Modeling for Forecasting Optimum Dose of Coagulant in Iran Water Treatment Plants

Ghanadi, M.(MSc), Akbarzadeh, A., (M.Sc), Shariat, M.(Ph.D),
Naseri, S. (Ph.D), Pazouki, (M.Sc),
Tehran University of Medical Sciences

Abstract

For determination of the experimental equations efficiency and specify of statistical model which can be applied as a proper basis for forcasting of coagulant optimum dose, a number of 485 samples were collected from eight water treatment plants including Ahwaz, Mashad, Rasht, Banderabbas, Sanandaj, Garmsar, Hamedan, and Esfahan.

According to the results of this research and with respect to different kind of coagulants used in Iran, proposed Voznaya model, can not be applied for Iranian water treatment plants because in this model kind of coagulants and its application range are not specified.

Two statistical models had been obtained for ferric chloride (R^2 = 0. 86 and R=0.92) and Alume (R=0. 96, R^2=0.93) with regard to three parameters of related quantitative variable of coagulant doses, independent quantitative variable of turbidity and related qualitative variable of coagulant type. Statistical calculations showed, with regard to 0.05 and 0.1 for type one and type two error respectively, the volume of samples are determined 9 and 10.

مدل پیش‌بینی مقدار مناسب تزریق ماده‌ی منعقد کننده در تصفیه‌خانه‌های آب ایران

(دریافت۸۰/۱۰/۲۹ پذیرش۸۱/۲/۱۵)

مجید قنادی* علیرضا اکبرزاده ** محمود شریعت*** سیمین ناصری**** داود پازوکی*

چکیده

به منظور تعیین میزان کارایی روابط تجربی موجود و تبیین مدل آماری که مبنای مناسبی برای پیش‌بینی میزان تزریق ماده‌ی منعقد کننده در تصفیه‌خانه‌های آب ایران قرار گیرد، تعداد ٤٨٥ نمونه از آزمون سالانه‌ی جار و عامل‌های وابسته به آن، از هشت تصفیه‌خانه‌ی آب در شهرهای اهواز، مشهد، رشت، بندرعباس، سنندج، گرمسار، همدان و اصفهان برداشت گردید. بر مبنای نتایج به دست آمده و با توجه به تنوع مواد منعقد کننده‌ی مصرفی در تصفیه‌خانه‌های آب ایران، مدل پیشنهادی وزنایا[1] به دلیل مشخص نبودن نوع ماده‌ی منعقد کننده و دامنه‌ی کاربرد آن، از کارایی مناسب در تصفیه‌خانه‌های آب ایران برخوردار نیست. با در نظر گرفتن سه عامل : متغیر کمی وابسته‌ی میزان تزریق ماده‌ی منعقدکننده، متغیر کمی مستقل کدورت و متغیر کیفی مستقل نوع ماده‌ی منعقد کننده، دو مدل آماری برای تزریق کلرورفریک (R^2=۰/۸٦ و R = ۰/۹۲) و سولفات آلومینیوم (R^2=۰/۹۳ و R = ۰/۹٦) در تصفیه‌خانه‌های آب ایران به دست آمد. آنالیزهای آماری با در نظر گرفتن مقادیر ۰/۰۵ و ۰/۱ به ترتیب برای خطای نوع اول و دوم، و بهره‌گیری از فرمول برآورد حجم نمونه در بررسی ارتباط معنی‌دار بین دو متغیر کمی، تنها تعداد ۹ و ۱۰ نمونه را به دلیل بالا بودن ضریب رگرسیون مدل‌های به دست آمده برای آلوم و کلرورفریک کافی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه آب، ماده منعقد کننده، مدل، ایران

