مجله محیط شناسی، شماره ۳۵، پاییز ۱۳۸۳، صفحه ۶۸-۶۱

ضرورت بازنگری استاندارد ملی کدورت آب خروجی از تصفیه خانه های آب

دکتر عبدالله رشیدی مهرآبادی *
دکتر علی اکبر عظیمی **
دکتر ناصر رازقی ***
دکتر علی ترابیان ****
دکتر ایرج مؤبدی *****

چکیده

کدورت آب از سه جنبه مطلوب بودن، قابلیت صاف شدن و گندزدایی دارای اهمیت است. همچنین به دلیل وجود ارتباط بین کدورت و برخی مشخصه های میکربی از جمله کیست ژیاردیا، از کدورت می توان به عنوان شاخصی غیرمستقیم در تعیین بازده حذف و یا میزان حضور این عوامل استفاده کرد. براساس استانداردهای ملی، کدورت آب خروجی از صافی ها در تصفیه خانه های آب سطحی می باید کمتر از ۱ ان- تی- یو باشد. در این تحقیق به منظور بررسی ارتباط بین کدورت آب خروجی از صافی ها و کارایی حذف کیست ژیاردیا آزمایش کامل با در نظر گرفتن تأثیر عواملی چون نرخ فیلتراسیون، دانه بندی مصالح و میزان تزریق مواد منعقد کننده، بر روی دو نوع صافی تک لایه و سه لایه انجام پذیرفت. نتایج حاصل از تحقیق حاضر که براساس مطالعات پایلوتی صورت پذیرفت مشخص کرد، برای دستیابی به ۹۹/۹ درصد حذف کیست ژیاردیا توسط صافی ها می باید کدورت آب خروجی از آنها کمتر از مقدار ذکر شده در استاندارد و در حدود ۰/۵ ان- تی- یو باشد. بنابراین به نظر می رسد استاندارد کدورت آب خروجی از صافی ها نیاز به بررسی مجدد داشته باشد.

کلیدواژه

فیلتراسیون، کدورت آب، کیست ژیاردیا، تصفیه خانه آب سطحی.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۱/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۲/۹/۱۱

* استادیار گروه مهندسی آب و فاضلاب، دانشگاه صنعتی آب و برق.
** استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
*** استاد گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
**** دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
***** دانشیار گروه انگل شناسی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

سرآغاز

آب کدر به آبی اطلاق می گردد که حاوی مواد معلق باشد. این مواد با نور عبوری تداخل داشته، و باعث شکست آن و کاهش عمق دید می گردد. کدورت آب توسط طیف گسترده ای از مواد معلق به لحاظ اندازه و جنس ایجاد می گردد، و از سه جنبه اصلی مطلوب بودن، قابلیت صاف شدن و گندزدایی آب دارای اهمیت است (Sawyer and Mc Carty, 1978).

از اطلاعات مربوط به اندازه گیری کدورت در تنظیم میزان مواد منعقد کننده لازم، نوع فیلتراسیون، تعیین کارایی واحدهای مختلف تصفیه و موارد مختلف دیگری استفاده می شود.

با توجه به وجود ارتباط بین میزان کدورت آب خروجی از واحدهای مختلف تصفیه آب با برخی مشخصه های مهم دیگر، از جمله عوامل میکربی، از تعیین کدورت می توان به عنوان شاخصی غیر مستقیم در تعیین بازده حذف، یا میزان حضور این عوامل استفاده کرد. کیست ژیاردیا[۱] و اووکیست کریپتواسپریدیوم[۲] جز ✡ عوامل میکربی بیماریزایی هستند که در سالهای اخیر به دلیل ایجاد مشکلات بیشمار، مورد توجه محققان و بهره برداران تصفیه خانه های آب قرار گرفته اند.

ژیاردیا لامبلیا یک تک یاخته تاژکدار است که دارای دو مرحله کیست و تروفوزوئیت است. تروفوزوئیت ژیاردیا در اثر شرایط نامساعد بسرعت نابود می گردد و به نظر نمی رسد که در انتشار بیماری نقشی داشته باشد. گزارش های بسیار زیادی در خصوص آلودگی آبهای خام و تصفیه شده به کیست ژیاردیا لامبلیا و همچنین اووکیست کریپتواسپوریدیوم وجود دارد.

والیس و همکارانش (۱۹۹۶) در ۷۳ درصد نمونه های فاضلاب خام، ۲۱ درصد نمونه های آب خام و ۱۸/۲ درصد نمونه های آب تصفیه شده، وجود ژیاردیا لامبیا را تشخیص دادند. این مقادیر برای کریپتواسپوریدیوم، به ترتیب ۶/۱، ۴/۵ و ۳/۵ درصد بوده است.

کارنیز و سیتز (۱۹۹۶) آب خام، تصفیه شده و پساب شست و شوی معکوس شش تصفیه خانه را در آلمان مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعات مشخص گردید که ۲۱ درصد نمونه های آب تصفیه شده، آلوده به ژیاردیا و ۳۶/۴ درصد، آلوده به کریپتواسپریدیوم است. این ارقام در مورد پساب شست و شوی معکوس، به ترتیب ۸۴ و ۸۲ درصد بوده است. لی شوالیر ونورتن(۱۹۹۵)نتایج پایش سیستم های آب سطحی و آشامیدنی امریکا را تهیه کردند. براساس این گزارش ژیاردیا در ۵۲ درصد آبهای سطحی مشاهده گردیده است. آدرهالت و همکارانش (۱۹۹۸) مطالعاتی را در مورد اثر بارندگی بر غلظت اوکیست های کریپتواسپوردیوم و کیست های ژیاردیا در رودخانه دلاوار[۳] انجام دادند. در این مطالعات بارندگی عامل اصلی در افزایش غلظت هر دو میکروارگانیسم بود و ارتباطی بین افزایش تعداد میکرو ارگانیسم ها و افزایش کدورت ناشی از معلق شدن رسوبات کف رودخانه و شست و شوی خاک توسط رواناب ها وجود داشت.

