

Analysis and Evaluation of the Performance of Water Distribution Networks Using Performance Criteria and Certain and Fuzzy Stability index

Raziyeh Analooei^{1*}, Masoud Taheriyoun² and Hamid Reza Safavi³

1- M.Sc., Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2, 3- Assistant Professor and Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*Corresponding Author, Email: r_analooei@yahoo.com

Received: 9/6/2017

Revised: 20/8/2017

Accepted: 26/8/2017

Abstract

Nowadays, using treated wastewater in diverse purposes such as agriculture, industry, and urban irrigation has become an appropriate solution for water shortage. Despite the advantages of water reuse, it is on the other hand always risky due to various pollutants in wastewater and lack of complete treatment in accordance with the standards. Therefore risk assessment should be conducted in order to determine the reliability of system and to offer solutions to enhance the wastewater treatment system performance. Risk is the possibility of occurrence of an adverse event and the severity of its negative effects. In the present study, Bayesian network approach is used for risk assessment and analysis of the reliability of the wastewater treatment plant. In this method the possibility of an event can be obtained by creating cause and effect relationship between the components of the system. Wastewater treatment plant of Industrial Complex of Moorchehort is selected as the case study in this research. Fouling, corrosion and biofilm as the results of using treated wastewater for industry have been determined as the studied events. The model input data have been formed by experts and specialists as well as the laboratory data from wastewater treatment plant of the Complex. The reliability of wastewater treatment system analyzed by Bayesian network model was determined as 70 percent. The efficiency of the Bayesian network to determine the elements of failure and to estimate the risk of wastewater treatment system not meeting the effluent standards for the industry uses is shown in this study.

Keywords: Bayesian network model, Risk and reliability assessment, Wastewater treatment plant, Water reuse

تحلیل اطمینان پذیری سیستم تصفیه و بازیافت پساب شهرک صنعتی مورچه خورت با استفاده از روش شبکه بیزی

راضیه انالوئی^۱، مسعود طاهریون^۲، حمیدرضا صفوی^۳

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

* نویسنده مسئول، ایمیل: r_analooei@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۹

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۶/۵/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۴

چکیده

امروزه استفاده از فاضلاب تصفیه شده در بخش های مختلفی از قبیل کشاورزی، صنعت و آبیاری فضای سبز به راه حل مناسب برای جبران کمبود آب تبدیل شده است. به دلیل احتمال وجود آلاینده های مختلف در فاضلاب و عدم تصفیه کامل منطبق بر استانداردها، این امر همواره با ریسک و عدم اطمینان همراه است. بنابراین به منظور تعیین وضعیت اطمینان پذیری و ارائه راه کارهای ارتقای آن در سیستم تصفیه فاضلاب، باید ارزیابی ریسک صورت گیرد. ریسک بیانگر احتمال وقوع یک رخداد نامطلوب به همراه شدت اثرات منفی آن است. در تحقیق حاضر از روش شبکه بیزی برای ارزیابی ریسک و تحلیل اطمینان پذیری سیستم تصفیه فاضلاب استفاده شده است. در این روش با ایجاد رابطه علت و معلولی بین اجزای سیستم، می توان احتمال رخداد یک رویداد در سیستم را به دست آورد. مطالعه موردی در این پژوهش، سیستم تصفیه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه خورت است. رویداد نهایی مورد بررسی در مدل، ایجاد پیامد رسوب، خوردگی و بیوفیلم حاصل از استفاده پساب در تأسیسات صنعتی شهرک صنعتی می باشد. داده های ورودی به مدل از طریق نظرات کارشناسان و متخصصان و داده های آزمایشگاهی تصفیه خانه شهرک صنعتی مورچه خورت تهیه شده است. نتایج نشان می دهد که با احتمال ۷۰ درصد سیستم تصفیه فاضلاب قادر به تأمین پساب با کیفیت مناسب برای مصارف صنعتی خواهد بود. همچنین کارایی مدل شبکه بیزی در تحلیل اطمینان پذیری و تخمین ریسک ناشی از عدم تطابق پساب خروجی با استانداردهای مورد نظر صنایع نشان داده شده است.

