

سیستم تبادل یونی جهت تصفیه آب استخر راکتور

اتمی دانشگاه تهران

نوشته :

مهدی صرام - استادیار مرکز اتمی دانشگاه جمشید مقیمی دانشیار مرکز اتمی دانشگاه
گروه تکنولوژی هسته‌ای دانشگاه تهران

چکیده

هسته مرکزی راکتور اتمی دانشگاه تهران در عمق ۸ متری استخری با ظرفیت ۵۰۰۰۰۰ لیتر قرار دارد برای پر کردن استخر از آب آشامیدنی تهران استفاده میشود. مقاومت الکتریکی آب پس از عبور از سیستم تبادل یونی از $2\text{ k}\Omega\text{cm}$ به حداقل $100\text{ k}\Omega\text{cm}$ افزایش مییابد. بدلائل زیر وجود سیستم تبادل یونی برای آب استخر راکتور لازم مییابد.

الف - تصفیه آب استخر راکتور موجب میگردد که غلظت یونهای Ca ، K ، Cl غیره که معمولا در آب وجود دارند کاهش یابد. آب تصفیه شده با سرعت ۲۲۰۰ گالن در دقیقه از مرکزی برای خنک کردن راکتور عبور داده میشود. مواد محلول در آب در هنگام عبور از هسته مرکزی در معرض تأثیر (یابباران) فلوی نوترونی به شدت $10^{13}\text{ n/cm}^2\text{sec}$ قرار گرفته و تبدیل به مواد راکتیو میشوند. بالا بودن غلظت ناخالصی آب موجب پیدایش مواد رادیواکتیو بیشتر و افزایش پرتوهای یونساز در سطح استخر راکتور میگردد. در صورتیکه آب شهردون تصفیه از هسته مرکزی راکتور عبور داده شود شدت رادیو-اکتیو در محیط راکتور بسیار زیاد بوده و سلامتی کارکنان راکتور را در معرض خطر قرار میدهند.

ب - میله‌های سوخت راکتور در پوششی از آلومینیم قرار دارند. بالا بودن مقاومت الکتریکی آب موجب میگردد که میزان خوردگی (Corrsion) و زنگ زدگی میله‌های سوخت و پوشش آن کاهش یابد.
ج - هرچه مقاومت الکتریکی آب بیشتر باشد میزان نفوذ اشعه گاما از سطح استخر کاهش مییابد.
در قوت ماکزیمم ۵۰۰ کیلووات میزان تولید تشعشع گاما در هسته مرکزی راکتور 10^4 R/hr است .

میزان اشعه گاما پس از عبور از ۸ متر آب تصفیه شده به حدود چند هزارم رنتگن در ساعت میرسد.

کلیات :

از راکتور بعنوان یکک چشمه نوترون و منبع تولید رادیوایزوتوپها استفاده میشود. استفاده از راکتور خود موجب آلودگی آب استخر میگردد زیرا نوترونهای موجود در هسته مرکزی راکتور در اثر واکنش های هسته ای یونهای مختلفی بوجود میاورند که همگی رادیواکتیو میباشند.

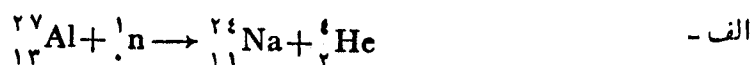
منابع آلودگی آب استخر راکتور عبارتند از :

الف : ناخالصی موجود در آب که پس از عبور از هسته مرکزی بصورت مواد رادیواکتیو در میآیند.

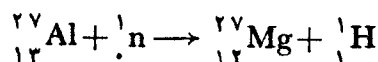
ب : واکنش های نوترون با عناصر متشکله راکتور که موجب پیدایش یونهای رادیواکتیو میگردد.

مهمترین این واکنشها بصورت زیر میباشد.

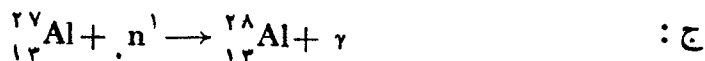
۱ - واکنش نوترون با آلومینیم



در این واکنش نوترونهای سریع هسته مرکزی راکتور (در قدرت کیلووات فلوی نوترون سریع هسته مرکزی حدود $10^{12} \text{n/Cm}^2\text{Sec}$ است) با آلومینیم موجود که در سوخت و مواد ساختمانی راکتور وجود دارد واکنش انجام داده و یون سدیم - ۲۴ تولید میشود. نیمه عمر سدیم - ۲۴ برابر ۱۵ ساعت بوده و انرژی اشعه گاما تولید شده بوسیله این یون 1.338MeV و 2.70MeV میباشد.