با توجه به وفور آبهای آلوده به کیست ژیاردیا و نقش صافی ها در حذف آلاینده های میکربی در تصفیه خانه های آب سطحی در بسیاری از استانداردهای کیفی آب دنیا، بازده حذف مشخصی به عنوان حداقل بازده مورد انتظار برای صافی ها در نظر گرفته می شود. از جمله براساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست امریکا حداقل بازده حذف کیست ژیاردیا می باید معادل log ۳ باشد. محققان مختلف، کارایی حذفی بین ۲/۵ تا ۴ log را برای صافی ها لازم دانسته و ارتباط بین بازده حذف و میزان کدورت آب خروجی از صافی ها را مورد بررسی قرار داده اند. از جمله پاتانیا و همکارانش (۱۹۹۵) براساس تحقیقات انجام داده ضمن عدم مشاهده ارتباطی بین بازده حذف کیست و اووکیست با کدورت آب خروجی از صافی، ارتباطی بین کدورت و حداقل بازده مورد انتظار یافته اند. براساس پیشنهاد این محققان برای دستیابی به log ۳ حذف باید کدورت آب خروجی از صافی، حداکثر ۰/۱ ان- تی- یو باشد.

براساس استانداردهای ملی کدورت آب خروجی از صافی ها در تصفیه خانه های آب سطحی می باید حداکثر ۱ ان- تی- یو باشد بنابراین در این تحقیق به منظور بررسی وسیع تر موضوع نسبت به محققان قبلی و بررسی کفایت استاندارد ملی کدورت یک مجموعا آزمایش پایلوتی به شرح زیر صورت پذیرفت.

ابزار و روش تحقیق

این تحقیق با استفاده از مطالعات پایلوت انجام پذیرفت همان گونه که در شکل شماره (۱) نشان داده شده است، پایلوت شاما واحد تهیه آب خام، واحد انعقاد و لخته سازی، حوضچه تقسیم و انداز گیری جریان، واحد فیلتراسیون و سیستم شست و شوی معکوس اس واحد تهیه آب خام از دو مخزن استوک کدورت و کیست ژیاردیا (هریک مجهز به همزن و پمپ تزریق قابل تنظیم و یک مخزن با ارتفاع ثاب مجهز به همزن) تشکیل گردیده است. مخزن با ارتفاع ثابت از طری یک لوله به سیستم لوله کشی آب شهر متصل بوده و ارتفاع آب درو آن توسط شناور ثابت نگه داشته می شد. محلول های حاوی کیس ژیاردیا و گل رس (مولد کدورت) به وسیله پمپ های تزریق به میز مورد نظر به این مخزن افزوده و آب خام با کیفیت دلخواه تهی می گردید. میزان کدورت مورد نظر آب خام براساس توصیه کلسبی

همکاران (۱۹۸۴) بین ۱۲ تا ۱۶ ان- تی- یو و تعداد کیست ژیاردیا به منظور توانایی اندازه گیری 10^5 عدد در لیتر تنظیم می گردید.

یادآوری این نکته ضروری است که کیست ژیاردیای مورد استفاده از مدفوع بیماران مبتلا به ژیاردیا لامبلیا جداسازی و پس از غیرفعال کردن مورد استفاده قرار می گرفت. آب خام سپس وارد واحد اختلاط سریع می گردید؛ در این واحد پس از افزودن پنج میلی گرم در لیتر کلرورفریک در مدت زمان ۲۰ ثانیه و تحت گرادیان سرعت ۹۰۰ (ثانیه/ ۱)، فرایند انعقاد انجام می گرفت و پس از انجام لخته سازی در واحد لخته سازی آب به مخزن تقسیم که مجهز به دو سر ریز مثلثی ۳۰ درجه بود، هدایت می گردید. هر بخش از جریان تقسیم شده پس از اندازه گیری مجدد توسط روتامتر وارد یک ستون صافی می گردید.

ستون های صافی از جنس پلکسی گلاس با قطر ۲۰۰ میلیمتر و ارتفاع ۲ متر ساخته شده بود. این قطر براساس توصیه استاندارد شماره ۴۱۸۸، ای- اس- تی- ام (ASTM) برای کاهش اثر دیواره انتخاب گردید. همچنین با انجام آزمایش ستون خالی و آزمایش ردیاب، میزان اثر دیواره مورد بررسی قرار گرفت.

روی هر ستون هفت لوله مانومتر برای اندازه گیری افت ارتفاع و هفت شیر نمونه برداری از جنس پلی اتیلن نصب گردیده بود. همچنین صافی ها به منظور شست و شوی معکوس مجهز به پمپ آب و دمنده هوا با دبی کافی برای شناور سازی کامل بودند. یکی از صافی ها تک لایه و صافی دوم سه لایه یا صافی با بستر مخلوط بوده است. در مسیر خروجی هر صافی یک جعبه مجهز به شناور به منظور کنترل نرخ فیلتراسیون نصب گردیده بود.

به منظور بررسی اثر تغییر عوامل متفاوت روی کیفیت آب خروجی از صافی های تک و سه لایه، آزمایش هایی برای تعیین اثر دانه بندی، نرخ فیلتراسیون و انعقاد و لخته سازی بر روی بازده حذف کدورت انجام پذیرفت برای تعیین اثر دانه بندی، سه نوع اندازه مؤثر برای هر صافی مورد آزمایش قرار گرفت. در هر مورد، معیار اصلی اندازه موثر ماسه ها بود و اندازه سایر مصالح با توجه به آن تعیین گردید. ریزترین اندازه موثر به کار رفته برای ماسه ها ۰/۴۵ میلیمتر بود. این اندازه در محدوده مقادیر توصیه شده توسط استاندارد ایران (شریه ۳- ۱۲۱) برای صافی های تصفیه خانه های آب و مشابه استاندارد ده ایالت امریکاست. درشت ترین اندازه مؤثر، یعنی ۰/۸ میلیمتر، مقدار متداول در اکثر صافی های اروپایی بکار گرفته در تصفیه خانه های آب کشور و اندازه مؤثر ۰/۶ میلیمتر به عنوان متوسط انتخاب گردید. با توجه به لزوم حفظ لایه بندی در صافی سه لایه پس از شست و شوی معکوس، سرعت شناورسازی هر سه لایه می باید یکسان باشد. بدین منظور با استفاده از رابطه (۱) با داشتن دانسیته مصالح مورد نظر و دانستن اندازه مؤثر ماسه های سیلیسی، اندازه مؤثر سایر مصالح محاسبه گردید.

$$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{p_2 - p_w}{p_1 - p_w}\right)^{0.667} (1) \qquad (۱)$$

در این رابطه d_1 و d_2 اندازه مؤثر و p_1 و p_2 دانسیته مصالح کافی است، p_w نیز دانسیته آب است. بر این اساس مشخصات بستر صافی ها به شرح جدول شماره (۱) بوده است.