مقدمه

گسترش اجتماعات شهری و عدم تکافوی منابع زیرزمینی برای تأمین آب شرب آن‌ها سبب شده است تا بخشی از نیاز آبی شهرها از منابع سطحی تأمین شود. بر پایه‌ی اطلاعات موجود، سابقه‌ی تصفیه‌ی آب در ایران به شیوه‌ی امروزی به حدود ٦۰ سال قبل باز می‌گردد. اولین تصفیه‌خانه‌ی آب شهری ایران مشتمل بر پنج واحد حوضچه‌ی ته‌نشینی، در سال ۱۳۱۷، در شهر اهواز احداث گردید. از آن پس، تعداد و اهمیت تصفیه‌خانه‌های آب در تأمین آب شهری کشور به تدریج افزایش یافت، به طوری که در پایان سال ۱۳۷۷ ، هفتاد تصفیه‌خانه‌ی آب شهری، با مجموع توان اسمی ۵۲/٦۳ مترمکعب بر ثانیه و ظرفیت بهره‌برداری ۵۳/۱٦ مترمکعب بر ثانیه، بالغ بر ٤٤درصد از آب شهری کشور را تأمین کرده‌اند. ۸٤/۵ درصد از این تصفیه‌خانه‌ها، به شیوه‌ی متعارف و با بهره‌گیری از واحدهای زلال‌ساز، صافی سازی و ... آب را تصفیه می‌کنند. در ۳ درصد از آن‌ها تصفیه آب تنها با بهره‌گیری از صافی‌های تند تحت فشار و یا بر پایه‌ی حذف عامل‌های مولد سختی از آب استوار است و از ۱۲/۵ درصد از آن‌ها نیز به دلیل‌های متعددی همچون فرسودگی تأسیسات، جایگزینی منابع آبی بهتر و ... بهره‌برداری نمی‌شود [۱ و ۲].

از نظرسابقه‌ی کار و طول عمر تأسیسات نیز ۹/۵ درصد از تصفیه‌خانه‌های آب ایران بیش از ٤۰ سال، ۱۸ درصد بین ۳۰ تا ٤۰ سال، ۲۱ درصد بین ۲۰ تا ۳۰ سال، ۱٤ درصد بین ۱۰ تا ۲۰ سال و ۲۷/۵ درصد از تصفیه‌خانه‌های آب کشور، کمتر از ۱۰ سال از زمان آغاز

* کارشناس ارشد شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
** کارشناس ارشد آمار حیاتی و دانشجوی دوره دکتری
*** استاد گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران
**** دانشیار گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

[1]- Voznaya

بهره‌برداری از آن‌ها گذشته است و تاریخ بهره‌برداری از ۲٤درصد از تصفیه‌خانه‌های آب کشور نیز به دلیل فقدان گزارش‌های فنی و بهره‌برداری در شرکت‌های متبوع آن‌ها، مشخص نیست. استان خوزستان با دارا بودن ۲۷ تصفیه‌خانه‌ی آب، بیشترین تعداد تصفیه‌خانه‌های آب را در کشور به خود اختصاص داده است؛ در حالی که بیشترین ظرفیت تصفیه‌ی آب در ایران در استان تهران با توان تصفیه‌ی ۱۹/۷۸ مترمکعب بر ثانیه قرار دارد [۱].

استفاده از مواد شیمیایی در فرایندهای تصفیه‌ی آب، به منظور تسریع در تصفیه‌ی آب و بهبود کارایی آن‌ها، یک عمل متداول در تصفیه‌خانه‌های آب است، به طوری که در صورت کارکرد صحیح واحدهای انعقاد و لخته‌سازی، کدورت آب خروجی از واحدهای زلال‌ساز به کمتر از ۱۰ واحد NTU کاهش خواهد یافت و در نتیجه‌ی آن ضمن افزایش کارایی صافی‌ها، دوره‌ی کارکرد آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. بر طبق آخرین قوانین تصفیه‌ی آب سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (EPA) ، در صورت کارکرد صحیح تصفیه‌خانه‌ی آب، ۳ واحد لگاریتم کیست ژیاردیا، ٤ واحد لگاریتم ویروس‌ها، و ۲ واحد لگاریتم کیست کریپتوسپوریدم از آب حذف خواهد شد که سهم واحدهای زلال‌ساز و صافی‌سازی در زدایش این عامل‌ها از آب به ترتیب بالغ بر ۲/۵ و ۲ واحد لگاریتم است.