این واکنش از نوع (n,P) بوده و در واقع آلومینیم به منیزیم تبدیل میشود. نیمه عمر ${}^{27}\text{Mg}$ برابر ۹ دقیقه بوده و انرژی اشعه گاما تولید شده 0.84MeV و 1.01MeV میباشد.

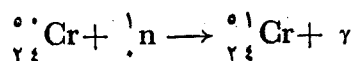


این واکنشی (n, γ) برای آلومینیم است. ${}^{28}\text{Al}$ دارای نیمه عمر ۲۷ دقیقه بوده و انرژی اشعه گاما آن 1.7MeV و اشعه بتا آن 2.7MeV میباشد.

باید توجه نمود که متناسب با انرژی نوترون ، آلومینیم میتواند سه نوع واکنش بانوترون داشته

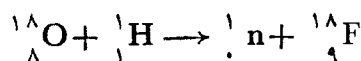
باشد.

۲ - واکنش نوترون با کرم



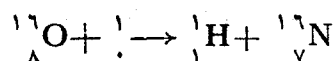
باید متذکر شد که ${}^{50}\text{Cr}$ بعنوان یک عنصر در ماده‌ای بنام (Alodine) وجود دارد. بعد از ساخته شدن میله سوخت ورقه نازکی از این ماده بر روی آن قرار داده میشود. نیمه عمر ${}^{51}\text{Cr}$ برابر ۲۷ روز بوده و انرژی گاما آن 0.32MeV است.

۳ - واکنش پروتون با اکسیژن



این در واقع یک واکنش از نوع (P,n) است. نیمه عمر ${}^{16}\text{F}$ برابر ۱۱۸۶ ساعت و انرژی β^+ (پازیترون) آن برابر 0.01MeV میباشد. ${}^{16}\text{O}$ ایزوتوپ اکسیژن معمولی در آب موجود میباشد.

۴ - واکنش نوترون با اکسیژن



این در واقع واکنش (n,P) برای ${}^{16}\text{O}$ موجود در آب میباشد. این واکنش بسیار مهمی است. نیمه عمر ${}^{16}\text{N}$ برابر حدود ۷ ثانیه بوده و انرژی اشعه گامای آن بسیار زیاد و برابر 0.6MeV و 7.1MeV میباشد. علاوه بر واکنش‌های مشخص فوق محصولات فیسون به مقدار کم در آب استخراج پیدا میشوند. این امر ممکن است باعث آلودگی سطحی (Surface Contamination) میله سوخت به اورانیوم باشد که در موقع ساخته شدن میله سوخت در کارخانه بوجود آمده باشد.

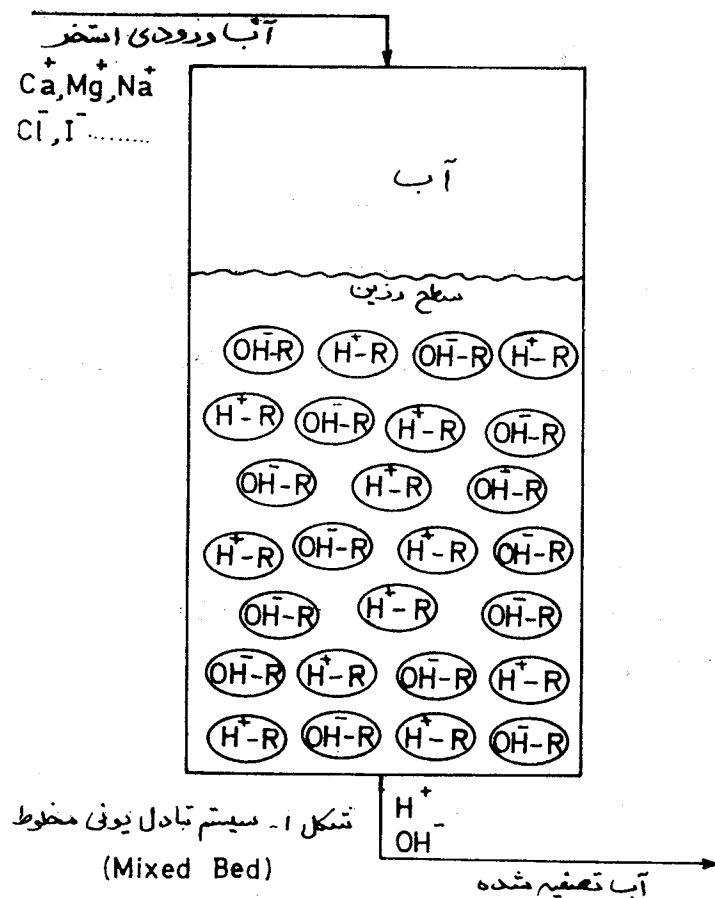
بنابراین چه در بالا گفته شد معلوم میگردد ${}^{27}\text{Al}$ که عنصر بسیار با اهمیتی در ساختمان راکتور میباشد با واکنش سه گانه ایکه با نوترون انجام میدهد خود یک منبع مهم آلودگی آب استخراج میباشد. بررسی مطالب فوق لزوم یک سیستم تبادل یونی برای زدودن آلودگی‌های موجود در آب استخراج راکتور آشکار میگردد.

