



## روش کنترل آلاینده‌های پرتوزا در رویداد آسیب‌دیدگی چشمه‌ی نوترونی رآکتور تحقیقاتی تهران

اصغر صدیق‌زاده\*، علیرضا شهیدی، فرید اصغری‌زاده، بهرام سلیمی  
پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۵۱۱۱۳-۱۴۳۹۹، تهران - ایران

**چکیده:** رویداد آسیب‌دیدگی چشمه‌ی نوترونی رآکتور تحقیقاتی تهران موجب رهاسازی مقادیر زیادی مواد پرتوزا از جمله پلوتونیم در آب مدار اولیه‌ی رآکتور شد. این رویداد باعث شد مقدار فعالیت پرتوزایی و ناخالصی‌ها در آب مدار اولیه از حد مجاز بالاتر رود به طوری که سیستم‌های تصفیه‌ی موجود در رآکتور دیگر قادر به رفع آلودگی نبودند. در نتیجه، راه‌اندازی مجدد رآکتور در شرایط ایمن، مستلزم حذف آلاینده‌های پرتوزا از آب مدار اولیه‌ی رآکتور بود. آلودگی آب مدار اولیه از نوع ذره‌ای تشخیص داده شد. از این‌رو، روش‌های تصفیه‌ی ذره‌ای برای رفع آلودگی آن مدنظر قرار گرفتند. در این راستا، کارآیی ربایش ذره‌ای نمونه‌های بسترهای الیافی برای انتخاب بهترین نمونه برای جداسازی مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی، از بسترهای با کارآیی جداسازی بالا استفاده شد. با این حال کارآیی آن‌ها برای جداسازی آلاینده‌های پرتوزا از نمونه‌های آب مدار اولیه ناچیز بود. به این ترتیب، نتیجه‌گیری شد که ذرات حل شده در آب رآکتور در مقیاس مولکولی و ذرات بسیار ریزی بوده‌اند. لذا روش‌های تصفیه‌ی مولکولی مدنظر قرار گرفته و بررسی‌های انتخاب روش بهینه به این سمت سوق داده شدند. کارآیی جداسازی چندین روش تصفیه در مقیاس مولکولی مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از بررسی‌ها نشان داد که بهترین روش حذف آلاینده‌های پرتوزا در آب مدار اولیه‌ی رآکتور، استفاده از یک بستر کربن فعال است. نتایج بررسی‌های آزمایشگاهی کارآیی حذف آلاینده‌های آلفا با یکی از بسترهای کربن فعال به ارتفاع عملیاتی ۴۰cm را حدود ۷۶٪ به دست داد. با استفاده از این کربن فعال دانه‌ای یک سیستم تصفیه به ارتفاع ۱۰۰cm طراحی گردید. و با استفاده از آن خالص‌سازی آب آلوده‌ی مدار اولیه با موفقیت به انجام رسید.

**کلید واژه‌ها:** آلودگی‌زدایی، رآکتور تحقیقاتی تهران، رویداد آسیب‌دیدگی چشمه‌ی نوترون، آلاینده‌های پرتوزا

## Radioactive Contamination Control Method in Neutron Source Damage Event in Tehran Research Reactor

A. Sadighzadeh\*, A. Shahidi, F. Asgharizadeh, B. Salimi  
Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 14399-51113, Tehran - Iran

**Abstract:** The event of the initiator neutron source damage in the Tehran Research Reactor (TRR) caused to release a significant amount of radioactive materials in the primary cooling system of the TRR. The event caused the impurities level to exceed beyond the allowed limit and to an extent that the present water purification system was not able to function effectively. Hence, elimination of radioactive pollutions was found to be a necessary task for the safe operation of the reactor. It was realized, initially that the contamination is due to very small particles size. Thus, the method of water treatment for the small-size particle elimination was found to be essential. For this purpose, the efficiency of fiber filters was studied for selecting the most efficient sample. In spite of implementation of a high particle removal efficiency, however, the effectiveness of the fiber filters in this process was found to be low, and consequently, it was concluded that contamination particles are ranged in a very small-size and in the dimensions of molecular size. Based on this investigation, the method of purification of molecular size impurities were examined. Our examinations showed that utilizing a carbon active filter is the best approach for purifying the reactor primary cooling system. The laboratory results have also shown that the efficiency of carbon active filter of 40cm deeps is about 76% for removing the alpha emitter particles. By considering these results, we set up a filtration system for water purification with granular charcoal of 100cm deeps. After the successful purification of the polluted primary cooling system, the reactor was able to operate safely.

