



دانشگاه شهر

طراحی سیستم تصفیه آب انبار سوختهای مصرف شده، با استفاده از سیستم Make-up راکتور تحقیقاتی تهران

حسین خلفی، رضا قلیزاده آغوبیه، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای

چکیده: یکی از مهمترین تاسیسات جانبی راکتورها، انبار ذخیره سازی سوختهای مصرف شده است. این انبار جهت ذخیره سازی سوختهایی است که بعد از تخلیه از قلب راکتور تا چند سال، حاوی مقدار زیادی پاره های شکافت بوده و بر اثر واپاشی پرتوهای یون ساز و اشعه گاما، مقداری حرارت پسماند آزاد می شود. این انبار که دارای استخر ذخیره سازی می باشد، باید با آب خالص بدون املاح پرشود تا غلاف سوخت و سایر تجهیزات فلزی داخل استخر کمترین خوردگی را داشته باشند. در این مقاله، طراحی یک سیستم جهت تامین آب مطلوب از نظر پارامترهای شیمیایی در استخر ذخیره سازی سوختهای مصرف شده ارائه گردیده است. آب لازم بذکر است که آب ورودی به سیستم تصفیه آب، از سیستم Make-up راکتور تهران تامین می گردد، تا کمترین میزان ناخالصیها را داشته باشد. برای طراحی این سیستم از استاندارد ANSI/ANS-57.7 استفاده شده است.

کلمات کلیدی: دمینرالایزر، سیستم ماوراء بنفس، پمپ شناور، فیلتر، رزین تعویض یونی

مقدمه: راکتور تحقیقاتی تهران از نوع استخری بوده و قدرت اسمی آن ۵MW می باشد، که اولین بار در آذرماه ۱۳۴۶ بحرانی شد. انبار ذخیره سازی سوختهای هسته ای مصرف شده توانایی ذخیره سازی ۱۵۰ مجتمع سوخت را در خود دارد. قرار است سوختهای مصرف شده HEU با غنای ۹۳٪ و LEU با غنای ۲۰٪ که تا الان در استخر خود راکتور ذخیره شده اند، به این انبار انتقال یابند. به چند دلیل داشتن سیستم تصفیه آب برای انبار ذخیره سازی ضروری است که عمدۀ ترین آنها عبارتند از:

- اگر به هر عنوان دما در استخر بالا برود، با افزایش دما، تبخیر سطحی رخ داده و همراه بخار آب، املاح رادیواکتیو وارد هوای انبار ذخیره سازی می شود.
- چون عناصر و املاح از میان سوختها می گذرند، بنابراین رادیواکتیو شده و اکتیویته سطح استخر را افزایش می دهند.
- هنگام عبور عناصر و املاح از میان صفحات سوخت، امکان رسوب این عناصر و املاح روی سوختها وجود دارد که باعث بروز دو مشکل می شود. اول اینکه، بدلیل کم شدن انتقال حرارت در این نقاط، نقاط داغ بمرور داغ تر شده و تشکیل نقاط Hot Spot را می دهند که باعث سوراخ شدن غلاف سوختها می شوند. مشکل دوم اینکه، رسوب عناصر و املاح ناخالص باعث ایجاد پیلهای گالوانیکی با غلاف سوخت شده و میزان خوردگی غلاف سوخت ها را تسریع می بخشد [۱]. استاندارد ANSI معیارها و ضوابط حاکم بر طراحی سیستم تصفیه آب استخر سوختهای مصرف شده را منوط به داشتن آب دیونیزه یا بدون املاح