سیستم تصفیه آب راکتور اتمی دانشگاه تهران از نوع «تبادل یونی مخلوط» (Mixed Bed)

است. برای تصفیه آب و گرفتن یونهای مثبت و منفی از دو نوع رزین (Resin) کاتیون و آنیون استفاده

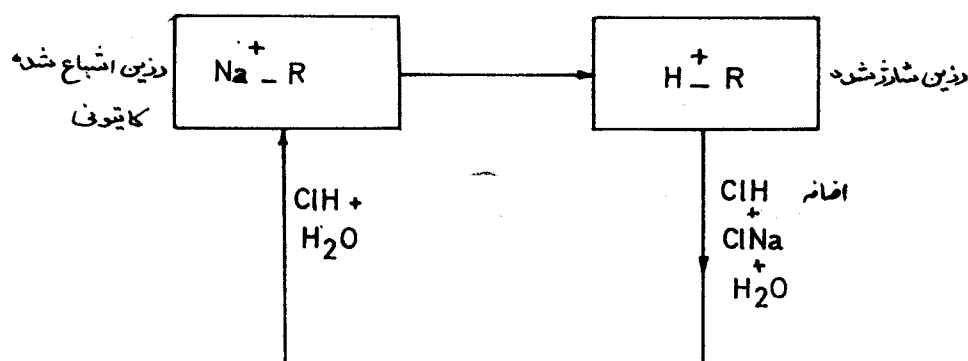
میشود. بکمک این سیستم میتوان مقاومت مخصوص آب را با سانی تا حدود میلیون اهم در سانتیمتر افزایش داد و در شرائط مساعد حصول مقاومتی تا حدود $10 \times 10^6 \Omega/cm$ نیز ممکن است.

برای بیان مطلب زرین کاتیون با $H^+ - R$ و زرین آنیون را با $OH^- - R$ نشان داده شده اند. R معرف پایه آلی زرین میباشد. بطور خلاصه میتوان گفت زرین نوع $H^+ - R$ قادر است یونهای مثبت نظیر Ca^{+2}, Na^{+}, Mg^{+2} غیره را با یون H^+ تعویض نماید. در اینجا عمل واکنش شیمیائی بین یونهای خارجی زرین ها بوقوع نمی پیوندد. همچنین زرین نوع $OH^- - R$ قادر است یونهای منفی نظیر Cl^-, I^- غیره را با یون OH^- تعویض نماید. عمل تبادل یونی بطوریکسان برای پایدار و یونهای رادیواکتیو انجام میگردد و از اینرو سیستم تبادل یونی از نوع مخلوط قادر است علاوه بر گرفتن املاح معدنی آب شهر، مواد رادیواکتیو تولید شده در اثر کار راکتور نظیر $^{24}Na, ^{27}Mg, ^{26}Al$ غیره را نیز جذب نماید و باین طریق از آلودگی آب استخر کاسته شود. در شکل ۱ طرز کار یک سیستم تبادل یونی مخلوط نشان داده شده است. آب ورودی به سیستم تبادل یونی شامل یونهای مثبت و منفی رادیواکتیو و معمولی موجود در آب



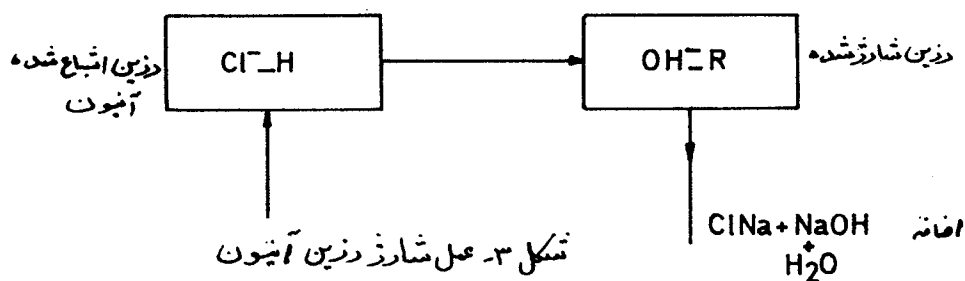
شهرمیشد. یونهای آب درحین عبور از لایه های زین های آنیونی و کاتیونی جذب زین ها شده و آب تصفیه شده با مقاومت مخصوص بسیار زیاد حدود میلیون اهم در سانتیمتر از سیستم خارج میشود.