کلمات کلیدی: تصفیه خانه فاضلاب، ارزیابی ریسک، اطمینان پذیری، روش شبکه بیزی، پساب

انسانی می‌باشد. (Kabir et al., 2015) در پژوهشی با استفاده از شبکه بی‌زی به ارزیابی اطمینان‌پذیری سیستم توزیع آب شهری پرداختند. مطالعه موردی در این تحقیق سیستم توزیع آب شهر کلگری کانادا بود. نتایج تحقیق نشان داد تنها ۶/۲ و ۸/۲ درصد از کل لوله‌های سیستم توزیع آب شهری در نرخ شکست بالا و بسیار بالا قرار دارند. مدل ارائه‌شده برای شناسایی لوله‌های آسیب‌پذیر و حساس سیستم تصفیه آب به کار می‌رود، در نتیجه می‌توان تعداد لوله‌هایی را که نیاز به تعمیر و نگهداری دارند شناسایی کرد. طاهریون و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش شبکه‌های بی‌زی به ارزیابی ریسک استفاده از پساب در بخش کشاورزی پرداختند. در این پژوهش با ایجاد شبکه احتمالاتی بی‌زی و استفاده از نرم‌افزار HUGIN میزان ریسک استفاده از فاضلاب در بخش کشاورزی بر دو اثرپذیرنده انسان و گیاه تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که میزان ریسک ناشی از خطرات موجود بر اثرپذیرندگان انسان و گیاه به ترتیب ۴۶٪ و ۳۸٪ می‌باشند. همچنین آلاینده کادمیوم بیشترین سهم را در ایجاد ریسک دارند و دترجت و نیترات در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. (Anbari (2013 با استفاده از شبکه‌های بی‌زی به بررسی دو مورد شکست ساختاری و شکست هیدرولیکی شبکه جمع‌آوری فاضلاب پرداخت. در این حالت با استفاده از یک الگوریتم چهارمرحله‌ای شامل آماده‌سازی ورودی مدل، آموزش شبکه بی‌زی، اعتبارسنجی شبکه و در نهایت دریافت نتایج خروجی، سیستم جمع‌آوری فاضلاب شهر تهران مدل‌سازی شد. با استفاده از مقادیر ریسک به‌دست‌آمده از مدل تحلیل ریسک، اولویت‌های نگهداری و تعمیر سیستم مشخص شدند. در پژوهش حاضر، سعی شده تا الگویی برای ارزیابی اطمینان‌پذیری سیستم تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از پساب در تأسیسات صنعتی با استفاده از شبکه بی‌زی تدوین شود. در این مدل، رابطه علت و معلولی بین اجزای مختلف سیستم تصفیه فاضلاب در تأمین پساب با کیفیت مناسب برای مصارف صنعتی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۲- روش تحقیق

شبکه بی‌زی یک دیاگرام احتمالاتی برای نمایش روابط علت و معلولی بین اجزاء یک سیستم است. با استفاده از این مدل می‌توان وابستگی چندین متغیر مؤثر بر یکدیگر را نشان داد. این روش بر اساس تئوری احتمال بوده و تکنیک مؤثری برای

یک تصفیه‌خانه فاضلاب دارای واحدهای مختلف فرایندی و الکترومکانیکی است که در صورت بروز اشکال در هر واحد، تصفیه‌خانه قادر نخواهد بود کیفیت مناسب خروجی پساب را مطابق استانداردهای زیست‌محیطی تأمین نماید. ریسک بیانگر احتمال وقوع یک رویداد نامطلوب در سیستم و شدت اثرات منفی آن می‌باشد. اطمینان‌پذیری عکس مفهوم ریسک بوده و عبارت است از احتمال اینکه سیستم یک عمل یا کارکرد موردنیاز را بدون نقص تحت موقعیت‌های تعیین‌شده برای یک دوره معین زمانی انجام دهد (Taheriyoun et al., 2014).

