

ارزیابی کارکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در پنج شهر استان آذربایجان غربی

رامین نبی‌زاده^۱

مهدی فرزادکیا^۲

میترا غلامی^۲

صیاد بدیقی^۱

پذیرش (۹۳/۳/۲۱)

(دریافت ۹۲/۸/۲۶)

چکیده

در این پژوهش، کارایی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ارومیه، خوی، میاندوآب، سلماس و بوکان در سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰، بر پایه رویکرد قابلیت اطمینان ارزیابی شد. این رویکرد، بازدهی کلی تصفیه‌خانه و فرایندهای آن را پیش‌بینی می‌نماید و غربالگری فناوری‌های تصفیه را امکان‌پذیر می‌سازد. اطلاعات BOD_5 ، COD و TSS از طریق سوابق ثبت شده در شرکت آب و فاضلاب آذربایجان غربی، بررسی محلی و مصاحبه با اپراتورها جمع‌آوری شد. تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای تعیین قابلیت اطمینان مشاهده‌ای، قابلیت اطمینان ارزیابی شده، ضریب اطمینان‌پذیری و درصد‌های مورد انتظار مطابقت با استانداردهای تخلیه، از روش معتبر مدل‌سازی نیکو و همکاران استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که خصوصیات پساب خروجی تصفیه‌خانه‌ها از نظر پارامترهای بررسی شده، عمدتاً از توزیع لگاریتمی نرمال تبعیت می‌کنند. در تمام تصفیه‌خانه‌های مورد بررسی، قابلیت اطمینان مشاهده‌ای و قابلیت اطمینان ارزیابی شده و درصد‌های مورد انتظار مطابقت با استانداردهای تخلیه، رابطه معنی‌داری با هم داشتند. فرایندهای SBR و بیولاک نسبت به لاگون‌های هوادهی دارای بیشترین مقدار قابلیت اطمینان مشاهده‌ای (۹۰ تا ۱۰۰ درصد)، قابلیت اطمینان ارزیابی (۹۳ تا ۱۰۰ درصد)، درصد مورد انتظار برآورد استاندارد (۹۵ تا ۹۹/۹۷) و کمترین مقدار COR (۰/۴۱ تا ۰/۶۴) بودند. بنابراین ضرایب به‌دست آمده در این بررسی را می‌توان برای طرح‌های توسعه و احداث سیستم‌های مشابه به‌کار برد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه‌خانه فاضلاب، قابلیت اطمینان عملکرد، لاگون هوادهی، بیولاک، SBR، ضریب اطمینان‌پذیری، آذربایجان غربی

Reliability Performance Assessment of Wastewater Treatment Plants in Assessment of the Reliability Performance of WWTPs in West Azarbaijan

S. Bodaghi¹

M. Gholami²

M. Farzadkia³

R. Nabizadeh⁴

(Received Nov. 17, 2013)

Accepted June 11, 2013)

Abstract

Performance of wastewater treatment plants (WWTPs) in Urmia, Khoy, Miandoab, Salmas, and Bookan were evaluated during the years 2008 to 2011 based on the reliability approach. The approach predicts the overall performance of WWTPs and their processes and, thereby, makes the screening of treatment technologies possible. The required BOD_5 , COD, and TSS data were collected using the records available at West Azerbaijan Water and Wastewater Company, local surveys, and interviews with operators. Statistical analysis was performed by SPSS. The valid Niku modeling was employed to calculate the $R_{measured}$, $R_{evaluated}$, COR, and expected percentages of compliance with discharge standards and a significant relationship was found among these parameters. The results also showed the log normal distribution of effluent characteristics. Furthermore, SBR and biolac processes exhibited higher values of $R_{measured}$ (90-100%), $R_{evaluated}$ (93-100%), and expected percentages of compliance with the discharge standards (95-99.97%) in all the WWTPs studied but lower values of COR (0.41-0.64) than those in aerated lagoons. The coefficients obtained in this study can, therefore, be used for the development and construction designs of similar systems.

Keywords: Wastewater Treatment Plant, Reliability Performance, Aerated Lagoons, Biolac, SBR, Coefficient of Reliability, West Azarbaijan.

1. MSc in Environmental Engineering, Urumia University of Medical Sciences, Urumia
2. Prof., Dept. of Environmental Health Eng., School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 86704633 gholamim@iums.ac.ir
3. Prof., Dept. of Environmental Health Eng., School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran
4. Prof., Dept. of Environmental Health Eng., School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran

- ۱- کارشناس ارشد گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه
- ۲- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران (نویسنده مسئول) ۸۶۷۰۴۶۳۳ (۰۲۱) gholamim@iums.ac.ir
- ۳- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران
- ۴- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است و مفهوم قابلیت اطمینان و تعیین محدوده که در طی ده سال گذشته در انگلستان و اروپا به‌کار گرفته شده است، اغلب در بررسی پایداری سیستم‌ها در حذف مستمر شاخص‌های آلاینده و مقایسه فناوری‌های تصفیه و نیز اعمال ضرایب اطمینان‌پذیری، در طراحی تصفیه‌خانه‌ها مد نظر قرار نمی‌گیرد [۲۳-۱۵ و ۱]. تاریخچه قابلیت اطمینان، به قبل از دهه ۱۹۳۰ برمی‌گردد. مهندسی قابلیت اطمینان برای کمی‌سازی احتمال بروز حوادث نامطلوب به‌کار گرفته می‌شود [۱۰]. برای اولین بار نیکو و همکاران^۱ در سال ۱۹۷۹، از طریق مدل‌سازی آماری، مفهوم قابلیت اطمینان را در بررسی عملکرد و کارایی تصفیه‌خانه فاضلاب مطرح ساختند [۲۴].

در این پژوهش، بازدهی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری استان آذربایجان غربی بر مبنای مفاهیم قابلیت اطمینان و پایداری، آنالیز شد. این نوع مطالعه متمایز از مطالعات مشابه در کشور در خصوص بررسی عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری بود. استان آذربایجان غربی دارای هفت تصفیه‌خانه فاضلاب شهری در شهرهای ارومیه، خوی، سلماس، میاندوآب، بوکان، مهاباد و سردشت است. فرایندهای اصلاح‌شده لجن فعال در تصفیه‌خانه‌های ارومیه (بیولاک) و سلماس (SBR) و لاگون‌های هوادهی^۲ سایر شهرها، تنوع فرایندهای تصفیه و به تبع آن لزوم ارزیابی بازدهی این سیستم‌ها را چشمگیرتر ساخته است. در حال حاضر دفع پساب این تصفیه‌خانه‌ها به منابع آب‌های سطحی، مانند رودخانه‌های قشور زولاجای و زرینه‌رود، ضرورت توجه به بررسی پایداری و قابلیت اطمینان بازدهی این سیستم‌ها را در برآورد مستمر استانداردهای دفع جدی‌تر ساخته است. به‌همین علت این پژوهش با همکاری شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی و با هدف ارزیابی مقایسه‌ای کارایی مبتنی بر قابلیت اطمینان این سیستم‌ها در تأمین استانداردهای دفع سازمان حفاظت محیط زیست کشور انجام شد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- گردآوری داده‌ها

این مطالعه مقطعی-کاربردی بر روی پنج تصفیه‌خانه فاضلاب استان آذربایجان غربی صورت گرفت. مطالعه بر پایه اعتبار داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب استان در طول سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ انجام شد. برای گردآوری داده‌های مربوط به بازدهی تصفیه‌خانه‌ها، به دلیل محدودیت دسترسی به داده‌های معتبر و نبود سوابق برخی از پارامترها، فقط اطلاعات و مقادیر عددی پارامترهای اصلی محدودکننده کیفیت پساب خروجی

برای دستیابی به اهداف تصفیه فاضلاب و در پاسخ به این سؤال که چه سطحی از تصفیه باید به‌کار گرفته شود تا سلامت عمومی و محیط زیست حفظ شود و نیز به‌منظور پاسخگویی به چالش‌های عمده دستیابی به تصفیه پایدار فاضلاب در قرن حاضر، شیوه‌های متعدد تصفیه به‌وجود آمده است.