دانشگاه شهر

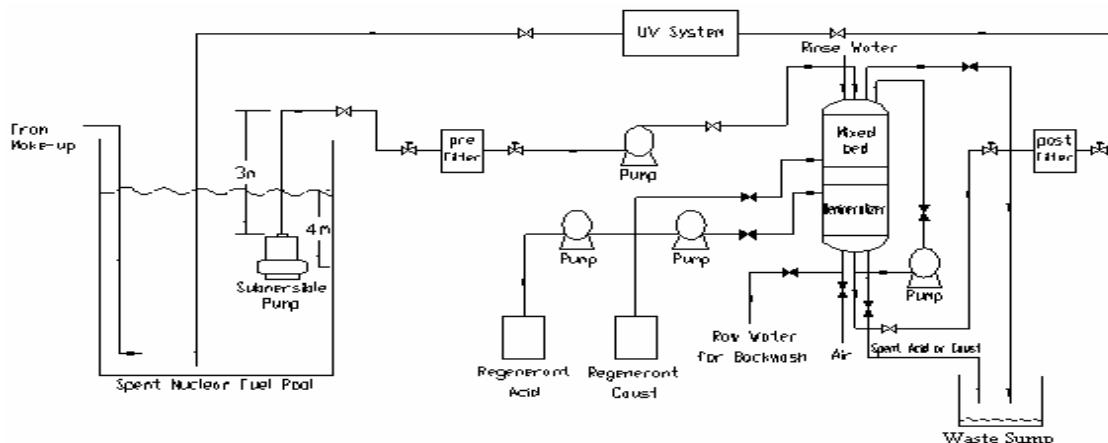
می‌داند. در این استاندارد اشاره شده است که با استفاده از هر سیستم و تجهیزاتی که بتوان حد استاندارد و مجاز پارامترهای شیمی آب را تامین کرد، طراحی انجام گرفته مورد قبول می‌باشد. از نظر این استاندارد برای تایید اولیه طراحی انجام گرفته باید پارامتر کنداکتیویته، که معیاری از میزان ناخالصیهای موجود در آب است زیر $1 \mu\text{S}/\text{cm}$ باشد تا سوختها و تجهیزات فلزی داخل استخراج نظر خورده باشند [۲].

روش کار: پارامترهای، کیفیت آب خروجی از دمینرالایزر، حد متوسط ناخالصیهای آب ورودی، حداقل دبی آب مورد نیاز و حد متوسط آب مورد نیاز، داده‌های لازم برای انجام طراحی سیستم تصفیه آب استخراج ذخیره سازی سوختها می‌باشد [۸]. کیفیت آب خروجی از دمینرالایزر در استخراج ذخیره سازی باید طبق جدول ۱ باشد.

جدول (۱): کیفیت آب خروجی از دمینرالایزر در انبار ذخیره سازی سوختهای مصرف شده

پارامتر	کلر	سولفات	مس	جیوه	نقره	فلور	ذرات جامد معلق	pH	کنداکتیویته
(mg/lit)	۱	۱	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۲	۱	۵,۵-۶,۵	$1 \mu\text{S}/\text{cm}$

طبق استاندارد ANSI، سیستم تصفیه آب استخراج ذخیره سازی باید شامل دستگاه‌هایی باشد که بتواند گونه‌های حل شده و حل نشده را برداشت کند. بهمین منظور دمینرالایزر برای برداشت گونه‌های حل شده، فیلترها جهت برداشت گونه‌های حل نشده و دستگاه اشعه ماوراء بنفش برای از بین بردن ویروسها، جلبکها و مخمرها استفاده می‌شوند. شکل ۱، سیستم تصفیه آب پیشنهادی، برای استخراج ذخیره سازی را بر اساس استاندارد ANSI نشان می‌دهد.



شکل (۱): سیستم تصفیه آب استخراج ذخیره سازی مصرف شده با استفاده از آب Make-up راکتور تهران

طبق استاندارد ANSI "American National Standard ANSI/ANS-57.7" [۲]

چون طراحی، بر اساس میزان ناخالصیهای آب ورودی یا همان آب Make-up می‌باشد، بنابراین دانستن آنالیز آب Make-up راکتور تهران ضروری است، که در جدول ۲ نشان داده شده است.