در سال ۱۳۷۸ برای تصفیه‌ی ۱/۵ میلیارد مترمکعب آب در تصفیه‌خانه‌های آب ایران، بالغ بر ۲/۳۲ هزار تن آلوم ، ۳/۸۳۱ هزار تن کلرورفریک، ۰/۷۳٤ هزار تن آهک و ٤/٤۱ تن پلی‌الکترولیت به مصرف رسیده است که به مراتب کمتر از میزان مصرف این مواد در سال‌های گذشته است (جدول ۱). به رغم نوسان‌های کمی و کیفی در میزان مصرف مواد شیمیایی در تصفیه‌خانه‌های آب کشور، که ناشی از تغییر نوع ماده‌ی منعقد کننده در برخی از تصفیه‌خانه‌های آب از جمله پنج تصفیه‌خانه‌ی آب در شهر اهواز با مجموع توان اسمی ٤/۸۷ مترمکعب بر ثانیه، و تصفیه‌خانه‌ی آب خرمشهر با ظرفیت اسمی ۰/۸۳ مترمکعب بر ثانیه بوده است، سولفات آلومینیوم هنوز مهمترین ماده‌ی منعقد کننده در تصفیه‌خانه‌های آب کشور محسوب می‌شود، به طوری که در پایان سال ۱۳۷۷، ٦۳/۵ درصد از تصفیه‌خانه‌های آب کشور از سولفات آلومینیوم به عنوان ماده‌ی منعقد کننده استفاده کرده‌اند [۲].

تعیین مقدار مناسب تزریق ماده‌ی شیمیایی به آب به روش‌های متعددی همچون آزمون جار، تعیین پتانسیل زتا، اندازه‌گیری جریان الکتریکی مایع و سرانجام بهره‌گیری از روابط تجربی صورت می‌گیرد، که شرح کامل آن‌ها در کتب مرجع آمده است[۱۱، ۹، ٦ و٤]. آزمون جار متداول‌ترین روش تعیین مقدار مناسب تزریق ماده‌ی منعقد کننده در تصفیه‌خانه‌های آب است. این آزمون هر چند که نام آزمایش را به همراه خود دارد، اما در واقع یک آزمایش، همانند سایر آزمون‌های آب و فاضلاب نیست. آزمون جار در حقیقت مدل کوچکی از آنچه که در تزریق ماده‌ی شیمیایی در تصفیه‌خانه صورت می‌گیرد، است. از این رو شرایط آزمون باید تا حد امکان با شرایط واقعی تصفیه‌خانه در تزریق مواد شیمیایی هم‌خوانی داشته باشد. پیروی سرعت و زمان اختلاط سریع، اختلاط آرام و هم‌چنین زمان ته‌نشینی در آزمون جار، از واحدهای تصفیه‌خانه از الزامات این آزمون به شمار می‌رود و به همین دلیل است که در کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب، روش استانداردی برای انجام آزمون جار ارایه نشده است[۵].

جدول ۱- مقادیر مصرف مواد شیمیایی در تصفیه‌خانه‌های آب ایران طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۸.