در کنار عواملی نظیر قدیمی بودن بیشتر سیستم‌های تصفیه فاضلاب و لزوم ارتقای آنها، حضور ترکیبات آلاینده کمیاب (آلاینده‌های نوظهور)، لزوم حذف و بازیابی مواد مغذی، امنیت و آمادگی در شرایط اضطراری و مدیریت و مصرف پایدار انرژی، پارامتر قابلیت اطمینان بازدهی و مقررات جدید مربوط به آن، توجه مدیران و صاحب‌نظران این بخش را به سمت اتخاذ شیوه‌های متعدد تصفیه سوق داده است [۸-۱].

قابلیت اطمینان و عملکرد تصفیه‌خانه در برآورد مقررات دفع، از جمله فاکتورهای مهم در طراحی و انتخاب فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای حذف آلاینده‌ها در سیستم‌های تصفیه فاضلاب است. کاربرد این دو فاکتور برای اطمینان از تأمین حاشیه ایمنی بالا برای حفظ محیط زیست و سلامت عمومی، در جایی که تخلیه پساب به محیط و استفاده مجدد آن وجود دارد، از اهمیت بسزایی برخوردار است. البته نیاز به ارزیابی مستمر قابلیت اعتماد و عملکرد تصفیه‌خانه‌ها به این دلیل است که بیشتر بازدهی سیستم‌های طراحی شده در حد انتظار تعریف شده نبوده و از فاکتورهای متعدد راهبری و محیطی تأثیر می‌گیرد [۹]. تغییر میزان جریان و خصوصیات فاضلاب ورودی، تغییرات ذاتی فرایند تصفیه و تغییر ناشی از نقص تجهیزات مکانیکی، سه دسته عمده از این‌گونه متغیرها هستند.

رویکرد قابلیت اطمینان می‌تواند بازدهی کلی تصفیه‌خانه و فرایندهای حاکم بر آن را تحت شرایط طراحی و عملکردی پیش‌بینی نماید [۱۰]. همچنین این رویکرد، غربالگری فناوری‌های تصفیه را نیز میسر می‌سازد که به‌دنبال آن می‌توان در کنار راهبری مطلوب فرایندهای تصفیه، الزامات اقتصادی و محیط زیستی را نیز به‌کار گرفت [۱۱]. پژوهش‌های متعددی استفاده از مفهوم قابلیت اطمینان را برای توصیف عملکرد و بازدهی فرایند یک تصفیه‌خانه پیشنهاد کرده‌اند [۱ و ۱۲، ۱۳ و ۱۴]. با این حال اغلب مطالعات انجام گرفته در دنیا و در ایران نشان می‌دهد که ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب عمدتاً به‌صورت مقطعی، برای فواصل زمانی مشخص و بر پایه شیوه تقریباً یکسان (استفاده از مفهوم راندمان) صورت می‌گیرد. به‌طوری که تعیین قابلیت تصفیه‌خانه برای برآورد مقررات دفع، بررسی کارایی تصفیه‌خانه پس از ارتقا و تعیین قابلیت مصرف مجدد پساب، از دلایل عمده توجه به عملکرد

¹ Niku et al.

² Aerted Lagoons (AL)

است از درصدی از زمان فعالیت که در طی آن غلظت پارامترهای پساب خروجی استانداردهای تخلیه و اهداف تصفیه را برآورده می‌سازد [۱، ۱۴ و ۲۵]. در این بررسی قابلیت اطمینان بازدهی هر یک از تصفیه‌خانه‌ها برای پارامترهای TSS_e ، Q_{in} ، BOD_{5e} و COD_e در طول سال‌های مختلف فعالیت به دو صورت قابلیت اطمینان اندازه‌گیری شده^۵ و ارزیابی شده^۶ محاسبه شد. برای محاسبه R_m با استفاده از سوابق عملکرد تصفیه‌خانه و با شمارش تعداد موارد تخطی از استاندارد (نقص) در طول یک دوره مشخص، بدون در نظر گرفتن رفتار کیفی تصفیه‌خانه از رابطه ۱ استفاده شد

$$R = 1 - \frac{NO_{failure}}{NO_{observation}} \quad (1)$$

همچنین برای محاسبه R_e از مدل‌سازی آماری نیکو و همکاران استفاده شد که در منابع معتبر مهندسی فاضلاب به آن اشاره شده است [۱ و ۲۴]. در این مدل خصوصیات آماری داده‌ها یعنی میانگین و انحراف معیار و رفتار فرایندی تصفیه‌خانه فاضلاب نیز در نظر گرفته می‌شود [۱، ۱۰ و ۲۶]. بر اساس این مدل، قابلیت اطمینان از روابط ریاضی زیر به دست می‌آید

$$F = C_e > C_s \quad R = 1 - P(C_e > C_s) = 1 - P(F) \quad (2)$$

$$R = 1 - \left(Z_e > \frac{C_s - \mu}{\sigma} \right) = \left(Z_e < \frac{C_s - \mu}{\sigma} \right) \quad (3)$$

که در این رابطه

R قابلیت اطمینان برحسب درصد، C_e غلظت خروجی اجزا، C_s غلظت مجاز اجزا (استاندارد دفع)، Z_e متغیر نرمال استاندارد شده، μ میانگین داده‌ها، σ انحراف معیار داده‌ها و $P(F)$ احتمال شکست به معنی غلظت اجزا در پساب بالاتر از استاندارد دفع است که به تابع توزیع غلظت اجزا در پساب کاملاً حساس است.

در فرایندهای تصفیه متداول، یعنی BOD_5 ، COD و TSS برای هر یک از تصفیه‌خانه‌ها از سوابق ثبت شده در شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی، بررسی محلی و نیز مراجعه حضوری و مصاحبه با اپراتورها استفاده شد. سپس با توجه به اطلاعات فنی و مدیریتی کارشناسان شرکت آب و فاضلاب و نیز با در نظر گرفتن خصوصیات طبیعی توزیع پارامترهای مورد بررسی، اعتبار اولیه داده‌ها، تحلیل شد. در بررسی اولیه داده‌های جمع‌آوری شده، تصفیه‌خانه فاضلاب مهاباد به دلیل محدودیت دسترسی به داده‌های معتبر از روند مطالعه حذف شد. جدول ۱ مشخصات تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲-۲- خصوصیات داده‌های جمع‌آوری شده

به منظور محاسبه صحیح شاخص‌های آماری و تعیین مدل آماری مناسب برای محاسبه قابلیت اطمینان و ضریب اطمینان‌پذیری، رفتار (توزیع) آماری پارامترهای BOD_5 ، COD و TSS در پساب خروجی تصفیه‌خانه‌ها بررسی شد. برای این کار با استفاده از بسته نرم‌افزاری SPSS از آزمون آماری کولموگوروف-اسمیرنوف^۱ و نمودارهای احتمال Q-Q^۲ برای آزمون فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها استفاده شد. بر اساس نوع فرایند تصفیه حاکم بر تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه، بررسی آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها به صورت دسته‌بندی در قالب فرایندهای تصفیه پیشرفته^۳ و لاگون‌های هوادهی انجام گرفت.