جدول شماره (۱): مشخصات بستر صافی ها

ردیف	نوع صافی	جنس مصالح	جرم حجمی (گرم بر سانتیمتر مکعب)	اندازه مؤثر (d_{10}) (میلیمتر)			عمق بستر (سانتیمتر)
۱	تک لایه	ماسه سیلیس	۲/۶۲	۰/۴۵	۰/۶۰	۰/۸۰	۸۵
۲	سه لایه	آنتراسیت	۱/۶۰	۰/۸۷	۱/۱۶	۱/۵۵	۴۰
		ماسه سیلیسی	۲/۶۲	۰/۴۵	۰/۶۰	۰/۸۰	۳۵
		گارنت	۴/۰۰	۰/۲۹	۰/۳۹	۰/۵۳	۱۰

تأثیر نرخ فیلتراسیون با اعمال سه نرخ ۵، ۱۰ و ۱۵ متر در ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت. نرخ ۵ تا ۱۰ متر در ساعت مقدار متداول برای صافی های تک لایه و نرخ ۱۰ تا ۱۵ متر در ساعت مقدار متداول برای صافی های چند لایه است.

به منظور بررسی اثر انعقاد و لخته سازی، سه وضعیت خوب، ضعیف و بد ارزیابی شد. در وضعیت خوب، میزان تزریق ماده منعقد کننده ۵ میلی گرم در لیتر و براساس وضعیت لخته سازی خوب در آزمایش جارتست، در وضعیت ضعیف میزان تزریق ماده منعقد کننده ۱/۵ میلی گرم در لیتر بود و وضعیت بد بدون تزریق منعقد کننده صورت پذیرفت.

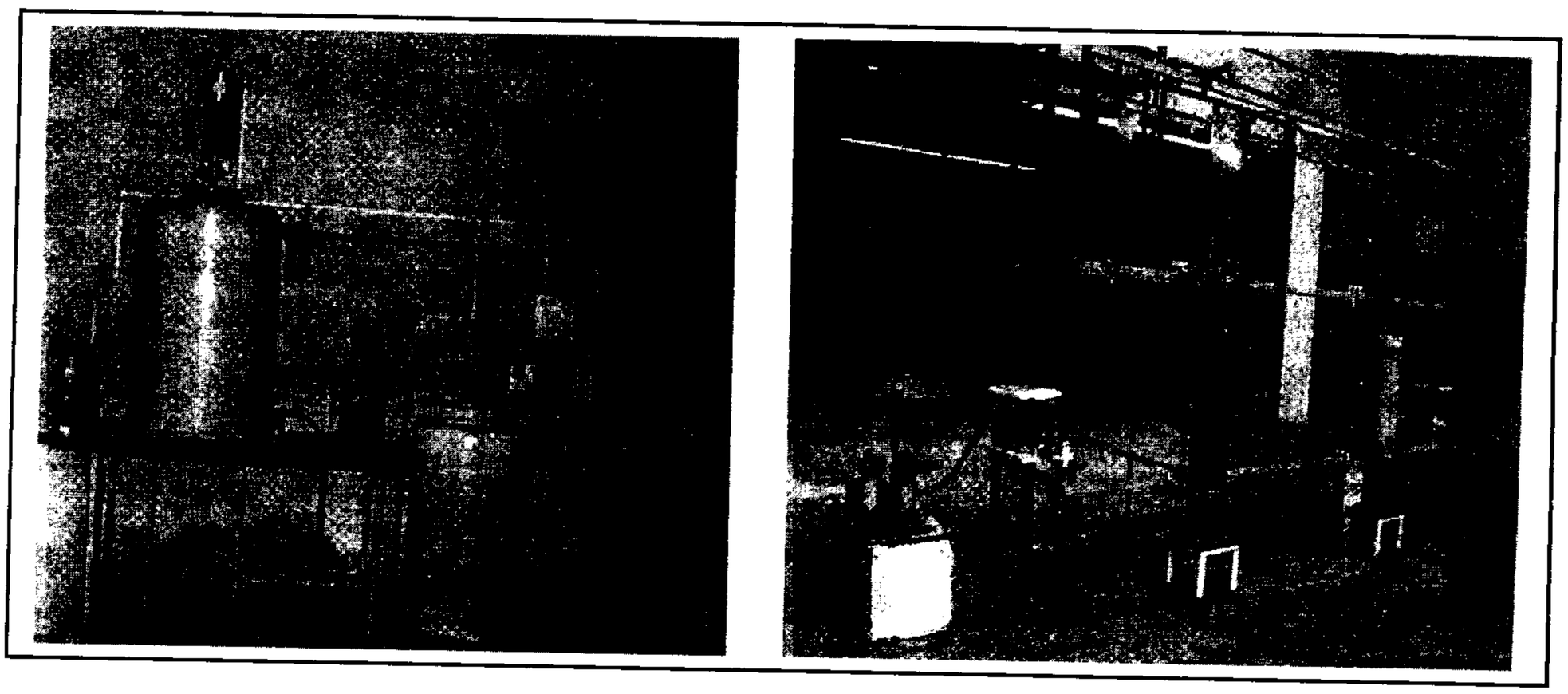
جمع آوری و آنالیز نمونه ها برای کیست ژیاردیا براساس روش 9711 B کتاب روشهای استاندارد آزمایش آب و فاضلاب[۴] انجام

گرفت. همچنین کدورت نیز با روش استاندارد (ASTM-D-1889-94) اندازه گیری می گردید. براساس روش B – ۹۷۱۱ برای جمع آوری نمونه های کیست ژیاردیا از کارتریج فیلترهایی از جنس پلی پروپیلن[۵] با قطر روزنه یک میکرومتر استفاده گردید. کارتریج های مورد نظر به خروجی هر صافی پس از جعبه کنترل نرخ متصل بود. فشار لازم توسط دو دستگاه پمپ سانتریفوژ تأمین می گردید.