**Keywords:** Decontamination, Tehran Research Reactor, Neutron Source Damage Event, Radioactive Contaminants

\*email: asadigzadeh@aeoi.org.ir

**۱. مقدمه**

اولین روش آلودگی‌زدایی براساس پیش‌فرض رهایی ذرات پودر به صورت هیدروسل با ابعاد بزرگ و قابل جداسازی با صافی‌های الیافی، شکل گرفت. چند نوع بستر صافی الیافی برای آزمودن کارایی ربایش ذرات مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به کارایی بسیار پایین این بسترها در حذف آلاینده‌های پرتوزا و با توجه به کارایی بالای این بسترها برای ربایش ذرات، نتیجه‌گیری شد که ذرات پلوتونیم معلق در آب مدار اولیه‌ی رآکتور ذرات بسیار ریز ابعاداند. بدین ترتیب برای آلودگی‌زدایی آب مدار اولیه روش‌های جذب مولکولی مطرح شدند. در این راستا، چند نوع زغال فعال شده و مبادله‌کننده یونی تهیه، و کارایی آن‌ها در جداسازی مواد پرتوزای موجود در آب مدار اولیه مورد بررسی قرار گرفت.

**۱.۲ انتخاب بستر مناسب**

به منظور یافتن یک روش کارآ برای حذف آلاینده‌های آب رآکتور، میزان کارایی سیستم‌های تصفیه با بسترهای مختلف، با اندازه‌گیری فعالیت پرتوزایی نمونه‌های آب در قبل و در بعد از عبور از سیستم با استفاده از شمارگر سوسوزن مایع تعیین گردید. کارایی روش آلودگی‌زدایی از رابطه زیر محاسبه شد

$$E = [1 - (A_f/A_i)] \times 100 \quad (1)$$

که در آن  $A_i$  و  $A_f$  به ترتیب، پرتوزایی آب در قبل و در بعد از آلودگی‌زدایی می‌باشد [۶].

**۱.۱.۲ بستر کامپوزیتی**

بستر الیافی مورد استفاده دارای مشخصات فیزیکی زیر بود [۶]

Grammage	86 g/m <sup>2</sup>	ME/001
Thickness	430 μm	ME/002
Pressure drop (ΔP)	142mmWC	ME/010
Not cured burst strength	160 kPa	ME/020
Bubble test-1BP	224 mmWC	ME/015
Max Pore Size	42 μm	ME/015

کارایی این بستر با ۴ بار عبور دادن محلول پرتوزا و اندازه‌گیری میزان پرتوزایی آن قبل و بعد از عبور از بستر با استفاده از رابطه‌ی (۱)، برای ذرات آلفا و بتا به ترتیب، برابر ۳۳ و ۳۵ درصد به دست آمد [۶].

رآکتور تحقیقاتی تهران از نوع استخری و با قدرت ۵MW می‌باشد. این رآکتور برای اهداف پژوهشی، تولید چشمه‌های پرتوزای پزشکی، صنعتی و کشاورزی، تجزیه به روش فعال‌سازی نوترونی و امور آموزشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این نوع رآکتورها، از چشمه‌های نوترونی مناسب برای ایجاد جمعیت نوترونی کافی جهت شروع به کار رآکتور استفاده می‌شود که بلافاصله پس از رسیدن رآکتور به حالت بحرانی، چشمه از قلب خارج می‌شود. چشمه‌ی مورد استفاده در رآکتور تهران از نوع Pu-Be است [۱]. یکی از ویژگی‌های این چشمه در مقایسه با دیگر چشمه‌ها، سطح مقطع بالای شکافت پلوتونیم با نوترون‌های گرمایی است که آن را در مقابل شار نوترونی بالا خطرآفرین می‌سازد. در کار با این گونه چشمه‌ها لازم است دقت شود که به هیچ عنوان در معرض شار نوترونی بالا قرار نگیرند. در رویداد مورد بحث تأخیر در خارج کردن چشمه از قلب در آغاز به کار رآکتور موجب شکافت پلوتونیم، بالا رفتن دمای چشمه، تخریب غلاف و در نهایت آزادسازی قسمتی از محتویات پرتوزای آن به خصوص <sup>239</sup>Pu به داخل آب مدار اولیه‌ی رآکتور گردید [۲] و [۳].