۲-۳- قابلیت اطمینان کارایی (بازدهی)^۴

در خصوص یک سیستم تصفیه فاضلاب، قابلیت اطمینان به صورت احتمال دستیابی به یک عملکرد مناسب (کافی) برای یک دوره زمانی معین و تحت شرایط مشخص تعریف می‌شود که عبارت

¹ Kolmogorov-Smirnov (K-S)

² Q-Q Plot

³ Advanced Treatment (AT)

⁴ Reliability of Performance (ROP)

جدول ۱- مشخصات تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی

نام تصفیه‌خانه	نوع فرایند	ظرفیت (m ³ /d)		دوره مطالعه
		طراحی	ساخته شده	
ارومیه	بیولاک	۲۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۱۳۸۹-۱۳۹۰
خوی	لاگون هوادهی	۴۳۵۰۰	۱۴۵۰۰	۱۳۸۷-۱۳۹۰
میاندوآب	لاگون هوادهی	۴۲۰۰۰	۲۱۰۰۰	۱۳۸۷-۱۳۹۰
بوکان	لاگون هوادهی	۵۲۰۰۰	۵۲۰۰۰	۱۳۸۸-۱۳۹۰
سلماس	SBR	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۳۸۹-۱۳۹۰

۲-۵- درصد مورد انتظار بر آورد استانداردهای دفع

درصد های مورد انتظار تأمین استانداردهای دفع، با استفاده از مقادیر واقعی غلظت های پساب خروجی و ضریب تغییرات (cv) به دست می آید. وون اسپرلینگ و الیورا، انتگرال گیری از تابع چگالی احتمال توزیع لگاریتمی را برای این کار پیشنهاد نمودند [۱۴]. نیکو و همکاران رابطه مناسب و ساده تری را برای رسیدن به همین نتایج بدون نیاز به انتگرال گیری ارائه کردند [۲۴]. در این پژوهش از رابطه نیکو استفاده شد

$$Z_{1-\alpha} = \frac{\ln X_s [\ln m_x - 0.5 \ln(cv^2 + 1)]}{\sqrt{\ln(cv^2 + 1)}} \quad (۶)$$

که در این رابطه

C_V ضریب تغییرات و a حدود اطمینان است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات کیفی داده ها

بسیاری از مطالعات و مدارک علمی منتشر شده در مورد توزیع احتمالی داده های غلظت پساب خروجی تصفیه خانه های فاضلاب، توزیع لگاریتمی نرمال را مناسب ترین برازش بیان کرده اند [۲۸-۳۴]. در این مطالعه نیز نتایج آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف، رفتار متغیرهای COD و TSS را در پساب خروجی لاگون های هوادهی و تصفیه پیشرفته، به صورت لگاریتمی نرمال و توزیع احتمالی پارامتر BOD_5 را در لاگون های هوادهی به صورت نرمال و در فرایندهای بیولاک و SBR به صورت لگاریتمی نرمال نشان داد. آنالیز آماری برخی از پارامترهای کارایی در شکل ۱ و نیز نتایج شاخص های معیار محاسبه شده در جدول ۲، تغییرات کمی و کیفی فاضلاب ورودی به هر یک از تصفیه خانه های بررسی شده را نشان می دهد.

مقایسه میانگین غلظت BOD_5 ، COD و TSS در فاضلاب ورودی به هر یک از تصفیه خانه های بررسی شده با نتایج برخی از بررسی های انجام شده در تصفیه خانه های فاضلاب در نقاط مختلف کشور نشان داد که مقدار این پارامترها در فاضلاب خام ورودی به تصفیه خانه های بررسی شده در استان آذربایجان غربی، بالاتر از مقادیر به دست آمده در بررسی های انجام شده در سایر شهرها بوده است [۱۶، ۱۷ و ۳۵]. بنابراین می توان گفت که فاضلاب تولیدی در هر یک از شهرستان های ارومیه، خوی، میاندوآب، بوکان و سلماس از نظر شدت آلودگی در دسته فاضلاب های با قدرت متوسط قرار دارند.

در این مطالعه با توجه به توزیع حاکم بر داده های مربوط به پساب خروجی تصفیه خانه های بررسی شده که همان توزیع نرمال یا لگاریتمی نرمال است، قابلیت اطمینان ارزیابی شده با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد. در این محاسبات برای پارامترهای TSS_e ، BOD_5 و COD_e غلظت مجاز دفع استانداردهای تخلیه به آب های سطحی سازمان حفاظت محیط زیست کشور به ترتیب ۴۰، ۳۰ و ۶۰ میلی گرم در لیتر و حد مبنا برای Q ، دبی طراحی که در مبانی طراحی هر یک از تصفیه خانه ها تعریف شده بود، در نظر گرفته شد؛ زیرا پساب خروجی از اغلب تصفیه خانه ها به منابع آب های سطحی دفع می شود. قابل ذکر است که موارد بالاتر از حد مبنا برای هر یک از پارامترها، به معنی نقص یا شکست است [۲۷].

۲-۴- ضریب قابلیت اطمینان^۱

بازدهی تصفیه خانه فاضلاب در بر آورد استانداردهای کیفی پساب خروجی، تابع متغیرهای متعددی است، بنابراین باید برای تولید یک متوسط غلظت پساب پایین تر از استانداردهای تخلیه، طراحی شود؛ یعنی طراحی باید بر اساس متوسط غلظتی باشد که غلظت خروجی با یک سطح اطمینان مشخص، همواره کمتر از استانداردهای دفع باشد. این رویکرد برای اولین بار توسط نیکو و همکاران در قالب پارامتری تحت عنوان ضریب قابلیت اطمینان مطرح شد

$$m_x = COR \times X_s \quad (۴)$$

که در این رابطه

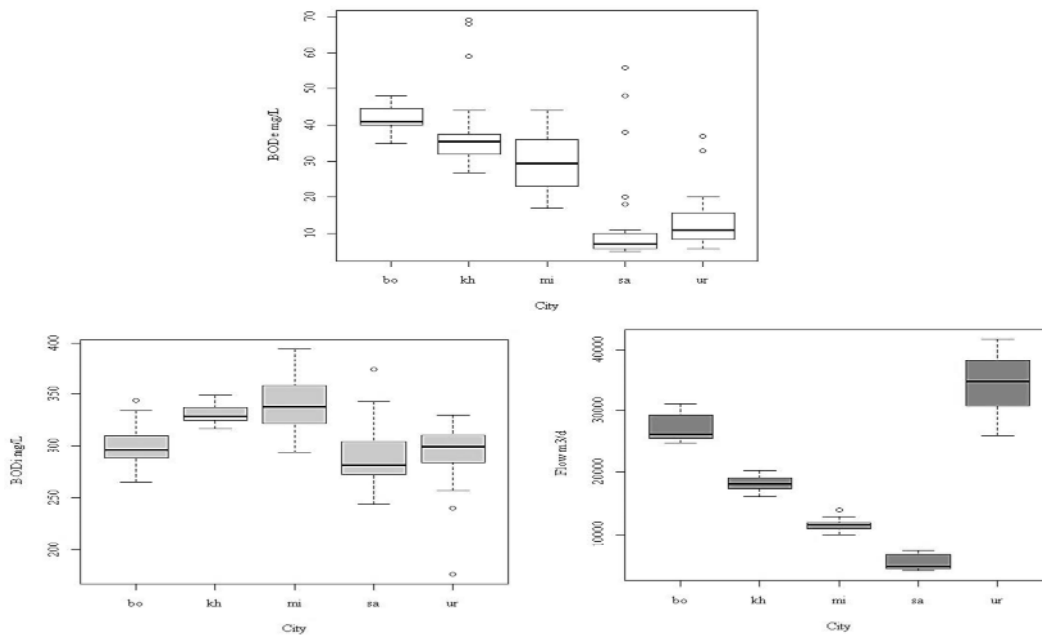
m_x غلظت میانگین اجزا، X_s غلظت مجاز استاندارد و COR ، m_x در پساب را به X_s مرتبط می سازد و بر اساس خصوصیات داده های اصلی و بر مبنای احتمالاتی معمولاً برای سطح اعتماد ۹۵ درصد محاسبه می شود. در این پژوهش برای تعیین ضریب قابلیت اطمینان یا ضریب اطمینان پذیری از رابطه ۵ استفاده شد که توسط نیکو و همکاران در سال ۱۹۷۹ ارائه شده و در پژوهش های متعدد به کار گرفته شده است [۲۴]