سال / نوع ماده مصرفی (تن)	۱۳۷۵	۱۳۷٦	۱۳۷۷	۱۳۷۸
آلوم	۳۵۹۳/۳	۲٦۰۱	۲۵۸۷/۳	۲۳۲۰/۹٦۱
کلرورفریک	٤۵۰۷	٤۸۲۵	۵۱۳۰/٦	۳۸۳۱/۳٤
آهک	۸۰٦/۲	۸۹۵	۱۰۱۸/٦	۷۳٤/۱۷
پلی الکترولیت	۱۰	۲٤/٤	۱۰/۵	٤/٤۱
گاز کلر	۲۰۳۱/۸	۳۱۱۳/۲	۲۱۷۸/۱	۲۰۸۹/۲۵
پرکلرین	٤٦٤/۰۷۵	۱٤۸۲/۷	۲٦۲۷/۲	۲٤۹۳/۷۹

جدول ۲- روش انجام آزمون جار در تصفیه‌خانه‌های منتخب.

نام تصفیه‌خانه	اختلاط سریع		اختلاط آرام		زمان ته‌نشینی (دقیقه)
	سرعت دوران (دور در دقیقه)	زمان (دقیقه)	سرعت دوران (دور در دقیقه)	زمان (دقیقه)	
مشهد	۱۲۰	۳	٤۰	۲۰	۳۰
میناب	۱۲۰	۳	٤۰	۲۰	۳۰
اهواز	۱۲۰	۱	٤۰	۱۰	۳۰
گرمسار	۱۲۰	۱	٤۰	۲۰	۲۰
اصفهان	۱۲۰	۱	۳۰	۲۰	۲۰
رشت	۱۲۰	۱	٤۰	۲۰	۲۰
سنندج	۱۲۰	۱	٤۰	۲۰	۲۰
همدان	۱۲۰	۱	٤۰	۲۰	۲۰

بهره‌گیری از روابط به منظور تخمین حدود بهینه‌ی تزریق، افزون بر آن که سبب تسریع در تعیین مقدار مناسب ماده‌ی شیمیایی خواهد شد، رهنمود مناسبی نیز برای تعیین مقدار تزریق در مناطق و یا زمان‌هایی که امکان تعیین مقدار آن به روش آزمایشگاهی ممکن نیست، خواهد بود. وزنایا و بلان[1] اکنفلدر[2] مدل‌های متعددی را برای تعیین مقدار ماده‌ی منعقد کننده و آهک در تصفیه‌ی آب ارائه کرده‌اند [۷].

نمونه‌گیری و روش بررسی

به منظور بررسی میزان دقت و صحت مدل‌های موجود و تبیین مدل مناسب برای ایران، تعداد هشت تصفیه‌خانه‌ی آب که ضمن پوشش جغرافیایی کشور، از تنوع ماده‌ی منعقد کننده و واحدهای زلال‌ساز نیز برخوردار بودند، به عنوان نمونه انتخاب شد(جدول ۲) و نتایج آزمون جار یک سال آن‌ها (از هر واحد ده مورد) اخذ شد. برای کنترل صحت اطلاعات جمع‌آوری شده، با مراجعه به تصفیه‌خانه‌های منتخب، آزمون جار و عامل‌های وابسته به آن نظیر: کدورت، قلیاییت، pH، هدایت الکتریکی و دما تعیین مقدار گردید و سرانجام ٤۸۵ نمونه که از دقت و صحت کافی برخوردار بودند، برای تحلیل آماری برگزیده شد. تعداد نمونه‌ی لازم برای بررسی معنی‌داری ارتباط بین دو متغیر مستقل و وابسته‌ی کمی از رابطه‌ی زیر به دست آمد [۱۰]:

$$N = \left(\frac{Z\alpha/2 + Z\beta\sqrt{1-r^2}}{r}\right)^2 + 2$$

در این رابطه :

r : ضریب همبستگی برآورد شده

$\alpha/2$: خطای اول نوع آزمون

$Z(\alpha/2)$: نقطه‌ای از توزیع نرمال استاندارد که احتمال سمت راست آن برابر $\alpha/2$ باشد.

β : خطای دوم نوع آزمون

$Z\beta$: نقطه‌ای از توزیع نرمال استاندارد که احتمال سمت راست آن برابر β باشد.