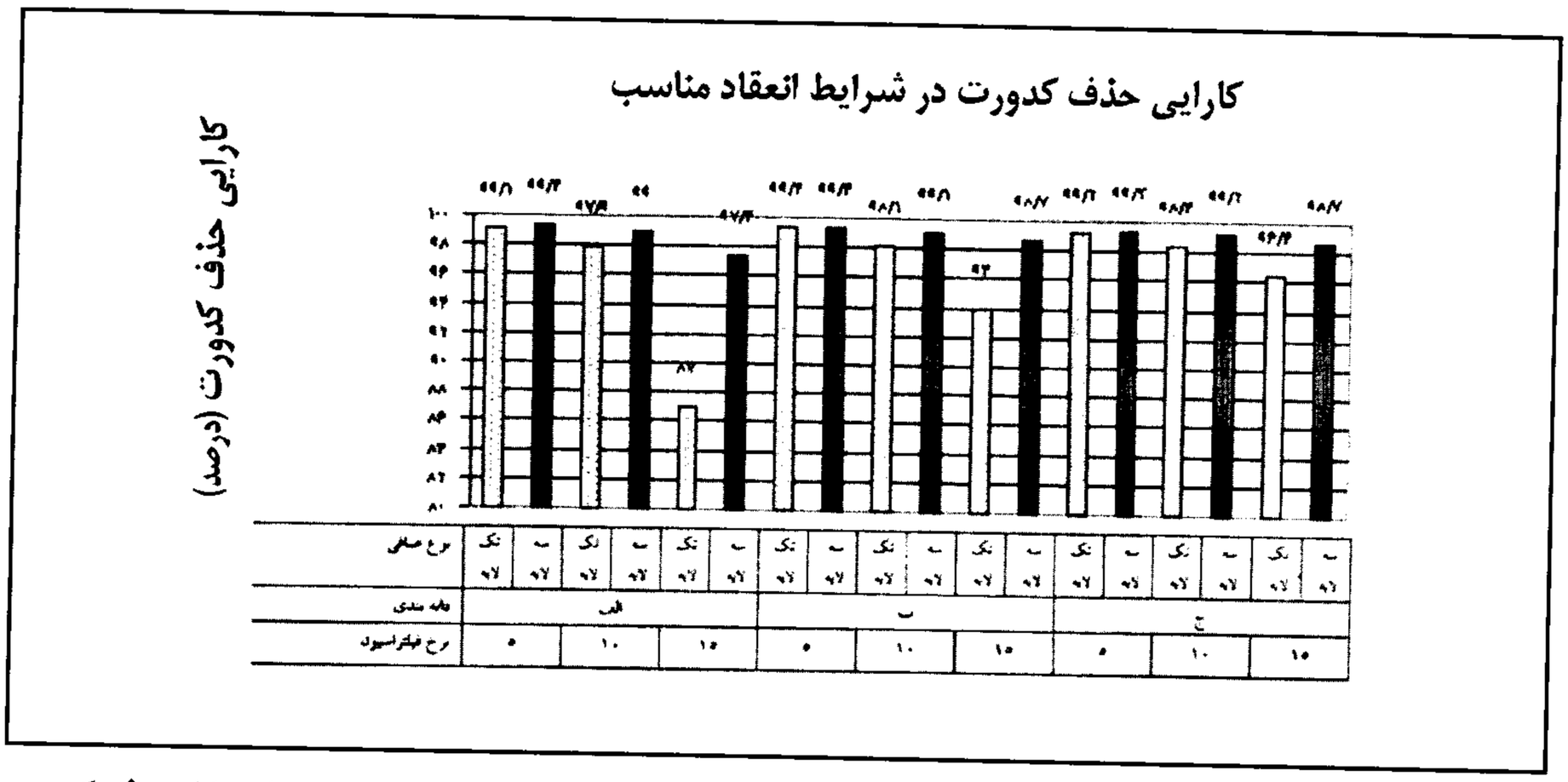
با توجه به موارد سابق الذکر، در مجموع ۵۴ حالت مختلف و هر حالت به منظور بررسی تکرارپذیری در سه دوره فیلتراسیون کامل، مورد بررسی قرار گرفت. نمونه های کدورت به صورت ساعتی و هر نمونه ژیاردیا، حاصل عبور حدود ۱۰۰۰ لیتر آب از کارتریج فیلتر است. البته در برخی از دوره ها به دلیل کوتاه بودن دوره فیلتراسیون نمونه های کمتر از ۱۰۰۰ لیتر نیز وجود دارد.

یافته ها

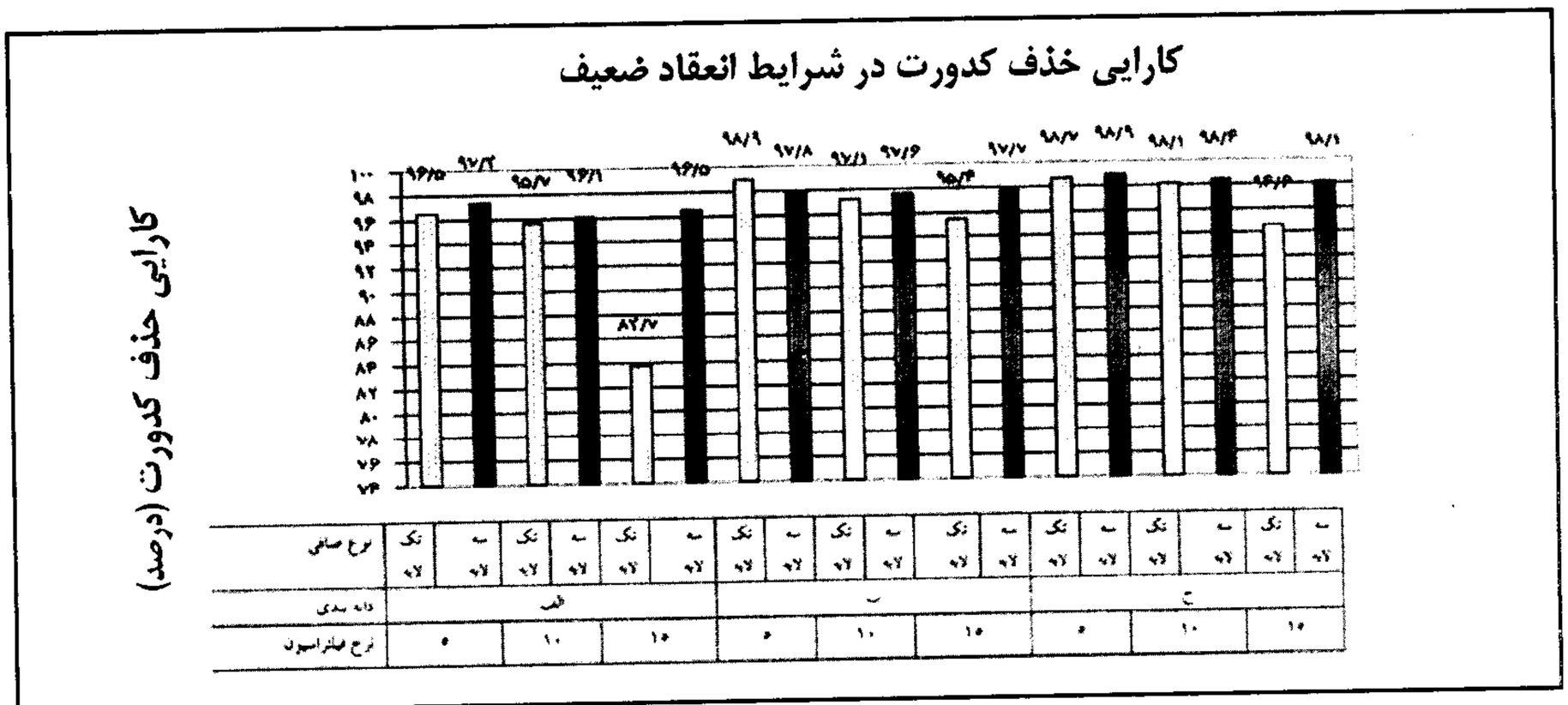
خلاصه نتایج حاصل از آزمایش های فوق در شکل های شماره (۲ تا ۷) ارائه گردیده است.