$$COR = [(V_X^2 + 1)^{1/2}] \exp\{-Z_{1-\alpha} [\ln(V_X^2 + 1)]^{1/2}\} \quad (۵)$$

که در این رابطه

COR ضریب قابلیت اطمینان، V_X ضریب تغییرات داده ها و $Z_{1-\alpha}$ توزیع نرمال استاندارد شده است.

^۱ Coefficient Of Reliability (COR)



شکل ۱- باکس-ویسکر متوسط جریان فاضلاب، BOD₅ ورودی و خروجی تصفیه‌خانه‌های بررسی شده

جدول ۲- نتایج شاخص‌های آماری داده‌های جمع‌آوری شده تصفیه‌خانه‌های فاضلاب استان آذربایجان غربی

نام تصفیه‌خانه	پارامتر*						
	TSS		COD		BOD ₅		Q
	eff	in	eff	in	eff	in	
ارومیه	مشاهده	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴
	کمینه	۹	۱۵۲	۲۱	۳۲۶	۶	۱۷۶
	بیشینه	۳۰	۲۸۰	۶۷	۶۱۵	۳۷	۳۳۰
	μ	۱۳/۷۸	۱۷۵/۲۵	۳۰/۶۷	۵۰۰/۱۷	۱۳/۶	۲۹۰/۵۴
	δ	۴/۴۸	۲۴/۳۷۶	۹/۲۴	۷۶/۷۴	۷/۷۶	۳۵/۱۸
خوی	مشاهده	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶
	کمینه	۳۴	۲۷۲	۷۷	۴۲۹	۲۷	۳۱۷
	بیشینه	۵۴	۳۲۵	۱۴۸	۶۲۴	۴۴	۳۴۹
	μ	۳۶/۷	۲۹۴/۱۹	۱۰۱/۷۸	۵۴۲/۳۶	۳۵/۵۳	۳۳۰/۵
	δ	۶/۱	۱۵/۶۶۲	۱۸/۱۵۳	۴۵/۸۸	۴/۴۴	۸/۲۵
میاندوآب	مشاهده	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶
	کمینه	۲۴	۱۱۶	۸۱	۴۲۱	۱۷	۲۹۳
	بیشینه	۱۰۴	۲۵۴	۲۳۱	۵۳۰	۴۴	۳۹۴
	μ	۶۲/۷۱	۲۱۸	۱۱۹/۴	۴۷۴/۹۷	۲۹/۱۹	۳۴۰/۱۷
	δ	۱۸/۷۷	۲۲/۷۴	۲۹/۵	۲۹/۵۷	۷/۱۵۸	۲۵/۶
بوکان	مشاهده	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	-
	کمینه	۲۵	۲۴۴	۵۲	۳۸۸	۲۴	۲۶۵
	بیشینه	۶۶	۳۰۷	۱۱۹	۶۲۵	۵۰	۳۸۸
	μ	۴۷/۷	۲۷۳/۷۵	۸۶/۳	۴۹۹/۷۸	۳۸/۹	۴۹۹/۷۸
	δ	۸/۹۶	۱۷/۳۴	۱۴/۱	۵۷/۷۴	۵/۹۸	۳۱/۹۱
سلماس	مشاهده	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۲	۲۴
	کمینه	۳	۲۱۴	۱۸	۴۴۷	۵/۱	۲۴۴
	بیشینه	۲۴	۲۸۳	۴۹	۵۸۷	۵۶	۳۷۴
	μ	۵/۶	۲۳۵/۷	۲۶	۴۹۷/۵۴	۹/۴۸	۲۸۹/۱۳
	δ	۵/۱	۱۸/۷	۸	۳۸/۹۶	۷/۴	۳۰/۱۴

*BOD₅، COD و TSS برحسب میلی‌گرم در لیتر و Q برحسب مترمکعب بر روز است.

۳-۲- قابلیت اطمینان بازدهی و درصدهای مورد انتظار برآورد استانداردهای دفع

شکل ۲ قابلیت اطمینان مشاهده‌ای و ارزیابی شده و نیز درصد مورد انتظار تأمین استانداردهای دفع (P) را برای هر یک از پارامترهای شاخص BOD_5 ، COD و TSS در هر یک از تصفیه‌خانه‌های بررسی شده نشان می‌دهد. بر اساس این شکل بین قابلیت اطمینان مشاهده شده بر مبنای موارد تخطی از استاندارد دفع و قابلیت اطمینان ارزیابی شده و درصد قابل انتظار مطابقت با استاندارد دفع که بر مبنای مدل‌سازی رفتار کیفی تصفیه‌خانه است، مطابقت خوبی به چشم می‌خورد. بنابراین شیوه و مدل آماری مورد استفاده برای آنالیز و قضاوت بازدهی هر یک از تصفیه‌خانه‌ها در خصوص هر یک از معیارهای شاخص آلاینده معتبر است.

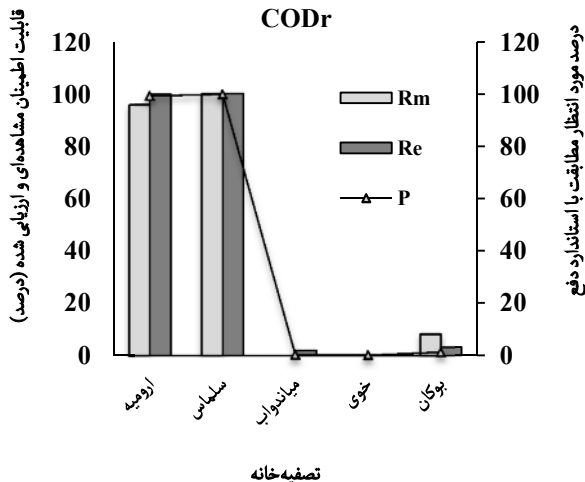
همچنین قابلیت اطمینان مشاهده شده بر مبنای استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست کشور، برای پارامترهای BOD_5 ، COD و TSS در سیستم‌های تصفیه پیشرفته ارومیه، به ترتیب ۹۲، ۹۶ و ۱۰۰ درصد و سلماس ۸۸، ۱۰۰ و ۱۰۰ درصد بود. در هر دو تصفیه‌خانه، بالاترین قابلیت اطمینان مربوط به توانایی استمرار حذف TSS بود که می‌تواند ناشی از وجود آشغالگیرهای ریز و درشت باشد. قابلیت اطمینان ارزیابی شده نیز بیانگر این وضعیت بود.