یکی از روش‌های کارآمد ارزیابی ریسک و اطمینان‌پذیری سیستم روش شبکه بی‌زی^۱ می‌باشد. شبکه بی‌زی یک دیاگرام احتمالاتی برای نمایش روابط علت و معلولی بین اجزاء یک سیستم است. در واقع روش بی‌زی کمک می‌کند تا با استفاده از احتمالات شرطی بین اجزاء یک سیستم، بتوان ارزیابی اطمینان‌پذیری سیستم مورد مطالعه را انجام داد. شبکه بی‌زی با دو بخش کیفی و کمی وابستگی چندین متغیر مؤثر بر یکدیگر را نشان می‌دهد. در نتیجه می‌توان از شبکه‌های بی‌زی برای تصمیم‌گیری و استدلال در شرایط عدم قطعیت استفاده کرد (Taheriyoun et al., 2016). در ادامه چند مطالعه مرتبط با تحقیق حاضر بررسی می‌شود.

(Rahman et al., 2016) با استفاده از شبکه بی‌زی به ارزیابی شوری زمین‌های کشاورزی بر اثر آبیاری پساب حاصل از تصفیه فاضلاب پرداختند. داده‌های مورداستفاده در مدل با استفاده از انجام آزمایش‌هایی بر روی خاک منطقه مورد مطالعه و پساب مورداستفاده انتخاب شدند. آبیاری منطقه مورد مطالعه با استفاده از پساب به مدت ۲۰ سال بود. (Rahman et al., 2016) نشان دادند که شوری خاک در طی این ۲۰ سال افزایش زیادی یافته است. یکی از پیشنهادهای آنان برای کاهش شوری خاک استفاده از اسمز معکوس برای تصفیه تکمیلی بود. (Tang et al., 2016) با استفاده از شبکه بی‌زی به ارزیابی ریسک آلودگی پروژه انتقال کانال روباز آب از جنوب به شمال چین پرداختند. عوامل ایجاد ریسک در سیستم انتقال آب سه عامل شرایط جاده، کامیون‌های عبوری از روی پل و عوامل انسانی بودند. در نهایت مشخص شد احتمال وجود ریسک در این پروژه تنها ۶ درصد است که مهم‌ترین آن عوامل

CPT استفاده می‌شود. در واقع در این جدول مقدار احتمال هر گره در حالت‌های مختلف مثلاً موفقیت و شکست و تحت تأثیر گره‌های ماقبل قرار می‌گیرند. در نهایت از نرم‌افزار HUGIN، به‌منظور تشکیل مدل بیزی و تحلیل مدل استفاده می‌شود.