برای ایمنی رآکتور و حفاظت پرسنل در برابر تابش، رفع آلودگی آب مدار اولیه ضروری بود. زاینده‌های فیزیکی بزرگ و نامحلول در آب با استفاده از وسایل موجود برطرف گردید ولی حذف مواد پرتوزا به ویژه پلوتونیم، مستلزم استفاده از روش‌های آلودگی‌زدایی مناسب بود. برای این منظور روش‌های مختلف بررسی و روش با بالاترین کارایی به کار گرفته شد.

**۲. روش آلودگی‌زدایی و کنترل آلاینده‌های آب مدار اولیه‌ی رآکتور**

به طوری که گفته شد، در رویداد آسیب‌دیدگی چشمه‌ی نوترونی، مقداری از محتوی پلوتونیم و شکافت-پاره‌های آن وارد آب مدار اولیه‌ی رآکتور شد. در روزهای نخستین رویداد، مقدار فعالیت پرتوزایی آب برابر ۱ Bq/cm<sup>3</sup> اندازه‌گیری شد [۴] و [۵]. وجود این مقدار فعالیت پرتوزایی در آب برای ایجاد اختلال در کار رآکتور کافی بود. از این‌رو، تصمیم گرفته شد آلودگی‌زدایی سریع آب مدار اولیه‌ی رآکتور انجام شود.

**۲.۱.۲ بستر صافی پلی‌اکریل**

یک نمونه بستر صافی پلی‌اکریل که دارای کارایی خوبی (۷۹٪) برای حذف آلاینده‌های ذره‌ای هوا و استحکام مکانیکی کافی برای استفاده شدن در محیط مایع بود، برای حذف آلاینده‌های آب رآکتور انتخاب شد. کارایی این بستر برای حذف آلاینده‌های پرتوزا با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه شد. کاهش پرتوزایی پرتوهای بتا و آلفا به ترتیب برابر ۱۴ و ۱۱ درصد به دست آمد [۷].

**۳.۱.۲ روش انعقاد**

نتایج به دست آمده از آزمون با صافی‌های الیافی نشان داد که ذرات معلق در آب رآکتور بسیار ریز بوده و صافی‌های الیافی متعارف از کارایی لازم برای آلودگی‌زدایی آب مدار اولیه برخوردار نیستند. فرایند تصفیه و آلودگی‌زدایی آب آلوده با صافی‌های الیافی، تنها برای هیدروسول‌های درشت و در مقیاس میکرونی امکان‌پذیر است. برای افزایش قطر ذرات معلق در آب مدار اولیه‌ی رآکتور از روش انعقاد استفاده شد. برای این منظور دو روش انعقاد<sup>(۱)</sup> با محلول فلوران<sup>(۲)</sup> و با پودر کرکینه‌ساز<sup>(۳)</sup> مورد بررسی قرار گرفتند [۶]. پس از ترکیب آب رآکتور با این دو ماده، محلول حاصل از صافی‌های کاغذی عبور داده شد. کارایی صافی کاغذی برای حذف آلاینده‌های پرتوزای بتا و آلفا با بهره‌گیری از محلول فلوران به ترتیب ۱۱٫۶ و ۸ درصد تعیین گردید که بسیار پایین بوده و بیان‌گر عدم تشکیل ذرات درشت است. کاهش قابل‌ملاحظه‌ی کارایی صافی در حضور انعقادگر در مقایسه با آب بدون انعقادگر می‌تواند به افزایش گرانروی آب مخلوط نسبت داده شود.