سالم صالح و همکاران در سال ۲۰۰۷، قابلیت اطمینان کلی نه تصفیه‌خانه فاضلاب با فرایند لجن فعال را در عربستان، بالاتر از ۹۸ درصد (۹۸ درصد تا $99/99 <$) به دست آوردند [۱۰].

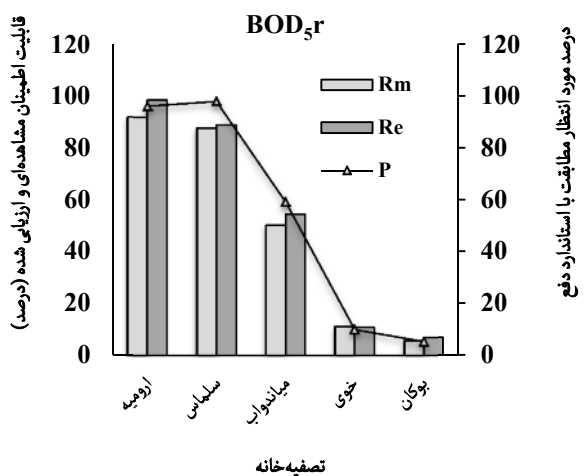
ابراهیم و همکاران در سال ۲۰۰۸، میانگین قابلیت اطمینان فرایندهای SBR، لجن فعال متعارف و هوادهی گسترده را برای حذف $CBOD_5$ به ترتیب ۹۷، ۹۸ و ۹۶ درصد و برای TSS به ترتیب ۹۸، ۹۷ و ۹۸ درصد تعیین کردند [۳۶].

طالب بیدختی و همکاران در بررسی کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تهران در سال ۱۳۸۸، استمرار (قابلیت اطمینان) برآورد استانداردهای دفع BOD_5 ، COD و TSS را در ترکیب‌های مختلف لجن فعال به ترتیب ۹۶، ۹۵/۸ و ۶۸/۸ درصد تعیین کردند [۳۷].

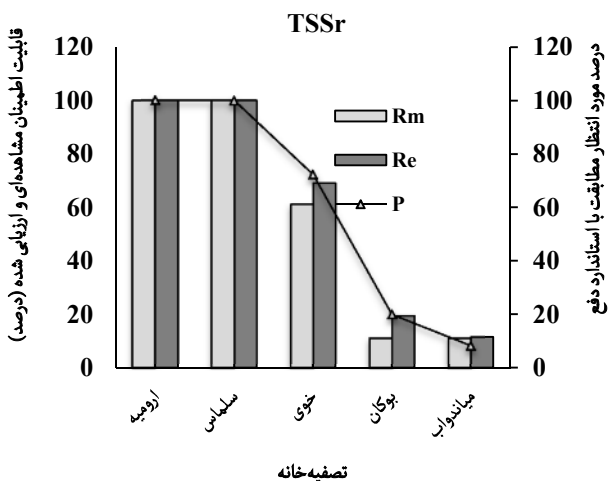
در مقایسه با پژوهش‌های یاد شده، تصفیه‌خانه‌های ارومیه و سلماس قابلیت اطمینان بازدهی کمتری در خصوص حذف BOD_5 دارند، که این امر نشان دهنده تغییرات زیاد کیفیت پساب خروجی بوده و می‌تواند ناشی از نوسانات بارگذاری آلی و هیدرولیکی، احتمال تغییر استراتژی راهبری و ناپایداری سیستم‌ها از نظر الگوهای راهبری و آشنا نبودن کامل راهبران تصفیه‌خانه‌ها با فرایندهای تصفیه پیشرفته باشد.



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۲- توزیع قابلیت اطمینان مشاهده‌ای، ارزیابی شده و درصدهای مورد انتظار برآورد استانداردهای دفع برای الف- COD، ب- BOD_5 ، و پ- TSS در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مطالعه شده

توان تصفیه لاگون‌های هوادهی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب خوی، میاندوآب و بوکان از نظر قابلیت اطمینان، کمتر از سیستم‌های تصفیه فاضلاب ارومیه و سلماس بود. به طوری که بالاترین قابلیت اطمینان مشاهده شده، یعنی ۶۱ درصد، در این تصفیه‌خانه‌ها مربوط به حذف COD در تصفیه‌خانه خوی بود. بررسی R_e و R_m در این تصفیه‌خانه‌ها نشان داد که تصفیه‌خانه فاضلاب بوکان، وضعیت بسیار نامطلوبی را از نظر تطبیق خصوصیات پساب خروجی با استانداردهای دفع دارد. در این تصفیه‌خانه قابلیت اطمینان مشاهده شده و ارزیابی شده از نظر پارامترهای COD و BOD_5 بسیار کمتر بود و از نظر TSS تنها ۱۱ درصد بود.

ندافی و همکاران در سال ۱۳۸۵، در بررسی عملکرد ۳۳ تصفیه‌خانه فاضلاب با فرایندهای مختلف، تعداد مواردی که از استانداردهای دفع کمتر بودند را، از نظر پارامترهای COD، BOD_5 و TSS در سیستم‌های مبتنی بر لاگون هوادهی بیشتر از سایر فرایندهای تصفیه بیان کردند [۳۸]. دستیابی به حذف BOD_5 کمتر از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر و حذف TSS کمتر از ۶۰ میلی‌گرم در لیتر، در ۹۵ درصد مواقع در لاگون‌های هوادهی با اختلاط جزئی قابل انتظار است [۳۹]. بنابراین می‌توان گفت که در تصفیه‌خانه‌های خوی، میاندوآب و بوکان میزان حذف و قابلیت اطمینان با حدود قابل انتظار فاصله زیادی داشته است. در این تصفیه‌خانه‌ها بالا بودن فاکتور بارگذاری (نسبت دبی متوسط ورودی به دبی طراحی) در تصفیه‌خانه فاضلاب خوی، تجمع بیش از حد لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب میاندوآب و بوکان و نبود آشغالگیر و دانه‌گیر از دلایل اصلی پایین بودن کارایی و قابلیت اطمینان بازدهی بوده است. همچنین می‌توان گفت که مقادیر بالای مبانی طراحی برای BOD_5 و TSS در پساب خروجی این سیستم‌های تصفیه، بر قابلیت اطمینان کارایی آن‌ها تأثیر گذاشته است.

متناسب با قابلیت اطمینان بازدهی، درصدهای مورد انتظار حفظ غلظت مجاز پارامترهای BOD_5 ، COD و TSS در پساب خروجی، با سطح اعتماد ۹۵ درصد، در تصفیه‌خانه‌های ارومیه و سلماس بیشترین مقدار و در سیستم‌های لاگون هوادهی کمترین مقدار بود. در میان تصفیه‌خانه‌های مورد بررسی نیز، تصفیه‌خانه فاضلاب بوکان به دلیل ناتوانایی حذف مستمر شاخص‌های آلودگی در طول دوره فعالیت بررسی شده آن، در صورتی که وضعیت موجود راهبری و محیطی تغییر نیابد، فقط توانایی حذف BOD_5 در ۵ درصد، حذف TSS در ۲۰ درصد و حذف COD در ۱ درصد از دوره فعالیت خود را داشت که نشان‌دهنده بدترین حالت در بین تصفیه‌خانه‌های مطالعه شده است. همچنین تصفیه‌خانه فاضلاب سلماس بیشترین انتظار مطابقت با استانداردهای دفع را از نظر پارامترهای بررسی شده نشان داد.