۳- مطالعه موردی

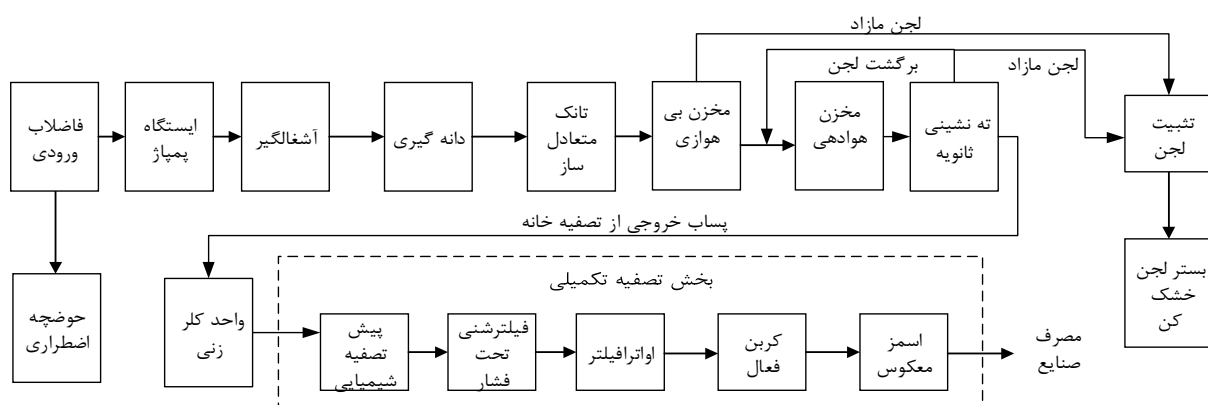
تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت در ۲ فاز اجرایی به بهره‌برداری رسیده است. فاز اول شهرک در سال ۱۳۸۸ و با ظرفیت ۸۰۰ مترمکعب در روز و فاز دوم آن در سال ۱۳۹۱ و با ظرفیت ۱۲۰۰ مترمکعب در روز مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. از سال ۱۳۹۲ پس‌اب حاصل از تصفیه فاز ۲ بعد از عبور از سیستم تصفیه تکمیلی در اختیار صنایع موجود در شهرک قرار گرفته و تا امروز بخشی از آب موردنیاز صنایع که شامل صنایع غذایی، نساجی، بسته‌بندی، ماشین‌آلات صنعتی و شیمیایی می‌باشند را تأمین می‌کند. فلودیاگرام تصفیه‌خانه در شکل ۱ نشان داده شده است. فرآیندهای مورد استفاده در این تصفیه‌خانه شامل حوضچه اضطراری، آشغال‌گیر، دانه‌گیر، دانه‌گیر و چربی‌گیر، تانک متعادل‌ساز، راکتور بی‌هوای دارای بافل با جریان رو به بالا، راکتور لجن فعال با بستر معلق، حوضچه ته‌نشینی مستطیلی و حوضچه کلر زنی می‌باشد. بخش تصفیه تکمیلی نیز شامل واحدهایی از قبیل پیش‌تصفیه شیمیایی، فیلتر شنی، اولترا فیلتر، کربن فعال و اسمز معکوس است. در این مطالعه به بررسی ریسک‌های بخش تصفیه‌خانه و تصفیه تکمیلی شهرک صنعتی مورچه‌خورت پرداخته می‌شود.

تصمیم‌سازی در مواردی است که امکان جمع‌آوری داده‌های کافی برای کاهش عدم قطعیت‌ها موجود نیست (Rahman et al., 2016). روش BN بر پایه قانون بیز بنا شده است. به ساده‌ترین شکل می‌توان قانون بیز را به‌صورت زیر بیان کرد (Kjaerulff and Madsen, 2007):

$$P(X|Y) = \frac{P(Y|X)P(X)}{P(Y)} \quad (1)$$

که $P(X|Y)$: احتمال رخداد رویداد X به شرط وقوع رویداد Y ، $P(Y|X)$: احتمال وقوع رویداد Y به شرط رخداد رویداد X ، $P(X)$: احتمال وقوع رویداد X و $P(Y)$: احتمال وقوع رویداد Y هستند.

در واقع شبکه بیزی مدلی گرافیکی است که روابط احتمالاتی بین تعداد زیادی از متغیرها را نمایش می‌دهد. با استفاده از این روش رابطه بین علت‌ها و معلول‌ها برقرار می‌شود و می‌توان احتمال رخداد یک رویداد در سیستم را با استفاده از اثرات سایر اجزاء سیستم به‌دست آورد. هر یک از متغیرهای تصمیم‌گیری در روش BN به‌صورت یک گره مدل می‌شوند. گره‌ها توسط پیکان‌هایی^۳ که نشان‌دهنده جهت اثر و رابطه علت و معلول است به هم متصل می‌شوند. برای هر گره حالت‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود و برای هر یک از حالت‌ها نیز درصدی به‌عنوان احتمال وقوع منظور می‌شود (Rahman et al., 2016). در نتیجه می‌توان احتمال آخرین گره را که از گره‌های ماقبل خود تأثیر می‌پذیرد به‌دست آورد. به‌منظور تعیین چگونگی تأثیر یک گره بر روی سایر گره‌ها از جدول احتمالات شرطی^۴ یا