باید توجه نمود که زین های یاد شده دارای عمر محدودی هستند یعنی پس از آنکه مدتی مورد استفاده قرار گیرند زین ها از یونهای مثبت و منفی اشباع شده و قابلیت جذب یون را از دست میدهند و اصطلاحاً گویند که زین ها باید احیا شوند. (Regenerate) منظور از شارژ زین ها این است که بطریقی قابلیت مجدد بآنها داده شود. اگرچه زین های نوع کاتیونی مقداری اسید کلریدریک اضافه شود مجدداً H^+ از اسید کلریدریک جایگزین یون مثبت متصل به زین میشود و تبادل زیر مطابق شکل ۲ انجام میشود:



شکل ۲- عمل شارژ نمودن زین کاتیونی

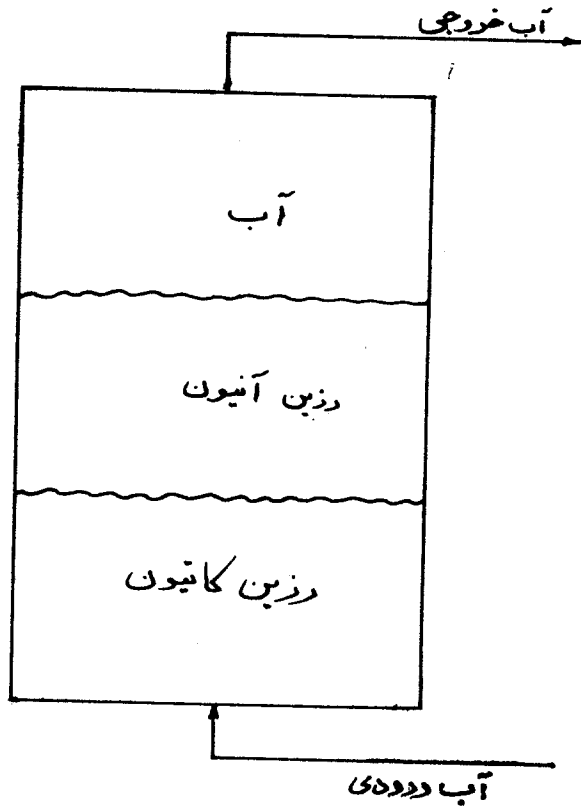
برای احیا زین آنیونی از $NaOH$ استفاده میشود. تبادل یونها منفی با OH^- مطابق شکل زیر انجام میشود:



در عمل ، سیستم تبادل یونی به روش زیرشارژ میشود :

الف - عمل شستشوی معکوس (Backwash)

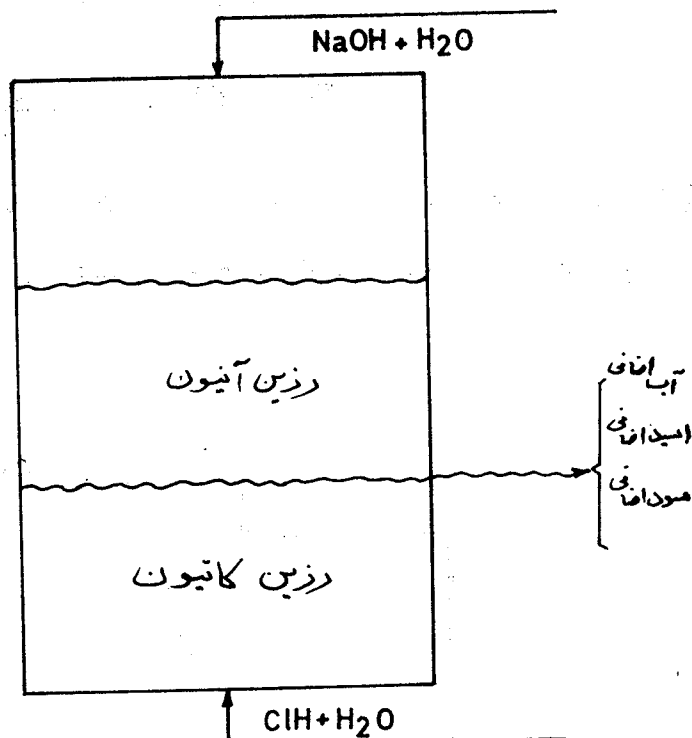
در این عمل آب بطور معکوس از قسمت تحتانی سیستم وارد شده تا رزین ها از یکدیگر جدا شوند . رزین های انیونی سبک تر از رزین های کاتیونی هستند و در عمل شستشوی معکوس رزین ها از یکدیگر جدا میشوند .