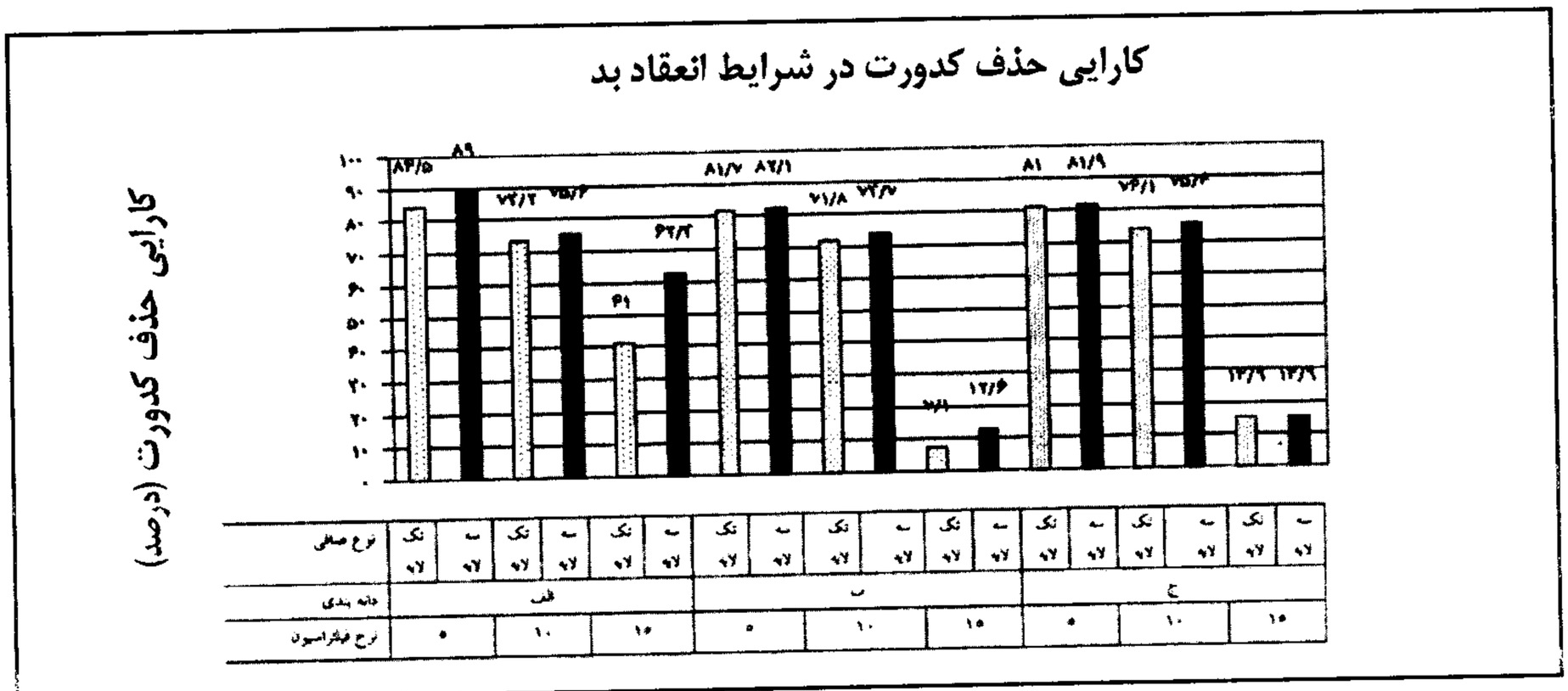
شکل شماره (۱): نماهایی از پایلوت مورد استفاده در تحقیق