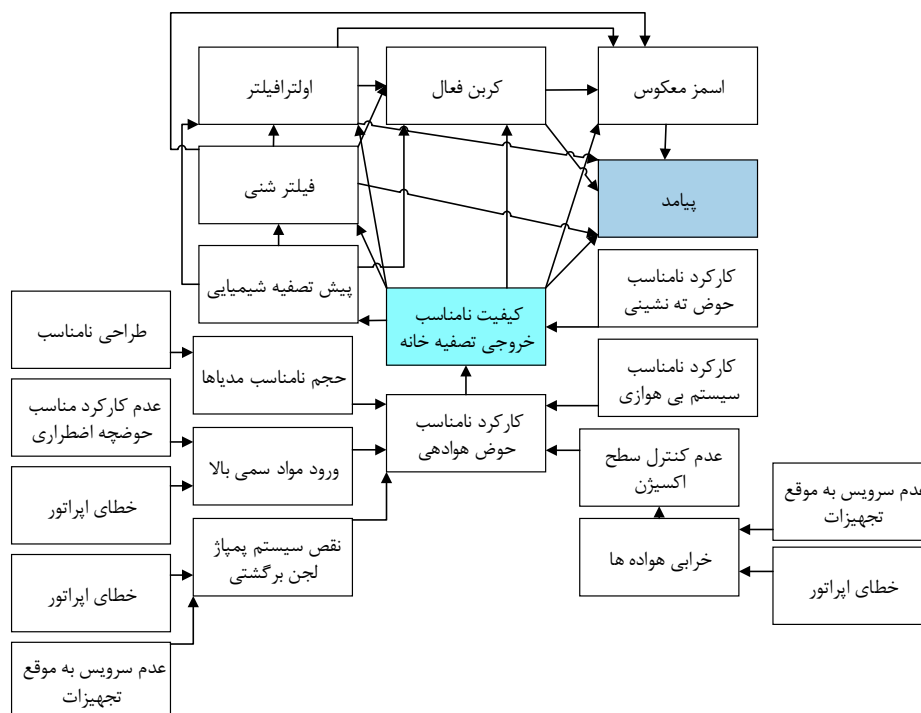
شکل ۱- فلودیاگرام تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت

گره پیامد در سه گروه طبقه‌بندی می‌شود. این پیامدها شامل موارد زیر هستند: ۱- عدم رخداد رسوب، خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی، ۲- رخداد رسوب، خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در بلندمدت و ۳- رخداد رسوب، خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در کوتاه‌مدت.

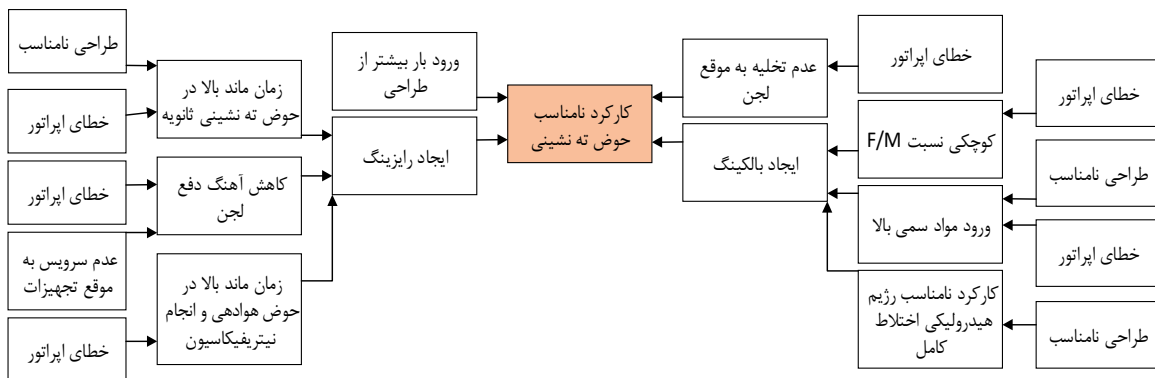
به دلیل این که نرم‌افزار HUGIN نسخه trial در تحلیل تعداد گره‌ها محدودیت دارد، در نتیجه گره کارکرد نامناسب حوض ته‌نشینی و حوض بی‌هواری در مدل‌های جداگانه تحلیل شده و نتایج آن در مدل اصلی قرار داده شده است. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب نشان‌دهنده شبکه بیزی کارکرد نامناسب حوض ته‌نشینی و کارکرد نامناسب حوض بی‌هواری هستند.