اندازه‌گیری کارایی صافی الیافی برای حذف آلاینده‌های پرتوزا از آب رآکتور حاوی پودر کرکینه‌ساز در همان شرایط آزمایشگاهی اندازه‌گیری کارایی بستر الیافی در نبود کرکینه‌ساز، مقدار آن را برای ربایش ذرات پرتوزای بتا و آلفا به ترتیب، برابر ۴۰ و ۲۳٪ به دست داد، که در مقایسه با محلول بدون کرکینه‌ساز از یک افزایش جزئی کارایی برخوردار است. لذا، فرایند به دلیل غلظت پایین آلاینده‌ها در آب اثر چندانی نداشت [۷].

**۴.۱.۲ تبادل گر یونی**

آزمون‌های فوق نشان دادند که ذرات معلق در آب دارای ابعاد بسیار ریز در مقیاس مولکولی هستند. لذا، در این مرحله روش استفاده از تبادل گرهای یونی مدنظر و مورد ارزیابی قرار گرفتند. بدین منظور یک بستر استوانه‌ای از مبادله‌کننده‌ی یونی آمبرلیت به ارتفاع ۸ سانتی‌متر و قطر ۵ سانتی‌متر طراحی شد. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری کارایی برای حذف ذرات آلفا و بتا پس از یک بار عبور آب، به ترتیب، برابر ۲۵ و ۳۵٫۲۵ درصد به دست آمد. با این کارایی، آلودگی‌زدایی کامل آب مستلزم استفاده از بستر با ارتفاع بیش‌تر و چندین چرخه‌ی آب آلوده بود. بنابراین، نمونه‌ی آب رآکتور چندین بار از بستر رزینی عبور داده شد. طی ۳ بار عبور آب از ستون مبادله‌کننده‌ی یونی، افزایش کارایی برای آلودگی‌زدایی گسیلنده‌های پرتوهای آلفا و بتا به ترتیب، ۱۰ و ۱۲٪ بود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری کارایی بستر بعد از ۶ چرخه بیان‌گر کاهش کارایی برای حذف آلاینده‌های آلفا و بتا گسیل به ترتیب برابر با ۱۰ و ۰٪ نسبت به یک بار عبور بود. لذا چنین نتیجه‌گیری شد که این مبادله‌کننده‌ی یونی در چرخه‌ی اول از کارایی بالا برخوردار بوده و در چرخه‌های دوم و سوم کارایی ربایش آن به زیر ۱۰٪ رسیده است. ولی بعد از گذر از یک بیشینه، کارایی کل افزایش کمی دارد. این افزایش کارایی در مراحل اولیه‌ی گردش محلول و کاهش آن در مراحل بعدی را می‌توان به اشباع شدن تدریجی بستر آمبرلیت، نسبت داد [۷].

**۵.۱.۲ زغال فعال شده**

بررسی‌ها نشان داد که ذرات پخش شده در آب مدار اولیه بسیار ریز بوده و مبادله‌کننده‌ی یونی مورد بررسی نیز از کارایی لازم برای حذف مؤثر و سریع این ذرات برخوردار نیست. به این دلیل، استفاده از بسترهای زغال فعال شده مدنظر قرار گرفت.

یک بستر استوانه‌ای به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و به قطر ۵ سانتی‌متر از زغال فعال شده ساخته شد. ابعاد ذرات زغال فعال شده‌ی مورد استفاده ۲٫۳۶mm~ است. کارایی این بستر برای ربایش ذرات پرتوزای بتا و آلفای پخش شده در آب مدار اولیه‌ی رآکتور مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل نشان داد که کارایی حذف آلاینده‌ها به ترتیب ۵۵٫۸۸ و ۴۶٫۹۱ درصد است [۷].



شستشوی بستر زغال فعال شده با آب مقطر، برای تصفیه‌ی آب مدار اولیه در مسیر آن قرار گرفت.

سیستم تصفیه‌ی آب مدار اولیه دو مرحله‌ای در نظر گرفته شد. در مرحله‌ی اول آب رآکتور برای ربایش ذرات عبور داده شده، از یک سیستم تصفیه‌ی متشکل از ۱۹ عدد صافی از نوع سوپر میکرو و در مرحله‌ی بعدی آب خروجی از این سیستم به منظور حذف آلاینده‌های مولکولی پرتوزا از دستگاه صافی زغال فعال شده عبور داده شد. چرخش آب آلوده در مدار سیستم تصفیه‌ی تانک تأخیری با استفاده از یک پمپ انجام شد. طرح‌واره‌ی این سیستم در شکل ۱ نشان داده شده است.

