7.51E+08	7.25E+08	4.2E+7
Ba-140	8.91E+09	8.61E+09	5.01E+08	Nb-95	1.61E+10	1.55E+10	8.98E+08

۵ و ۶ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

Ce-141	5.38E+09	5.19E+09	3.01E+08	Ru-103	2.71E+09	2.61E+09	1.52E+08
Ce-144	5.69E+09	5.49E+09	3.19E+08	Sb-124	1.62E+10	1.6E+10	9.06E+08
Co-60	3.33E+09	3.22E+09	1.87E+08	Zn-65	7.69E+10	7.43E+10	4.31E+09
Cs-134	4.84E+09	4.68E+09	2.71E+08	Zr-95	1.68E+10	1.61E+10	9.33E+08
				Cr-51	6.91E+10	6.67E+10	3.87E+09

مراجع

- [1] IAEA, 2000. Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment, Safety Standards Series No. WS-G-2.3, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [2] IAEA, 2010. Setting Authorized Limits for Radioactive Discharges: Practical Issues to Consider, IAEA-TECDOC-1638, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [3] Environment Agency guidance, 2012. Criteria for setting limits on the discharges of radioactive waste from nuclear sites, (no document number).
- [4] DECC (Department of Energy and Climate Change), 2009b. Statutory Guidance to the Environment Agency concerning the regulation of radioactive discharges into the environment, DECC, July 2009.
- [5] هیدرولیک جریان آب در محیطهای متخلخل (جلد دوم) مهندسی آبهای زیرزمینی، ابوالفضل شمسابی
- [6] Partoshenakht Co., 2003. Ground water study of North Karegar district in Tehran.
- [7] Internal Report: Safety Analysis Report for Tehran Research Reactor (TRR), vol. 1, January 2009, Tehran, Iran.
- [8] Report: Environmental Assessment for Tehran Research Reactor, 2009, TRREAR- 01/0.
- [9] Radiological Assessment (A Textbook on Environmental Dose Analysis), NUREG/CR-3332, U.S. Nuclear Regulatory Commission Washington, D.C.
- [10] IAEA, 1982. Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases: Exposures of Critical Groups, Safety Series No. 57, Vienna.
- [11] IAEA, 2010. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in terrestrial and freshwater environments, Technical Reports Series No. 472, Vienna.
- [12] IAEA, 2009. Quantification of Radionuclide Transfers in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments, IAEA-TECDOC-1616, Vienna.
- [13] International Commission On Radiological Protection, 1990 recommendations of The International Commission On Radiological Protection, Publication 60, Pergamon Press, Oxford And New York.
- [14] EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2011. Exposure Factors Handbook, EPA/600/R-09/052Fa (Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington, D.C).
- [15] Enviros and Quintessa, 2005. AMBER 4.7 release note. Version 1.0. May 2005, Enviros Consulting Ltd. Abingdon, UK.