دانشگاه شهر

چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

جدول(۲): آنالیز آب Make-up در محل ورود به استخر ذخیره سوختهای مصرف شده

(TC) عناصر کاتیونی	⁺² Ca	⁺² Mg	Na ⁺	K ⁺	⁺² Fe	⁺² Cu	⁺² Mn	⁺³ Al	Total
($\mu\text{g}/\text{lit}$) مقدار	۰,۹	۰,۸۵	۰,۹۲	۰,۸۰	۵	۰,۹۳	۳	۰,۱	۱۲,۵
(TA) عناصر آنیونی	⁻² NO	⁻² CO	HCO ₃ ⁻	⁻² SO	Cl ⁻	—	—	—	Total
($\mu\text{g}/\text{lit}$) مقدار	۲,۷	۱۵	۱۸	۲,۵	۵,۳	—	—	—	۱۳,۸

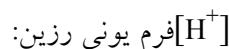
حجم آب اولیه لازم برای استخر ذخیره سازی (31700 Gallons) 120 m^3 می‌باشد. با توجه به شکل(۱)، برای سیستم تصفیه آب استخر ذخیره سازی سوختهای، باید مشخصات تجهیزات و دستگاههای مورد استفاده تعیین گردد:

۱- انتخاب دمیزرا لایزر Mixed-bed برای استخر ذخیره سازی سوختهای مصرف شده:

برای انتخاب دمیزرا لایزر، باید مقدار و نوع رزینهای آنیونی و کاتیونی را تعیین کنیم [۳]. حجم رزین کاتیونی مورد نیاز (15 lit) 488 ft^3 $15,000 \text{ ft}^3$ می‌باشد. رزین کاتیونی مورد استفاده با کاربرد هسته‌ای و مشخصات زیر می‌باشد:

نام رزین: DVB-N(100 Purolite NRW-

نوع رزین: Strong Acid Cation Gel



مشخصات ساختاری رزین کاتیونی مورد استفاده در جدول(۳) ارائه شده است.

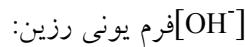
جدول(۳): مشخصات رزین کاتیونی مورد نیاز برای دمیزرا لایزر استخر ذخیره سازی سوختهای مصرف شده

Properties	Capacity (kg grain/ft ³)	Water %/Retention(	Precent %/Conversion(	Iron (ppm)	Copper (ppm)	Lead (ppm)	Sodium (ppm)	Resin Size(mm)
Value	۴۷,۶	۵۵	۹۹,۹	۵۰	۲۰	۲۰	۵۰	۰,۴

حجم رزین آنیونی مورد نیاز برابر ($0,03 \text{ lit}$) $0,00096 \text{ ft}^3$ می‌باشد. رزین آنیونی مورد استفاده با کاربرد هسته‌ای و مشخصات زیر می‌باشد:

نام رزین: Purolite NRW-۶۰۰

نوع رزین: Strong Base Anion Gel



مشخصات ساختاری رزین آنیونی مورد استفاده در جدول(۴) ارائه شده است.

جدول(۴): مشخصات رزین آنیونی مورد نیاز برای دمیزرا لایزر استخر ذخیره سازی سوختهای مصرف شده

Properties	Capacity (kg grain/ft ³)	Water %/Retention(	Precent %/Conversion(	Iron (ppm)	Copper (ppm)	Lead (ppm)	Sodium (ppm)	Resin Size(mm)
Value	۲۶,۵	۵۵	۹۵	۵۰	۲۰	۲۰	۵۰	۰,۴

با توجه به مقادیر رزینهای مورد نیاز و این نکته که کمترین ارتفاع لازم رزینها برای تصفیه آب 77 cm است، دمیزرا لایزر Mixed-bed با مشخصات جدول ۵ برای سیستم تصفیه آب انبار ذخیره سازی سوختها لازم است.



جدول (۵): مشخصات دمینرالایزر مورد استفاده در استخر سوختهای هسته‌ای مصرف شده [۴]

جنس دمینرالایزر	قطر دمینرالایزر	ارتفاع دمینرالایزر	شیشه پلکسی گلاس	جنس پوشش بدنه داخلی	قطر لوله‌های پخش کننده آب	جنس لوله جمع کننده آبید و باز
آهن گالوانیزه	۵۵cm	۱۷۰cm	۲۵cm×۷cm	P.V.C	۱.۹cm	P.V.C

۲- انتخاب پمپ شناور برای استخر ذخیره سازی سوختهای مصرف شده:

در استخر سوختهای هسته‌ای مصرف شده، جهت جلوگیری از افزایش خوردگی توسط ناخالصیهای موجود در آب، میزان مواد رادیواکتیو و رسوبات بر روی سطوح انتقال حرارت که توسط ناخالصیهای ایجاد می‌شود، باید آب همیشه تمیز باشد. بنابراین آب داخل استخر باید توسط یک پمپ از استخر کشیده شده و به سمت سایر تجهیزات تصفیه فرستاده شود. پمپ شناور در ارتفاع $h = 667$ m، که حدوداً ۴ متر از سطح آب می‌باشد نصب می‌گردد تا آب پایین استخر که به دلیل گرمای واپاشی ناچیزی که توسط پاره‌های شکافت تولید می‌شود به سمت دستگاههای تصفیه آب پمپاژ شود، چون دما یکی از عوامل تسریع کننده خوردگی می‌باشد [۵]. چرخش آب توسط پمپ شناور، باعث عدم ساکن ماندن آن و در نتیجه کمتر شدن رشد میکرووارگانیسم‌هایی مانند جلبک‌ها و مخمرها بر روی اجزاء فلزی داخل استخر می‌شود. این پمپ باید بتواند دبی آب 11gpm را در سیستم تصفیه برقرار کند، زیرا مقدار دبی آب در داخل لوله‌های سیستم تصفیه 2% حجم کل آب موجود در استخر می‌باشد. مشخصات پمپ شناور داخل استخر سوختهای مصرف شده در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول (۶): مشخصات پمپ شناور داخل استخر سوختهای هسته‌ای مصرف شده [۵]

قدرت پمپ	دبی پمپ	شفت موتور پمپ	روکش موتور پمپ	روکش خارجی پمپ	ماکریم ناخالصیهای موجود در سیال
۱HP	11gpm	AISI-۴۰۵F	AISI-۳۰۰	AISI-۳۰۰	25gr/cm^3

۳- انتخاب فیلترهای قبل از دمینرالایزر (Pre-Filter) و بعد از دمینرالایزر (Post-Filter):

در سیستم تصفیه آب استخر سوختهای مصرف شده، ۲ فیلتر قبل و بعد از دمینرالایزر لازم است. فیلتر در نظر گرفته شده قبل از دمینرالایزر، برای بالا بردن مدت زمان کار مفید دمینرالایزر قبل از هر بار احیاء کرد می‌باشد بدین نحو که فیلتر قبل از دمینرالایزر، رسوبهای اکسیدی روی رک‌ها (Crud)، گل و لایی، ناخالصیهای معلق غیرقابل حل در آب را گرفته و فقط گونه‌های حل شده در آب را به دمینرالایزر می‌فرستد. جامدات معلق ریز و کلوبیدی را می‌توان با یک فیلتر کارتريجی $25\mu\text{m}$ برداشت. این فیلتر حدود $99\%-96\%$ از محصولات خوردگی ذره‌ای را نیز برداشت می‌کند. برای استخر ذخیره سازی سوختهای مصرف شده راکتور تهران Pre-Filter و Post-Filter با مشخصات جدول ۷، نیاز می‌باشد [۶].



دانشگاه شهرد

چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

جدول(۷): مشخصات (Pre-Filter) و (Post-Filter) استخراجیره سازی سوختهای مصرف شده

نوع فیلتر	کارتریجی
جنس محفظه نگهدارنده فیلتر	AISI-۳۰۴L
اندازه محفظه نگهدارنده فیلتر (cm ^۲)	۲۳×۱۲۲
قطر داخلی فیلتر (mm)	۳۰
قطر خارجی فیلتر (mm)	۱
طول فیلتر به تفکیک لایه‌ها (cm)	۲۵,۵۰,۷۵,۱۰۰
دبی آب فیلتر شونده (gpm)	۱۱

عملت وجود Post-Filter یا فیلتر بعد از دمینرالایزر جهت جلوگیری از ورود رزینهای آنیونی و کاتیونی خروجی از دمینرالایزر به استخراجیره سوختهای مصرف شده می‌باشد. بدلیل اینکه سایز رزینهای استفاده شده در دمینرالایزر در حدود ۴mm،۰ است، می‌توان با یک فیلتر با سایز ۲۵μm مانع از ورود رزینها به آب استخراجیر شد [۶].