بر مبنای رابطه‌ی فوق، حداقل تعداد نمونه‌ی لازم برای معنی‌دار بودن مدل‌ها تعیین مقدار آلوم و کلرورفریک، به ترتیب ۹ و ۱۰ نمونه به دست آمد، اما از آنجا که هدف اصلی این پژوهش، حصول مدل مناسب برای پیش‌بینی میزان تزریق ماده‌ی منعقد کننده بر حسب کدورت آب بوده است، برداشت نمونه از مناطق مختلف جغرافیایی کشور و در تمام فصول سال الزامی می‌نمود. از این رو تعداد نمونه‌ی بیشتری از آنچه برای بررسی معنی‌داری روابط لازم است، برداشت شد. آزمون جار در تصفیه‌خانه‌های آب، منتخب بر پایه مبانی طراحی هر یک از آن‌ها انجام شد. در مواردی که مبانی طراحی تصفیه‌خانه در اختیار نبود، از روش هادسون[1] در انجام آزمون جار که مبتنی بر اختلاط سریع به مدت یک دقیقه با دور RPM ۱۲۰، اختلاط آرام به مدت ۲۰ دقیقه با دور RPM ٤۰-۳۰ و زمان ته‌نشینی به مدت ۳۰ دقیقه است، استفاده شد[۳ و ٤]. تعیین مقدار کدورت، قلیائیت و ... نیز با بهره‌گیری از روش ارائه شده در چاپ بیستم کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب صورت گرفت. تحلیل آماری نتایج آزمون‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS, Ver.5 و مدل آماری رگرسیون غیرخطی انجام شد.

نتایج

نتایج حاصل از تعیین میزان کارایی مدل پیشنهادی وزنایا ($C = ۳/۵\sqrt{T}$) در ایران نشان داد که با توجه به کاربرد دو نوع ماده‌ی منعقد کننده (آلوم و کلرورفریک) در تصفیه‌خانه‌های آب ایران و مشخص نبودن نوع ماده‌ی منعقد کننده و دامنه‌ی کاربرد آن در مدل پیشنهادی وزنایا، این رابطه از قدرت کافی برای پیش‌بینی میزان مناسب تزریق ماده‌ی منعقد کننده در ایران برخوردار نیست. زیرا در مقایسه با سولفات آلومینوم، مقادیر مصرف کلرورفریک در تصفیه‌ی آب، به دلیل سنگین‌تر بودن املاح آهن، حلالیت کمتر هیدروکسیدفریک ($K_{sp}=۱/۵\times۱۰^{-۳۶}$) نسبت به هیدروکسید آلومینیوم ($K_{sp}=۲\times۱۰^{-۳۲}$) و دامنه‌ی pH موثر وسیع‌تر، کمتر از سولفات آلومینیوم بوده و مقدار مناسب تزریق آن معمولاً ۰/۷ میزان تزریق سولفات آلومینیوم است[۲].

تدوین مدل مناسب برای پیش‌بینی میزان مناسب تزریق ماده‌ی شیمیایی در ایران، با توجه به تنوع مواد منعقد کننده مصرفی در تصفیه‌خانه‌های ایران و با در نظر گرفتن سه متغیر زیر ممکن خواهد بود :

- متغیر کمی وابسته‌ی میزان تزریق ماده‌ی منعقد کننده
- متغیر کمی مستقل کدورت
- متغیر کیفی مستقل نوع ماده‌ی منعقد کننده

بر مبنای داده‌های به دست آمده، دامنه‌ی کدورت آب خام ورودی به تصفیه‌خانه‌های آب منتخب، در زمان‌های عادی کارکرد این تصفیه‌خانه‌ها، در اغلب موارد کمتر از ۵۰۰واحد NTU است، لذا به رغم وجود کدورت‌های بیش از ۲۰۰۰۰ واحد NTU در آب خام ورودی آن‌ها که به ندرت و اغلب در حالت‌های غیر عادی نظیر سیلاب‌های سنگین ایجاد می‌شود، داده‌های بیش از ۵۰۰ واحد NTU به عنوان (خارج از حد متعارف) حذف شد.