نتایج اندازه‌گیری‌های فعالیت پرتوزایی آب، قبل و بعد از عبور از سیستم تصفیه‌ی آب آلوده‌ی مدار اولیه از روز اول بهره‌برداری تا ۴ روز پس از آن در جدول ۱ ارایه شده است.



شکل ۱. دستگاه تصفیه‌ی آب با زغال فعال شده.

جدول ۱. نتایج شمارش آلفا و بتای کل آب مدار اولیه‌ی رآکتور قبل و پس از عبور از سیستم تصفیه

بازده جذب صافی (%)	پرتوزایی آب مدار اولیه‌ی رآکتور		نوع پرتو	روز
	بعد از عبور از صافی (cpm)	قبل از عبور از صافی (cpm)		
۷۴٫۱	۷۲۹٫۱۶	۲۸۱۸٫۵۳	بتا	اول
۷۹٫۹۸	۲۹٫۱۱	۹۶٫۶۳	آلفا	
۴۷٫۶	۴۸۲٫۵۳	۹۲۱٫۱۶	بتا	دوم
۵۳٫۷	۲۳٫۷۳	۵۱٫۲۵	آلفا	
۳۰٫۹	۵۵۴٫۳۴	۸۰۲٫۶۲	بتا	سوم
۵۵٫۱	۱۷٫۳۸	۳۸٫۷۹	آلفا	
۲۶٫۸	۵۱۰٫۲۲	۶۹۷٫۴۳	بتا	چهارم
۴۱٫۱	۱۰٫۷۱	۱۸٫۱۸	آلفا	

برای اطمینان از استمرار بالا بودن کارایی و ظرفیت جذب، نمونه‌ی آب استخر رآکتور چندین بار از بستر عبور داده شد. نتایج حاصل از این بررسی، کارایی بستر برای حذف ذرات بتا و آلفای پرتوزا را برای ۴ چرخه، به ترتیب برابر ۷۵٫۹۹ و ۷۷٫۹۹ درصد و برای ۱۰ چرخه به ترتیب برابر ۸۶٫۳۲ و ۹۸٫۲۷ درصد به دست داد [۷].

کارایی دو نوع زغال فعال شده‌ی دیگر نیز در یک بستر استوانه‌ای به قطر و ارتفاع به ترتیب ۴cm و ۱۰cm بررسی شد. بسترهای این دو نوع زغال فعال شده نیز دارای کارایی خوبی برای حذف آلاینده‌های پرتوزا بودند ولی کارایی کم‌تری نسبت به بستر زغال فعال شده‌ی نوع اول داشتند. لذا با توجه به این که از میان ۳ نمونه‌ی آزمایش شده زغال فعال شده‌ی نوع اول مؤثرتر بود، برای ساخت بستر سیستم تصفیه از این نوع زغال فعال شده استفاده شد.

## ۲.۲ سیستم تصفیه و نتایج حاصل از به کارگیری آن

طراحی سیستم تصفیه براساس نتایج حاصل از بررسی روش‌های آلودگی‌زدایی آب مدار اولیه‌ی رآکتور و به خصوص با استفاده از بستر ۱۰ سانتی‌متری زغال فعال شده‌ی نوع اول و با توجه به حجم آب مدار اولیه (۶۰۰m<sup>۳</sup>) انجام شد. هم‌چنین ضرورت آلودگی‌زدایی آب رآکتور و راه‌اندازی سریع آن نیز در طراحی سیستم مدنظر قرار گرفت.