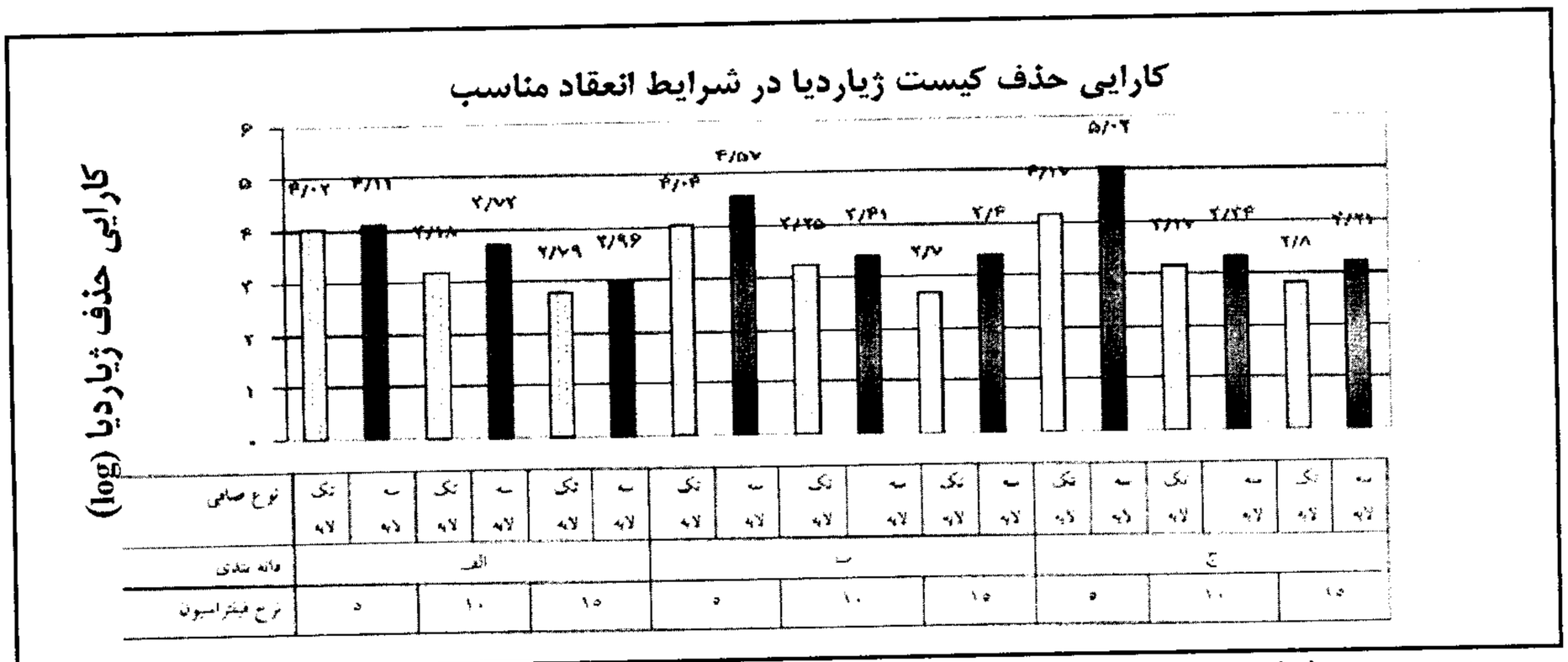
شکل شماره (۲): کارایی حذف کدورت در شرایط انعقاد مناسب با تزریق پنج میلی گرم در لیتر کلرورفریک



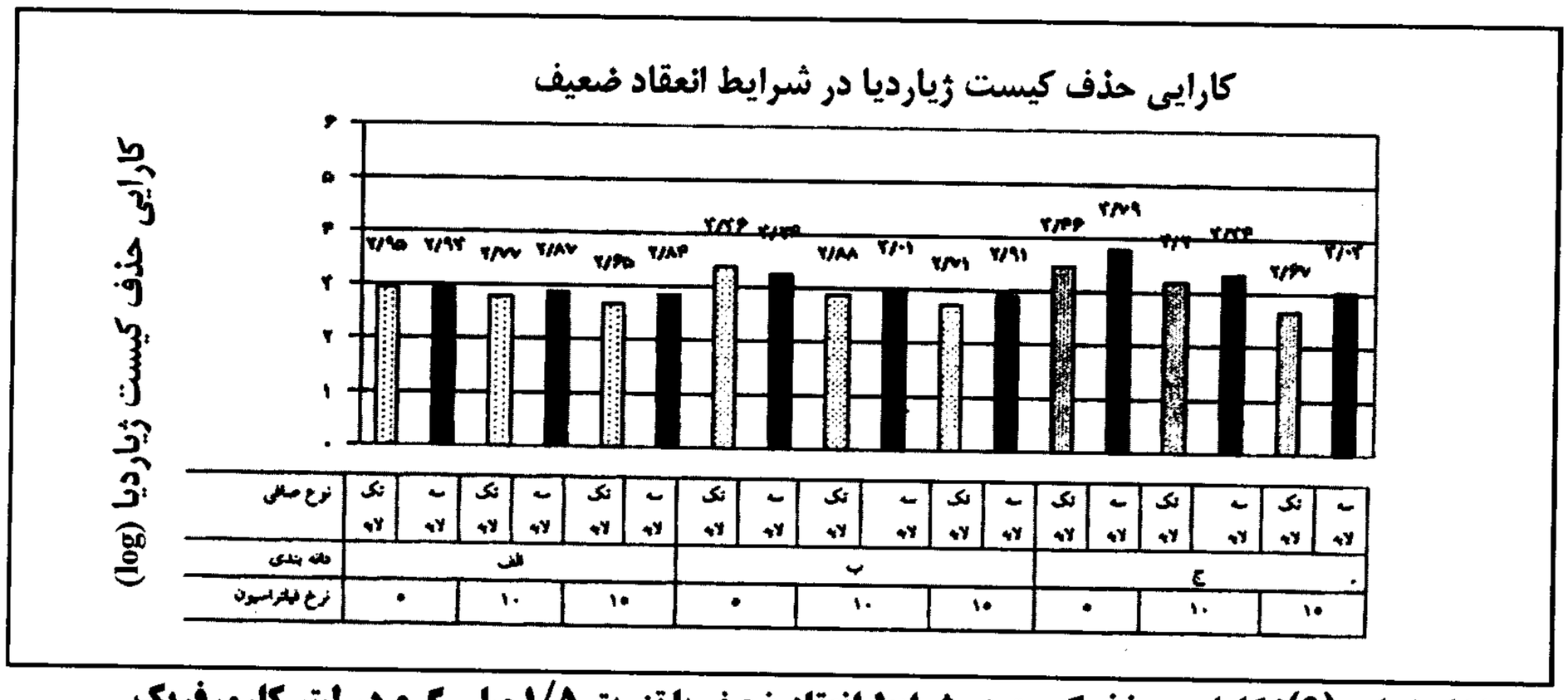
شکل شماره (۳): کارایی حذف کدورت در شرایط انعقاد ضعیف با تزریق ۱/۵ میلی گرم در لیتر کلرورفریک