۴- انتخاب سیستم ماوراء بنفس(Ultraviolet System):

این سیستم برای از بین بردن آلودگی‌های بیولوژیکی استفاده می‌شود. اشعه‌های ماوراء بنفس، امواج کوتاه در محدوده ۲۵۳۷۰A تولید می‌کنند که میکروارگانیسم‌هایی مانند باکتریها، ویروس‌ها، مخمرها، جلبک‌ها، جانداران تک یاخته‌ای را از بین می‌برند [۷]. دز اشعه ماوراء بنفس با تصفیه نوع میکروارگانیسم‌ها تغییر می‌کند که طبق جدول ۸ ارائه شده است.

جدول(۸): میزان دز اشعه ماوراء بنفس مورد نیاز برای از بین بردن میکروارگانیسم [۷]

Microorganism	UV,Dosage Requirement
(Bacteria) باکتری	۲۵۰۰-۲۵۰۰۰
(Yeast) مخمر	۶۶۰۰-۱۷۶۰۰
(Fungi) جلبک	۱۱۰۰۰-۳۳۰۰۰
Other	High Dosage

برای آبی که از لوله با قطر ۳cm عبور می‌کند، لامپ ۴۳ واتی توانایی ضد عفونی را دارد. برای سیستم تصفیه آب استخراجیره سازی سوختهای مصرفی، سیستم گندزدای ماوراء بنفس با مشخصات جدول ۹ نیاز می‌باشد.



دانشگاه شهر

چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران



انجمن هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد

جدول(۹): مشخصات سیستم ماوراء بنسن (UV) برای استخر ذخیره سازی سوختهای مصرف شده [۷]

جنس اتاقک دستگاه	Satainless Steel -۳۰۴
جنس روکش اتاقک اشعه ماوراء بنسن	کوارتنز
نسبت قطر داخلی به خارجی	cm1,9
قدرت لامپ	۴۳watt
ابعاد اتاقک	۱۱inch×۱۱inch×۳۰.inch
محدوده دمایی	۵ - ۵۰ °C
دبی آب	۱۱gpm
حداکثر فشار طراحی	۱۲۵psi
جریان برق	۹۵-۲۶۵(v)
طول لامپ	۲۶inch

نتیجه گیری: با توجه به شکل(۱) و جداول ارائه شده در بخش قبل و تعیین مشخصات پارامترهایی مانند:

- نوع و مقدار رزینهای آنیونی و کاتیونی (Anion Resin & Cation Resin)
- دمینرالایزر (Demineralizer)
- پمپ شناور (Submersible Pump)
- سیستم ماوراء بنسن (Ultraviolet System)

می‌توان به جرات گفت که در نهایت، در خروجی آب دمینرالایزر که به استخر انبار ذخیره سازی سوختهای مصرف شده تخلیه خواهد شد، آب مطلوب در حد استاندارد خواهیم داشت. همچنین پیشنهاد می‌گردد، جهت بالا بردن خلوص آب داخل استخر انبار ذخیره سازی، می‌توان از دستگاههای مکنده Skimmer پمپ شناور استفاده کرد. این دستگاه در سطح آب استخر که معمولاً "بیشترین میزان آلودگی را دارد نصب می‌گردد.



دانشگاه شهرد

چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد



انجمن هسته‌ای ایران

References:

1. Storage of Water Reactor Spent Fuel in Water Pools, Technical Reports Series, No.218
2. Design Criteria For an Independent Spent Fuel Storage Installation (Water Pool Type)/AMERICAN NUCLEAR SOCIETY/ANSI.ANS-57.7
3. Ion-Exchange Resins For Water Purification:Properties and Characterisation by A.S.Gokhalc,P.K.Mathur and K.S.Venkateswarlu Water Chemistry Division
4. Demineralization by Ion-exchange in Water Treatment, SAMUEL B.APPLEBAUM
5. Manual Water Treatment Plant For Tehran University Nuclear Reactor At Tehran,Iran,GRAVER WATER CONDITIONING CO.
6. Liquid Filtration,Nicholas Picheremisioff David S.Azbel,ANN ARBOR SCIENCE/
7. The Nalco Water Handbook,Nalco Chemical Company , FRANK N.KEMMER/MC Graw-Hill/John MC Callion
8. Reactor Water Chemistry Relevant to Coolant-Cladding Interaction IAEA-TECDOC-429