در طراحی این سیستم، یک مجموعه‌ی ۸ تایی از افشانه برای ورود یکنواخت آب آلوده از بالا به تمام سطح بستر برای به حداکثر رساندن کارایی سیستم در نظر گرفته شد. سیستم خروج آب طوری طراحی شد که تمام آب ورودی به سیستم حداقل ۱۰۰cm را در بستر طی کند. برای خروج آب از این صافی مجرای به قطر ۵cm در وسط سطح مقطع کف دستگاه تعبیه شد. برای جلوگیری از خروج ذرات زغال فعال شده از سیستم، در خروجی آب از یک توری استوانه‌ای شکل به قطر، ارتفاع و مش به ترتیب برابر با ۲۷، ۶۰ و ۰٫۱cm استفاده شد. برای اطمینان از عدم گرفتگی توری با ریز ذرات زغال فعال شده، کف سیستم تا ارتفاع ۶۰cm از زغال فعال شده‌ی استوانه‌ای نوع سوم به قطر متوسط ۰٫۴cm پر شد. بقیه‌ی سیستم به ارتفاع ۱۰۰cm با زغال فعال شده‌ی انتخابی پر گردید. سیستم پس از طراحی، ساخت و



## References:

1. "Safety Analysis Report for Tehran Research Reactor," Reactors & Accelerators Research and Development School, Nuclear Science and Technology Institute (January 2009).
2. M. Gharib, "Report on Neutron Source (Pu-Be) Damage Event in Tehran Research Reactor," Reactors & Accelerators Research and Development School, Nuclear Science and Technology Institute (January 2009).
3. D.E. WAT, R.C. LAWS, J. WILLIAMSO, "A Low Cost Neutron Facility for Dosimetry Studies," Phys. Med. Biol, Vol. 9, No. 4, 477-485 (1964).
4. A. Rahimi, A. Esmacili, H. Abbasi, "Report on Health Physic Measurement Results," Health Physics Department, Nuclear Science and Technology Institute (January 2009).
5. H. Abbasi, "Report on Radioactivity Concentration Measurement of Gamma Emitting Radionuclides in Different Samples of Reactor Coolant," Nuclear Analysis Lab., Nuclear Fuel Cycle School (January 2009).
6. B. Salami, F. Asgharizadeh, "Report on Nuclear Analysis of Reactor Coolant after Neutron Source Damage Event and for Coolant Filtration Test," Nuclear Analysis Lab., Nuclear Fuel Cycle School (January 2009).
7. A. Sadighzadeh, A. Shahidi, "Report on Neutron Source Damage Event and Methods of Pollutants Control in Tehran Research Reactor," (March 2009).

## ۳. نتیجه گیری

انتخاب روش آلودگی‌زدایی یک محیط شارهای بستگی به شرایط آلاینده شامل غلظت، نوع آلاینده (مولکولی یا ذره‌ای)، میزان سمیت و زمان لازم برای آلودگی‌زدایی دارد. همان‌طور که گفته شد آلودگی آب مدار اولیه از نوع ریز ذره‌ای و مولکولی بود. روش‌های مورد بررسی برای انتخاب بهترین آن‌ها، بر ذرات معلق در آب مدار اولیه متکی بودند. بر این اساس کارآیی چند نوع صافی الیافی بررسی شد. با توجه به ناکارآمدی این نوع صافی‌ها در حذف آلاینده‌ها نتیجه‌گیری شد که ذرات موجود در آب رآکتور بسیار ریز و در مقیاس مولکولی‌اند. لذا روش‌های آلودگی‌زدایی مولکولی مورد توجه قرار گرفتند و انتخاب روش بهینه به این سمت سوق داده شد.

نتایج ارزیابی شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که کارآیی سیستم نصب شده برای حذف آلاینده‌های پرتوزا در روز اول بسیار خوب بوده ( $>70\%$ ) و در روزهای بعد با کاهش چشم‌گیر ذرات پرتوزا بر اثر جذب در سیستم تصفیه، کاهش یافته است. از آن جا که هدف از ساخت این سیستم بیش‌تر جذب ذرات پرتوزا به ویژه پلوتونیم و در نتیجه کاهش پرتوزایی آب مدار اولیه به دلیل آسیب‌دیدگی چشمه‌ی نوترون بود، کاهش فعالیت پرتوزایی ذرات آلفا از مقدار اولیه  $97\text{cpm}$  به  $1071\text{cpm}$  و کاهش فعالیت ذرات بتا از مقدار اولیه  $2818\text{cpm}$  به  $510\text{cpm}$ ، بیان‌گر کارآیی بسیار مؤثر این سیستم است.

## پی‌نوشت‌ها:

۱. Coagulation
۲. Floran
۳. Flocculant