۳-۳- ضریب اطمینان‌پذیری برای BOD_5 ، COD و TSS

جدول ۳ نتایج محاسبه ضریب قابلیت اطمینان و پارامترهای مربوطه را برای همه تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه بر مبنای سطح اطمینان (قابلیت اطمینان) ۹۵ درصد نشان می‌دهد. بر اساس این جدول تصفیه‌خانه‌های فاضلاب خوی، میاندوآب و بوکان در فرایندهای SBR و بیولاک، کمترین ضریب تغییرات BOD_5 ، COD و TSS را داشتند. بالا بودن ضریب تغییرات، نشان‌دهنده ناپایداری تصفیه‌خانه و تغییرات وسیع کیفیت پساب خروجی است. در تمام تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه، ضریب تغییرات پارامترهای شاخص کمتر از یک بود که مطابق با مطالعات مشابه بود. به طوری که مطالعه اولیورا و همکاران در سال ۲۰۰۸، بر روی ۱۶۶ تصفیه‌خانه فاضلاب با فرایندهای مختلف تصفیه در برزیل و مطالعه دانگ و همکاران در سال ۲۰۱۲، بر روی ۲۷ تصفیه‌خانه با فرایندهای مختلف در چین شرقی، ضریب تغییرات را برای پارامترهای BOD_5 ، COD، TN، TSS، TP کمتر از یک به دست آوردند. همچنین نیکو و همکاران در سال ۱۹۷۹، بر روی ۳۷ تصفیه‌خانه فاضلاب با ترکیب‌های متعدد لجن فعال، این ضریب را برای BOD_5 کمتر از یک برآورد نمودند [۱۲، ۱۳ و ۲۶].

همچنین در مطالعه مشابهی که توسط صباحی و همکاران در سال ۱۳۹۰ برای تحلیل قابلیت اعتماد ۳۲ تصفیه‌خانه فاضلاب لجن فعال در کشور صورت گرفت، این پارامتر برای BOD_5 ، COD و TSS به ترتیب ۰/۳۳۵، ۰/۲۷۸ و ۰/۳۳۶ به دست آمد [۳۴]. شکل ۳ رابطه ضریب تغییرات و ضریب اطمینان‌پذیری را در هر یک از تصفیه‌خانه‌ها نشان می‌دهد. محاسبه COR برای هر یک از پارامترهای هدف نشان می‌دهد که مقدار این ضریب در تصفیه‌خانه‌های خوی، میاندوآب و بوکان نسبت به سیستم‌های پیشرفته بیولاک و SBR بیشتر است.

نیکو به عنوان اولین کسی که رویکرد قابلیت اطمینان را در طراحی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مطرح ساخت، در نتایج مطالعه‌ای در سال ۱۹۷۹، طراحان و مهندسان را به به‌کارگیری ضریب قابلیت اطمینان برابر ۰/۳ تا ۰/۶۴ برای BOD_5 و SS برحسب ضریب تغییرات ۰/۳ تا ۱/۵ و با قابلیت اطمینان ۹۵ درصد، در طراحی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با فرایند لجن فعال ترغیب نمود [۲۴]. اولیورا در سال ۲۰۰۸، این ضریب را در فرایندهای لجن فعال برای پارامترهای BOD_5 ، COD و TSS با ضریب تغییرات نظیر ۰/۹۵، ۰/۹۵ و ۱/۱ به ترتیب ۰/۴، ۰/۴۲، ۰/۳۸ و برای سیستم‌های ساده تصفیه فاضلاب، مانند برکه‌های اختیاری، با ضریب تغییرات کمتر از ۱، برابر ۰/۵، ۰/۶۳ و ۰/۵۱ به ترتیب برای BOD_5 ، COD و TSS برآورد نمود [۱۳].

جدول ۳- قابلیت اطمینان مشاهده‌ای و ارزیابی شده، ضریب تغییرات و ضریب قابلیت اطمینان محاسبه شده در هر یک از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بررسی شده

پارامتر				نام تصفیه‌خانه
TSS	COD	BOD ₅	Q	
۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	NO.observation
۰	۱	۲	۴	NO.failure
۱۰۰	۹۵/۸۴	۹۱/۶۷	۸۴/۳۳۴	R _{measured}
۵/۸۵	۳/۱۷	۲/۱۱	۱/۱۳	Z cal
۹۹/۹۹۹۹	۹۹/۹۳	۹۸/۲۶	۸۷	Revaluated
۰/۳۳	۰/۳	۰/۵۷	-	CV
۰/۶۲	۰/۶۴۴	۰/۴۸	-	COR
۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	NO.observation
۱۴	۳۶	۳۲	۳۶	NO.failure
۶۱/۱۲	۰	۱۱/۱۱	۰	R _{measured}
۰/۵	-۲/۳	-۱/۲۴	-۳/۵	Z cal
۶۹	۰/۰۱	۱۰/۷۷	۰/۰۲	Revaluated
۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۲۵	-	CV
۰/۷۶۸	۰/۷۶	۰/۸۲	-	COR
۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	NO.observation
۳۲	۳۶	۱۸	۰	NO.failure
۱۱/۱۱	۰	۵۰	۱۰۰	R _{measured}
-۱/۲	-۲/۰۱	۰/۱۱	۱۱/۳۶	Z cal
۱۱/۵۱	۲	۵۴/۳۸	۹۹/۹۹۹۹۹	Revaluated
۰/۳	۰/۲۵	۰/۲۵	-	CV
۰/۶۴۴	۰/۶۸۷	۰/۶۹	-	COR
۳۶	۳۶	۳۶	-	NO.observation
۳۲	۳۳	۳۴	-	NO.failure
۱۱/۱۱	۸/۳۴	۵/۵۶	-	R _{measured}
-۰/۸۶	-۱/۸۶	-۱/۴۹	-	Z cal
۱۹/۴۹	۳/۱۴	۶/۸۱	-	Revaluated
۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۱۵۴	-	CV
۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۷۸۶	-	COR
۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	NO.observation
۰	۰	۳	۰	NO.failure
۱۰۰	۱۰۰	۸۷/۵	۱۰۰	R _{measured}
۱۰/۵	۴/۲۵	۱/۲۱	۷/۴۴	Z cal
۹۹/۹۹۹۹۹	۹۹/۹۹۹	۸۸/۶۶	۹۹/۹۹۹	Revaluated
۰/۷۸	۰/۳۱	۰/۷۸	-	CV
۰/۴۱	۰/۶۴	۰/۴۱	-	COR