در تدوین مدل، ابتدا مدل اصلی با متغیر کمی وابسته‌ی میزان تزریق ماده‌ی منعقد کننده، متغیر کمی مستقل کدورت، متغیر کیفی نوع ماده‌ی منعقد کننده، همراه با اثر متقابل این دو متغیر مستقل برازش داده شد. به رغم آن که مدل به دست آمده از قدرت بالایی در تعیین مقدار مناسب ماده‌ی منعقد کننده در تصفیه‌خانه‌های آب ایران برخوردار بود (R^2=۰/٦۵ ،R=۰/۸۱ ،P-value = ۰/۰۰۰)، و در حالت استفاده از ماده‌ی منعقد کننده‌ی کلروفریک نیز کاملاً عاری از اشکال بوده، به طوری که خط رگرسیون برازش داده شده از مبدأ عبور می‌کرد (در هنگام صفر بودن کدورت، میزان تزریق ماده‌ی منعقد کننده نیز صفر است) اما در حالت استفاده از آلوم، خط رگرسیون از مبدأ عبور نمی‌کرد. این نقیصه سبب شد تا اثر متغیر کیفی مستقل نوع ماده‌ی منعقد کننده به طور جداگانه در تدوین مدل منظور شود، به گونه‌ای که خط برازش داده شده برای هر دو مدل از مبدأ عبور کند. به همین جهت داده‌های مربوط به کلرورفریک و آلوم از یکدیگر تفکیک و برازش مدل بر روی آن‌ها به طور جداگانه انجام شد و روابط زیر به دست آمد :

مدل تعیین مقدار مناسب تزریق کلرورفریک:

$$C_{Fe} = ٤/۸\ T^{۰/۱} \qquad (۱)$$

در این رابطه :

T : کدورت آب خام (بر حسب واحد NTU)

C_{Fe} : میزان مناسب تزریق کلرورفریک (برحسب میلی‌گرم در لیتر)

آنالیز واریانس، معنی‌دار بودن رابطه شماره‌ی یک را تأیید کرد (P-value=۰/۰۰۰۰) (جدول ۳). پس از تعیین معنی‌داری رابطه‌ی فوق، کارایی مناسب آن در پیش‌بینی میزان تزریق کلرورفریک در تصفیه‌خانه‌ی آب اهواز نیز تأیید شد (جدول ۵) و مقادیر بازه‌ی اطمینان ۹۵ درصد آن برای ضریب متغیر مستقل در مدل ۵/۲٦-٤/۲۹ تعیین گردید.

[1] Belan
[2] Eckenfelder

[1] Houdson

مدل تعیین مقدار مناسب تزریق آلوم

$$C_{Al} = ۱/۷۲\sqrt{T} \qquad (۲)$$

در این رابطه :

T : کدورت آب خام (بر حسب واحد NTU)

C_{Al} : میزان مناسب تزریق آلوم (بر حسب میلی‌گرم در لیتر)

آنالیز واریانس برای بررسی صحت رابطه‌ی فوق نشان داد که مدل به دست آمده برای آلوم نیز معنی‌دار است (جدول ٤). این رابطه از قدرت کافی برای تعیین میزان تزریق آلوم در تصفیه‌خانه‌های آب ایران برخوردار بوده (R^2=۰/۸٦ ، R = ۰/۹۳) و مقادیر بازه‌ی اطمینان ۹۵ درصد آن برای ضریب متغیر مستقل در مدل۱۰/۰۵- ۹/۱۲ است.