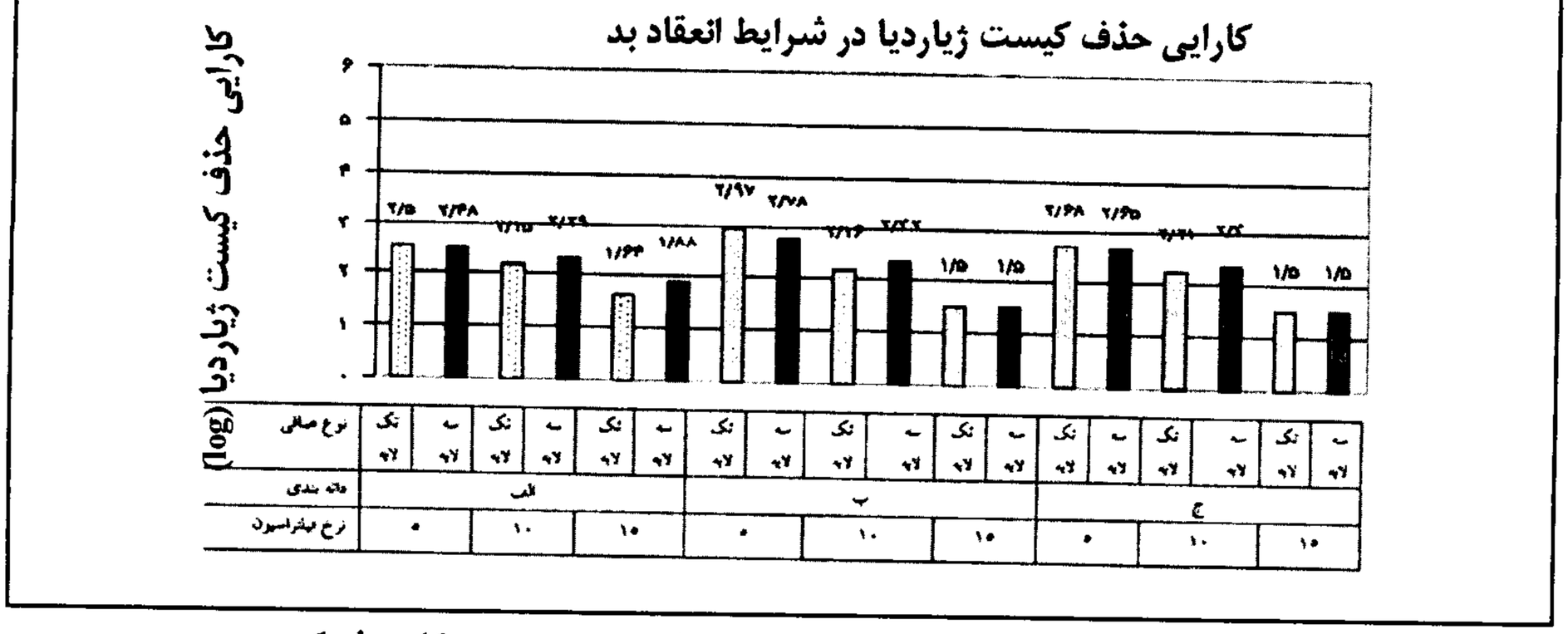
شکل شماره (۴): کارایی حذف کدورت در شرایط انعقاد بد بدون تزریق کلرورفریک



شکل شماره (۵): کارایی حذف کیست در شرایط انعقاد مناسب با تزریق پنج میلی گرم در لیتر کلرورفریک



شکل شماره (۶): کارایی حذف کیست در شرایط انعقاد ضعیف با تزریق ۱/۵ میلی گرم در لیتر کلرورفریک



شکل شماره (۷): کارایی حذف کیست در شرایط انعقاد بد بدون تزریق کلرورفریک

همانگونه که مشخص است نمودارهای شکلهای (۲ تا ۴)، نتایج کارایی حذف کدورت و ۵ تا ۷، نتایج کارایی حذف کیست ژیاردیا را خلاصه کرده اند.

پس از جمع آوری نتایج مطالعات پایلوت به منظور تعیین وجود و چگونگی ارتباط بین بازده حذف کیست ژیاردیا (برحسب لگاریتم حذف) و کدورت آب خروجی از صافی اقدام به برازش منحنی به روشهای مختلف، آنالیز واریانس و تعیین بهترین ارتباط بین دو متغیر گردید. روشهای به کار گرفته شامل رگرسیون لگاریتمی، سه بعدی، توانی، رشد و نمایی است که نتایج حاصل در جداول و روابط شماره (۲ الی ۶) ارائه گردیده است.

جدول شماره (۲): نتایج آنالیز واریانس (روش رگرسیون لگاریتمی)

	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
رگرسیون[۶]	۱	۲۰/۳۶۹۳۰۳	۲۰/۳۶۹۳۰۳
باقیمانده[۷]	۵۲	۵/۱۳۰۱۲۹	۰/۰۹۸۶۵۶
F=۲۰۶/۴۶۷۳۰	Signif F=۰/۰۰۰۰		R^2=۰/۷۹۸۸۱

C=2.84584-0.40899861nT (۲)

جدول شماره (۳): نتایج آنالیز واریانس
(روش رگرسیون سه بعدی)

میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
۵/۷۰۳۲۶۹۳	۱۷/۱۰۹۸۰۸	۳	رگرسیون
۰/۱۶۷۷۹۲۵	۸/۳۸۹۶۲۴	۵۰	باقیمانده
R^2=۰/۶۷۰۹۹	Signif F=۰/۰۰۰۰		F=۳۳/۹۹۰۰۲

$C=3.539393-0.537864T+0.057028T^2-0.001912T$ (۳)

جدول شماره (۴): نتایج آنالیز واریانس
(روش رگرسیون توانی)

میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
۲/۴۷۰۱۷۱۸	۲/۴۷۰۱۷۱۸	۱	رگرسیون
۰/۰۰۸۰۱۹۴	۰/۴۱۷۰۰۸۶	۵۲	باقیمانده
R^2=۰/۸۵۵۵۱	Signif F=۰/۰۰۰۰		F=۳۰۸/۰۲۴۶۸

$C=2.770095T^{0.142424}$ (۴

جدول شماره (۵): نتایج آنالیز واریانس
(روش رگرسیون رشد)

میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
۱/۶۵۳۸۴۹۴	۱/۶۵۳۸۹۴	۱	رگرسیون
۰/۰۲۳۷۱۷۹	۱/۲۳۳۳۳۱۰	۵۲	باقیمانده
R^2=۰/۵۷۲۱	Signif F=۰/۰۰۰۰		F=۶۹/۷۳۰۰۰

$C=e^{(1.168719)}$ (

جدول شماره (۶): نتایج آنالیز واریانس
(روش رگرسیون نمایی)

میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
۱/۶۵۳۸۴۹۴	۱/۶۵۳۸۴۹۴	۱	رگرسیون
۰/۰۲۳۷۱۷	۱/۲۳۳۳۳۱۰	۵۲	باقیمانده
R^2=۰/۵۷۲	Signif F=۰/۰۰۰۰		F=۶۹/۷۳۰۰۰

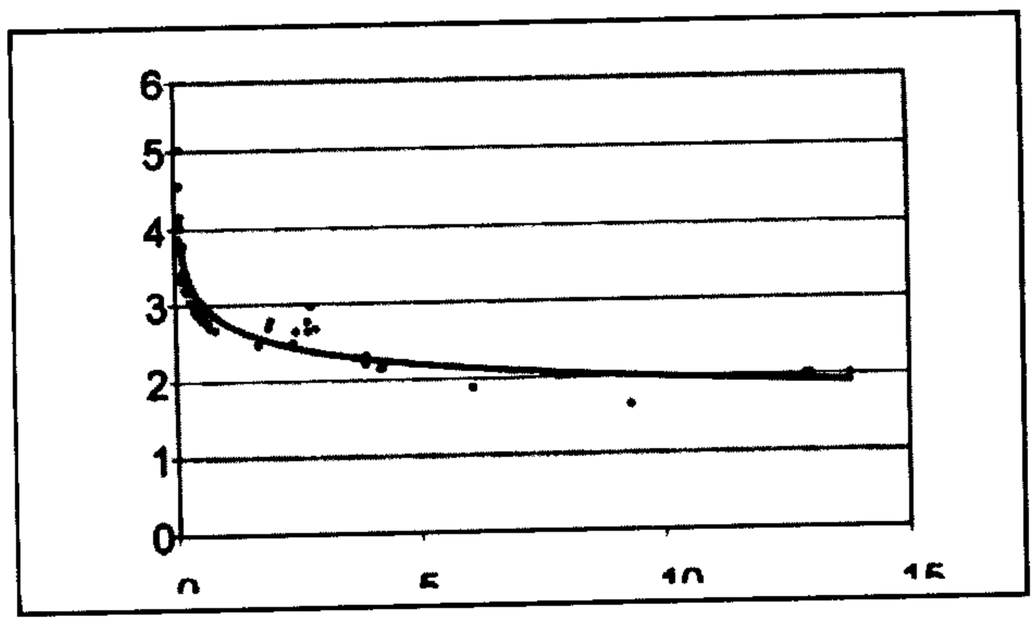
$C=3.217867e^{-0.49168T}$

در کلیه روابط سابق الذکر (T) میزان کدورت برحسب تی- یو و (C) میزان لگاریتم حذف کیست ژیاردیا می باشد.

بحث و نتیجه گیری

نمودارهای شکل های (۲) الی (۷) اطلاعات خوبی در مورد تأثیر عواملی چون اندازه مؤثر، نرخ فیلتراسیون، میزان تزریق مواد منعقد کننده و نوع صافی بر کارایی حذف کدورت و کیست ژیاردیا در اختیار می گذارد. لیکن در این مقاله تنها ارتباط بین کدورت آب صاف شده و کارایی حذف کیست ژیاردیا مورد بحث قرار می گیرد. به دلیل ساده و کم هزینه بودن اندازه گیری کدورت در صورت وجود ارتباط مناسب بین دو مشخصه، کمک شایان توجهی به بهره برداری از تصفیه خانه های آب می نماید.

با بررسی مدل های مختلف برازش شده مشخص می گردد که روش رگرسیون توانی دارای بهترین برازش بوده و R^2 در این روش دارای بالاترین مقدار و معادل ۰/۸۵۵۵۷ است. بنابراین ارتباط مناسبی بین میزان کدورت خروجی از صافی ها در شرایط مختلف و لگاریتم حذف کیست ژیاردیا وجود دارد. شکل شماره (۸) این ارتباط را نشان می دهد. براساس این مدل در صورتی که قرار باشد، ۹۹/۹ درصد (۳ log) کیست ژیاردیا توسط صافی ها حذف گردد، می باید متوسط کدورت خروجی از صافی در حد ۰/۵ ان- تی- یو باشد. بنابراین به نظر می رسد استاندارد ملی کدورت خروجی از صافی ها به منظور تضمین سلامت مصرف کنندگان می باید مورد بازنگری قرار گرفته و براساس نتایج حاصل از تحقیقات قبلی، این تحقیق و تحقیقات تکمیلی بر روی تصفیه خانه های با اندازه واقعی اصلاح گردد.



شکل شماره (۸): منحنی مدل رگرسیون توانی

یادداشت ها

1- Giardia cysts
2- Cryptosporidium Oocysts
3- Delware
4- Standard Method for the Examination of Water and Waste Water
5- Poly propylene
6- Regression
7- Residuals

منابع مورد استفاده

Atherholt, T. B. et al., 1998. Effect of Rainfall on Giardia and Crypto. J. AWWA. 90: 9: 66.

Karanis. P. and Seitz, H. M. 1996. Occurrence and distribution of Giardia and Cryptosporidium in raw and Finished Waters Produced from Surface Water. GWF-Wasser/ Abwasser 137: 2: 44.

Lechevallier, M. W. and Norton, W. D. 1995. Giardia and Cryptosporidium in Raw and Finished Water. J. AWWA. 89: 9: 84.

Patania, N. et al., 1995. Optimization of Filtration for Oocyst Removal, Awwarf.

Sawyer C. N. and McCarty P. L. 1978. Chemistry for environmental engineering. McGraw Hill Book Company.

US- EPA. 2002. National Primary Drinking Water.

Wallis, P. M. et al., 1996. Prevalence of Giardia Cysts and Cryptosporidiom Oocysts and Characterization of Giardia SPP. Isolated from drinking water in Canada. J. Applied and Environmental Microgiology 52:8:2789.