ارومیه

خوی

میاندوآب

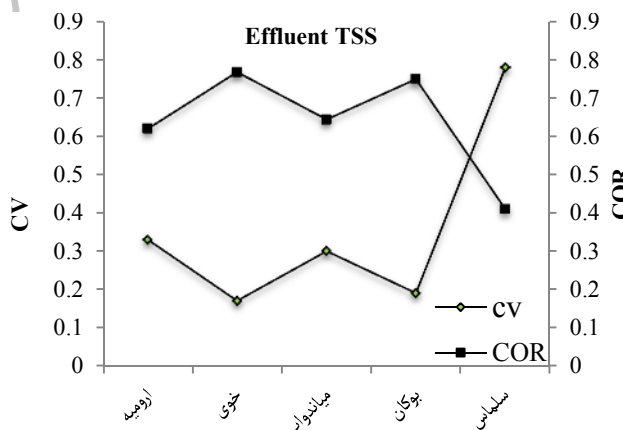
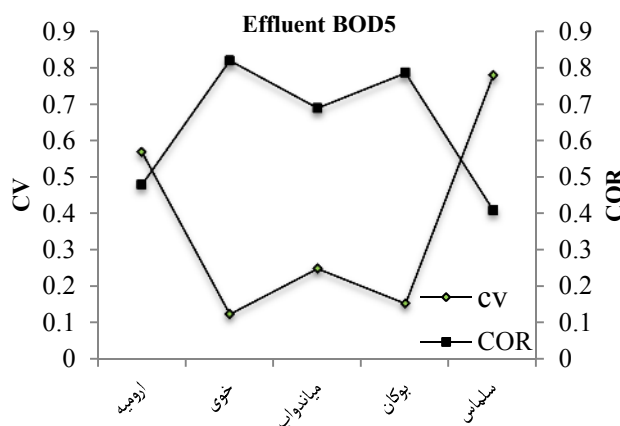
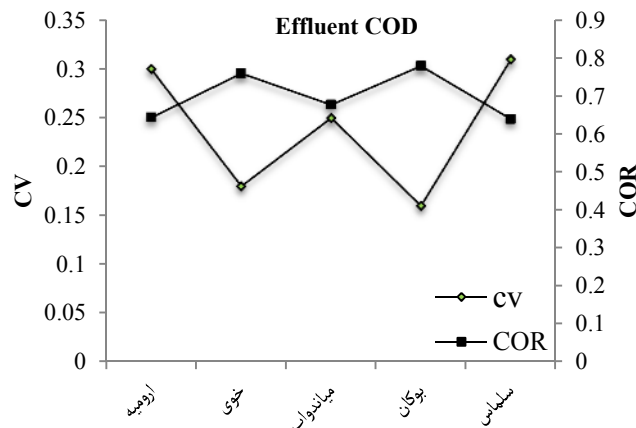
بوکان

سلماس

صباحی طی پژوهشی در سال ۱۳۹۰، COR را در فرایندهای لجن فعال برای BOD_5 ، COD و TSS به ترتیب برابر ۰/۶۱۷، ۰/۶۶۳ و ۰/۶۱۶ به دست آورد [۳۴]. همچنین در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بررسی شده، برعکس الگوی تغییرات مربوط به پارامتر CV، بالاترین مقدار COR در سیستم‌های لاگون هوادهی و مقادیر کمتر آن مربوط به سیستم‌های پیشرفته تصفیه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ارومیه و سلماس بود. به عبارت دیگر مطابق مطالعات مشابه، رابطه CV با COR در هر پنج تصفیه‌خانه فاضلاب بررسی شده نیز به صورت معکوس بود (شکل ۳). پایین بودن دامنه ضریب تغییرات مربوط به پارامترهای مورد بررسی، اطمینان‌پذیری هر یک از تصفیه‌خانه‌ها را برای برآورد استانداردهای دفع مهیا می‌سازد. این نتیجه را اولیورا در مطالعه‌ای بر روی فرایندهای متعدد تصفیه، به عنوان یک پدیده متداول بیان کرد [۱۳]. بالا بودن ضریب تغییرات در تصفیه‌خانه، نشان دهنده ناپایداری شرایط بهره‌برداری و به دنبال آن کمتر بودن مقدار COR است. پایین بودن این ضریب، مهندسان و طراحان را با دشواری تعیین غلظت طراحی مواجه می‌سازد. بنابراین می‌توان گفت که توجه به ضریب قابلیت اطمینان، پایداری کیفیت پساب خروجی از تصفیه‌خانه را از نظر برآورد استانداردهای مجاز دفع، تضمین می‌نماید؛ زیرا با در نظر گرفتن COR به عنوان معیار طراحی، متوسط غلظتی از پارامتر شاخص در پساب خروجی به دست می‌آید که همواره مساوی یا کمتر از استاندارد دفع است. بر این اساس می‌توان گفت که COR به دست آمده در این بررسی، به خصوص برای لاگون‌های هوادهی می‌تواند در طراحی تصفیه‌خانه‌های مشابه در کشور استفاده شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این بررسی قابلیت اطمینان بازدهی سیستم‌های تصفیه فاضلاب شهری انتخاب شده در استان آذربایجان غربی، بر اساس سوابق مشاهدات مربوط به کارایی هر یک از سیستم‌ها و نیز بر پایه رفتار و توزیع آماری داده‌های جمع‌آوری شده، ارزیابی شد. رفتار فرایندی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ارومیه و سلماس نسبت به فرایندهای حاکم بر تصفیه‌خانه‌های خوی، میاندوآب و بوکان از نظر متغیرهای مورد بررسی، یعنی قابلیت اطمینان بازدهی، ضریب اطمینان‌پذیری و درصد مورد انتظار مطابقت با استانداردهای دفع، کاملاً متمایز و از نظر توزیع آماری پارامترهای BOD_5 ، COD_e و TSS_e تفاوت قابل توجهی با هم نداشتند. در همه تصفیه‌خانه‌ها، پارامترهای R_m و R_e و درصدهای مورد انتظار مطابقت با استانداردها، همسویی متناسبی با یکدیگر داشتند که اعتبار مدل آنالیز آماری داده‌ها را تأیید می‌کند.



شکل ۳- CV و COR، در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بررسی شده

مقایسه COR به دست آمده برای فرایندهای مختلف تصفیه در این پژوهش با نتایج دو مطالعه اصلی مشابه، نشان داد که ضریب قابلیت اطمینان تصفیه‌خانه‌های بررسی شده، بالاتر بود. بنابراین می‌توان گفت که در میان تصفیه‌خانه‌های بررسی شده، برای لاگون‌های هوادهی نسبت به SBR و بیولاک، درصد بالایی از غلظت استاندارد را می‌توان در پساب خروجی در نظر گرفت.

همچنین این مطالعه نشان داد که ارزیابی بازدهی تصفیه‌خانه‌ها بر اساس مدل‌سازی آماری یا مفهوم قابلیت اطمینان برخلاف رویکردهای متداول موجود، کارایی کلی سیستم، پیش‌بینی مطابقت با استانداردها در وضعیت راهبری و محیطی مشابه و قضاوت غلظت‌های طراحی پساب خروجی در طراحی سیستم‌های مشابه را امکان‌پذیر می‌سازد.

۵- قدردانی

این مطالعه با همکاری و حمایت شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی انجام گرفت. نویسندگان این مقاله از همکاری مدیر عامل محترم، کارشناسان محترم دفتر تحقیقات و دفتر بهره‌برداری فاضلاب این شرکت تشکر و قدردانی می‌نمایند.

سیستم‌های تصفیه پیشرفته ارومیه و سلماس نسبت به لاگون‌های هوادهی، به دلیل نوع فرایند، نسبت بارگذاری آلی و هیدرولیکی کمتر نسبت به مبانی طراحی، بالاترین قابلیت اطمینان را برای برآورد استانداردهای دفع BOD_5 ، COD و TSS از خود نشان دادند. از نظر ضریب اطمینان‌پذیری نیز، سیستم‌های تصفیه فاضلاب ارومیه و سلماس COR کمتری (۰/۴۱ تا ۰/۶۴)، نسبت به فرایندهای لاگون هوادهی خوی، میاندوآب و بوکان نشان دادند. COR به دست آمده برای فرایندهای مختلف تصفیه نشان داد که در صورت اعمال ضریب اطمینان‌پذیری در طراحی تصفیه‌خانه‌های مشابه، برای تعیین غلظت پساب خروجی در سیستم‌های تصفیه بیولاک و SBR نسبت به لاگون هوادهی، احتیاط بیشتری باید داشت.