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی نوع ماده‌ی منعقد کننده در مدل تعیین مقدار مناسب تزریق ماده‌ی شیمیایی و هم‌چنین تعیین دامنه‌ی کاربرد مدل سبب شده است تا مدل‌های به دست آمده برای تزریق مواد منعقدکننده در تصفیه‌خانه‌های آب ایران، از کارایی به مراتب بالاتری نسبت به مدل پیشنهادی وزنایا برخوردار باشند. از نظر تئوریک نیز، به دلیل توانمندی بیشتر کلرورفریک در زدایش عامل‌های کلوییدی از آب و در نتیجه مصرف کمتر آن نسبت به آلوم، مقدار مصرف کلرورفریک اغلب کمتر از سولفات آلوم است که این امر در توان کمتر مدل مربوط به تعیین کلرورفریک نسبت به آلوم منعکس شده است.

خط رگرسیون برازش داده شده برای هر دو مدل تعیین مقدار کلرورفریک و آلوم از مبدأ عبور کرده و به این ترتیب نقیصه‌ی وجود عرض از مبدأ برای مدل تعیین مقدار آلوم مرتفع گردید. نمودار پراکنش مقادیر کدورت نسبت به مقدار تزریق آلوم و کلرورفریک که به ترتیب در نمودارهای ۱ و ۲ نشان داده شده است، صحت مدل‌های به دست آمده را نیز تأیید می‌کند. علاوه بر آن مقایسه‌ی

جدول ۳- آنالیز واریانس بررسی معنی‌داری رابطه ۲.

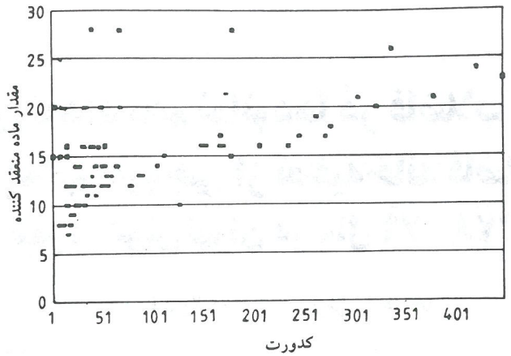
منبع تغییرات	مجموع مربعات (SS)	میانگین مجموع مربعات (MS)	D.f	کسر F	P-value
رگرسیون	۱٦۱۹٦/۷۳	۱٦۱۹٦/۷۳	۱	۳۸۰/۱۵	۰/۰۰۰
باقی مانده	۱٤۹۱۲/۰۳	٤۲/٦۰	۳۵۰		

جدول ٤- آنالیز واریانس بررسی معنی‌داری رابطه ۳.

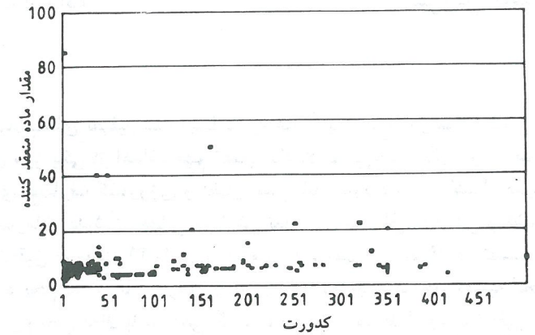
منبع تغییرات	مجموع مربعات (SS)	میانگین مجموع مربعات (MS)	D.f	کسر F	P-value
رگرسیون	٤۸۹۵٦/٦۸	٤۸۹۵٦/٦۸	۱	۷۷۲/۰۲	۰/۰۰۰
باقی مانده	۸۰۵۳۰۵۷	٦۳/٤۱	۱۲۷		

جدول ۵- بررسی صحت مدل پیش‌بینی کلرورفریک در تصفیه‌خانه آب اهواز.