شکل ۴- عمل شستشوی معکوس برای جدا کردن رزینها

ب - عمل شارژ رزین ها (Regeneration)

پس از جدا شدن رزین ها ، اسید کلریدریک از قسمت تحتانی و سود سوزآور از قسمت بالا همراه با مسیر آب توأمآ به سیستم تبادل یونی اضافه میشود و سیستم به روشی که قبلاً گفته شد شارژ میگردد



شکل ۵ - عمل شارژ رزینها

ج - عمل شستشوی اولیه (First Rinse)

پس از آنکه مقدار معینی سودسوزآور و اسید کلریدریک با سرعت مشخص به سیستم اضافه شدند (اسید باغلظت ۱۲.۲ و سود باغلظت ۱۱.۵ به سیستم اضافه میشود) باید رزینها شسته شوند یعنی سود و اسید اضافی سیستم بخارج منتقل شود. این عمل شستشو آنقدر انجام میشود که pH آب خروجی از سیستم نرمال باشد (حدود هفت).

و - عمل مخلوط نمودن (Mixing)

در این عمل بکمک فشار هوا رزینهای جدا شده با یکدیگر مخلوط میشوند.

ه - عمل شستشوی نهایی (Final Rinse)

پس از مخلوط شدن رزینها، مجدداً سیستم شستشو میشود تا اطمینان حاصل شود که آب خروجی دارای مقاومت مخصوص لازم میباشد. معمولاً وقتی مقاومت آب خروجی به حدود یک میلیون اهم در سانتیمتر مکعب برسد سیستم تبادل یونی به سیستم حرکت آب استخر را کتور متصل میشود تا آب استخر را کتور را تصفیه نماید.

ظرفیت سیستم تبادل یونی مرکز اتمی ۲ گالون در دقیقه میباشد. با توجه باینکه حجم استخر راکتور حدود ۱۴۸۰۰۰ گالون میباشد، برای آنکه تمام آب استخر یکبار از سیستم تبادل یونی عبور نماید و تصفیه شود حدود ۱۲ ساعت وقت لازم است. برای آنکه مقاومت آب استخر در سطح میلیون اهم در سانتیمتر مکعب باقی بماند، سیستم تبادل یونی بطور مداوم کار میکند و هیچگاه (جز در مواقع شارژ نمودن) خاموش نمی شود.

در اینجا باید متذکر شد با وجودیکه سیستم تبادل یونی بطور مداوم کار میکند معهذآ آب استخر راکتور آلوده میباشد و اکتیوینه آن به حدود 10000dPm (تجزیه در دقیقه) میرسد که منبع عمده این آلودگی همان یونهای ^{24}Na و ^{27}Mg میباشد که قبلا از آنها صحبت نمودیم. بدلیل وجود این اکتیوینه برای کار با سیستم تبادل یونی و شارژ نمودن آن باید اصول حفاظتی لازم رعایت میگردد تا پرسنل بیش از حدود مجاز پرتوگیری ننمایند بعضی اوقات برای شارژ نمودن سیستم تبادل یونی لازم است که سیستم برای حدود ۳ ساعت خاموش شود تا از اکتیوینه کاسته شده و سپس آنرا شارژ نمود. سیستم تبادل یونی در حالت خاموشی تقریباً با نیمه عمر حدود ۱۴ ساعت کاهش مییابد که منبع عمده این نیمه عمر ایزوتوپ ^{24}Na میباشد. اهمیت ایزوتوپ ^{24}Na با نیمه عمر ۱۵ ساعت در اینجا واضح میشود که این عنصر تعیین کننده نیمه عمر سیستم تبادل یونی میباشد و سایر ایزوتوپهای تولید شده در راکتور چندان اثری در تعیین نیمه عمر سیستم تبادل ندارد.

منابع:

- ۱ - گزارش ایمنی راکتور اتمی دانشگاه تهران - کمپانی AMF, ۱۹۶۶
- ۲ - گزارش روش کار سیستم تبادل یونی مرکز اتمی دانشگاه کمپانی ILL WATER, ۱۹۶۰