۶- مراجع

1. Tchobanoglous, G., and Burton, F.L. (2003). *Wastewater engineering-treatment, disposal, reuse*, 4th Ed., Metcalf and Eddy, McGraw-Hill, Inc., New York.
2. WHO. (2011). *Guidelines for drinking-water quality*, 4th Ed., World Health Organization, Geneva.
3. American Water Works Association. (2011). *Water quality and treatment, a handbook on drinking water*, 6th Ed., USA.
4. WHO. (2011). *Pharmaceuticals in drinking-water*, World Health Organization, Geneva.
5. Leverenz, H., and Tchobanoglous, G. (2005). "Challenges for sustainable wastewater management in the 21st century." Dept. of Civil and Env. Eng., University of California, USA.
6. EPA. (2008). *Emerging technologies for wastewater treatment and in-plant wet weather management*, USA.
7. EPA. (2004). *Primer for municipal wastewater treatment system*, USA.
8. Flores-Alsina, X., Gallego, A., Feijoo, G., and Rodriguez-Roda, I. (2010). "Multiple-objective evaluation of wastewater treatment plant control alternatives." *J. of Environmental Management*, (91), 1193-1201.
9. Vijayabhanu, R., and Radha, V. (2013). "A survey on anaerobic wastewater treatment plant based on effluent COD." *Int. J. of Computer Science and Applications*, 2(2), 59-69.
10. Abdulaziz Al Saleem, S.S. (2007). "Performance analysis of municipal wastewater treatment plants, reliability-based analysis." Master's Degree, Dept. of Civil Eng., King Saud University.
11. EPA. (2008). *Municipal nutrient removal technologies*, Reference Document, USA.
12. Dong, H.Y., Qiang, Z.M., Wang, W.D., and Jin, H. (2012). "Evaluation of rural wastewater treatment processes in a county of eastern china." *J. of Environ. Monit.*, (14), 1906-1913.
13. Oliveira, S.C., and Von Sperling, M. (2008). "Reliability analysis of wastewater treatment plants." *J. of Water Research*, 42, 1182-1194.
14. EPA. (2005). *Decentralized wastewater system reliability analysis handbook*, National Decentralized Water Resources Capacity Development Project (NDWRCDP) Research Project, USA.
15. Sundara Kumar, K., Sundra Kumar, P., and Ratankanth Babu, M.J. (2010) "Performance evaluation of wastewater treatment plant." *Int. J. of Engineering Science and Technology*, 2(12), 7785-7796.
16. Miranzadeh, M., and Babamir, S.H. (2001). "Investigation of efficiency of Ekbatan wastewater treatment during 2000-2001." *J. of Faiz*, 25, 29-43. (In Persian)
17. Bagheri, P., Sadeghi, H., Nabae, A., and Bagheri, M. (2010). "Efficiency assessment of wastewater treatment plant: Case study, Zanjan." *J. of Health and Hygiene, Ardabil University of Medical Sciences*, 1(3), 67-75.
18. Rezaee Kalantari, R., Darvishi Cheshmeh Soltani, R., Shirpey, A.A., and Jorfi, S. (2006). "Investigation of Efficiency of aerted lagoons in Khorraabad wastewater treatment plant." *First National Conference on Water Wastewater Sector*, Ministry of Energy, Tehran. (In Persian)

19. Laura Guerra. (2010). "Evaluation of bassussarry wastewater treatment plant after upgrading with membrane bioreactor technology." MSc Thesis, Dept. of Chemical Eng., Lund University, Farance.
20. Bailey Green, F., Lundquist, T.J., and Brown, R.E. (2006). *Energy-efficient wastewater treatment at Hilmar, California: A Case Study*, 2006 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, California.
21. Mouhanni, H., Bendou, A., and Houari, M. (2013). "Study of the wastewater purifying performance in the M'Zar plant of agadir, Morocco." *J. of Environment and Pollution*, 2(3), 20-30.
22. Kamel, A.Z., and Nada, A.A. (2008). "Performance of wastewater treatment plants in jordan and suitability for reuse." *African J. of Biotechnology*, 7(15), 2621-2629.
23. Kor, Y., Zazooli, M.A., Keramat, S., Kord, M., Khademian, M., and Ayoobi, R. (2009). "Performance assessment and methods on optimization of aerted lagoons in Bandar gaz wastewater treatment plant." *J. of Health School, Yazd University of Medical Sciences*, 1(2), 46-53. (In Persian)
24. Niku, S., Schroder, E.D., and Samaniego, F.J. (1979). "Performance of activated sludge processes and reliability-based design." *J. of Water Pollution Control Federation*, 51, (12), 2841-2857.
25. Eisenberge, D., Soller, J., Sakaji, R., and Olivier, A., (2001). "A Methodology to evaluate water and wastewater treatment plant reliability." *J. of Water Science and Technology*, 43(10), 91-99.
26. Crites, R., and Tchobanoglous, G. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*, McGraw-Hill, New York.
27. Gahangir, M. (2006). *The collection of rules and requirements in city and municipality*, Agah Pub., Tehran. (In Persian)
28. Cohen, A.I., Bar-Shalom, Y., Winkler, W., and Grimsrud, Gp. (1975). *A quantitative method for effluent compliance monitoring recourse allocation*, EPA-600/5-75-015, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, USA.
29. Gordon, C., Wesner, G., Williams, R., and Hughes Maark, V. (1980). *Wastewater reuse and recycling technology*, Noyes Data Corporation, New Jersey, USA
30. Kahn, H.D., and Rubin, M.B. (1989). "Use of statistical methods in Industrial water pollution control regulations in the united states." *J. of Environmental Monitoring and Assessment*, 12(2-3), 129-148.
31. Niku, S., Schroder, E.D., and Haugh, R. (1982). "Reliability and stability of trickling filter processes." *J. of Water Pollution Control Federation*, 54(2), 457-470.
32. Ossenbruggen, P.J., Constantine, K., Collins, M.R., and Bishop, P.L. (1987). "Toward optimum control of the activated sludge process with reliability analysis." *J. of Civil Engineering Systems*, 4(2), 77-86.
33. USEPA. (1991). *Technical support document for water quality-based toxics control*, EPA505/2-90-001, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, USA.
34. Sabahi, M., Moslehi, I., and Uromia, H. (2011). "Analysis and investigation of reliability in activated sludge wastewater treatment plants in Iran." *4th Conference of Iranian Water Resources Management, Amir Kabir University*, Tehran. (In Persian)
35. Fazelian Dehkordi, E., and Ghaneian, M. (2005). "Performance assessment of Yazd wastewater treatment plant (stabilization pond)." *8th National Conference of Environmental Health*, Tehran University of Medical Sciences, Tehran. (In Persian)
36. Redda, A.M., and Kruzic, A.P. (2008). "Studies of the performance, stability and reliability of various configurations of the activated sludge process at full-scale municipal wastewater treatment plants." The University of Texas at Arling the ton, USA.
37. Taleb Bidakhti, T., Dehghani, M.H., and Azam, K. (2009). "Effluent quality assessment of Tehran wastewater treatment plants." *12th National Conference of Environmental Health*, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran. (In Persian)
38. Naddafi, K., and Dehghanifard, E., Mostofi, S., and Faezi Razi, D. (2006). "Investigation of wastewater treatment plants in Iran during 2006 and determine of the upgrading needs for those during 2006." *2nd National Conference on Water and Wastewater*, Water and Power University of Tech., Tehran. (In Persian)
39. EPA. (2011). *Principles of design and operations of wastewater treatment pond systems for plant operators, engineers and managers*, USA.