تاریخ	کدورت (NTU)	درجه خلوص کلرورفریک	دانسیته کلرورفریک	نتیجه آزمایش جار		$٤/۸T^{۰/۱}$
				ml/m^3	mg/l	
۷۸/۳/۳۰	۳۲	٤۱/۵	۱/٤۹	۵	۷/٤۵	٦
۷۸/۳/۳۱	۳۲	۳۹/۸	۱/٤٤	۵	۷/۲	٦
۷۸/٤/۱	۲٤	۳۸/۹	۱/٤٤	۵	۷/۲	۵/۷۷
۷۸/٤/۲	۲۵	۳۹/۱۸	۱/٤۵	۵	۷/۲۵	۵/۸
۷۸/٤/۳	۱۸	۳۸/٦	۱/٤۲	٤	۷/٦۸	۵/٦
۷۸/٤/٤	۱۸	۳۸/۹	۱/٤٤	٤	۵/۷٦	۵/۸
۷۸/٤/۵	۱۸	۳۸/٤	۱/٤٤	۵	۷/۲	۵/۸
۷۸/٤/٦	۱۵	۳۸/۲	۱/٤٤	۵	۷/۲	۵/۵
۷۸/٤/۷	۲۵	۳۸/۲	۱/٤٤	۵	۷/۲	۵/۸
۷۸/٤/۸	۱۲	۳۸/۷	۱/٤٤	۵	۷/۲	۵/٤



نمودار ۱- پراکنش کدورت و میزان تزریق سولفات آلومینیوم در تصفیه‌خانه‌های آب منتخب.



نمودار ۲- پراکنش کدورت و میزان تزریق کلرورفریک در تصفیه‌خانه‌های آب منتخب.

برآورد میزان تزریق کلرورفریک (رابطه‌ی ۲) با داده‌های آزمون جار در تصفیه‌خانه‌ی آب اهواز که خلاصه نتایج آن در جدول ۵ آمده است، نشان داد که تفاوت تعیین مقدار مناسب کلرورفریک با آزمون جار و برآورد مقدار آن با مدل به دست آمده از یک میلی‌لیتر فراتر نمی‌رود و به این ترتیب صحت مدل به دست آمده، در عمل نیز تأیید شد.

سپاسگزاری

نگارندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از آقای دکتر پرویز ثمر، مشاور پیشین شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور به سبب همکاری و ارایه‌ی رهنمود در تدوین این مقاله اعلام می‌دارند.

منابع و مراجع

۱- قنادی، م. و سادات منصوری، ع. (۱۳۷۸). "*تصفیه آب در ایران: وضعیت موجود، چشم‌اندازهای آینده*"، فصلنامه آب و توسعه، شماره ۲۰ و ۲۱.

۲- قنادی، م.، شریعت. م.، و واعظی. ف. (۱۳۷۹). "*تحلیلی بر میزان و روند تغییرات مصرف مواد شیمیایی در تصفیه‌خانه‌های آب ایران*"، مجله آب و محیط زیست، شماره ٤

3- American Water Work Assossiation., (1984). "*Introduction to Water Treatment, Practice and Operation*", AWWA.

4- American Water Works Assosssiation., (1991). "*Water Quality and Treatment*", Second Edition, AWWA.

5- APHA, AWWA, WEF., (1998). "*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*", 20th Edition. APHE, Washington DC, U.S.A.

6- Belan, F.I., (1985). "*Water Treatment*", Mir Publisher, Moscow, Second Edition.

7- Eckenfelder, W.W., (1985). "*Industrial Water Pollution Control*", McGraw-Hill, Second Edition.

8- Honnoun, I.A., Boulos, P.F.& List, E.J., (1988). "*Using Hydraulic Modeling to Optimize Contact Time*", Jur.AWWA, Vol. 90.

9- Nalco Chemistry Company., (1988). "*Nalco Water Handbook McGraw-Hill, Second Edition.*

10- Neter, J., Wasserman, W. & Kutner, M.H., (1986). "*Applied Liner Statistical Models*", Third Edition, IRWIN.

11- Voznaya, N.F., (1981). "*Chemistry of Water and Microbiology*", Mir Publisher, Moscow.