به منظور کمی‌سازی و اختصاص احتمال موفقیت و شکست به هر گره، از جدول CPT استفاده می‌شود. احتمال موفقیت و شکست و احتمال شرطی هر گره با استفاده از نظرات کارشناسان و متخصصان تصفیه‌خانه و داده‌های آزمایشگاهی تصفیه‌خانه و مراجع معتبر طراحی و بهره‌برداری تصفیه‌خانه تعیین گردیده است. به عنوان نمونه جدول CPT مربوط به ورود مواد سمی بالا به حوض هواده‌ی در جدول ۱ نشان داده شده است.

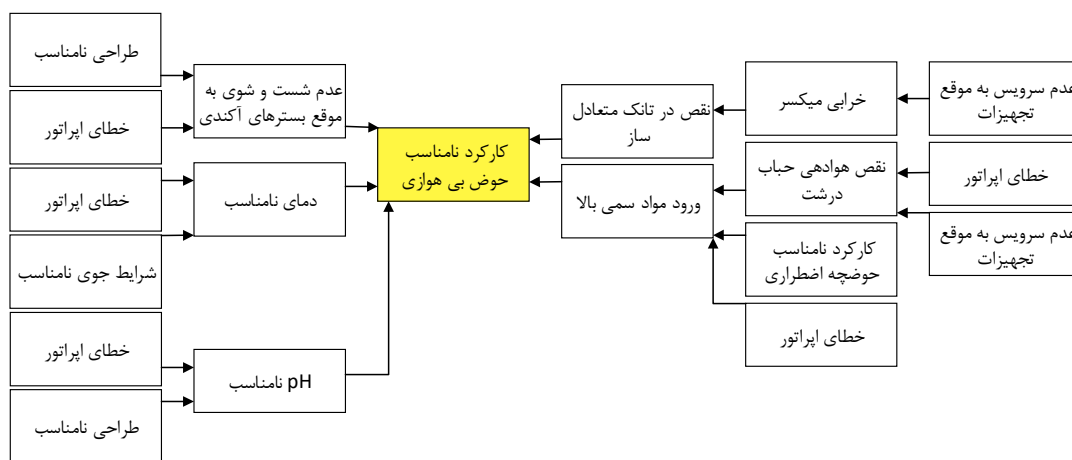
مدل بیزی تشکیل‌شده در نرم‌افزار برای تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت و بخش تصفیه تکمیلی در شکل ۲ نمایش داده شده است. با توجه به شکل، روابط علل و معلولی رویدادهای اولیه و میانی با گره پیامد نشان داده شده است. تمامی گره‌ها به جز گره پیامد دارای یک احتمال موفقیت و شکست می‌باشند. گره‌های پایه علتی هستند برای ایجاد گره‌های میانی، پس برای آن‌ها احتمال شرطی تعریف نمی‌شود. گره‌های میانی دارای احتمال شرطی هستند که ناشی از تأثیر هرکدام از گره‌های ماقبل خود می‌باشد. برای مثال، با توجه به شکل ۲ خطای اپراتور و عدم کارکرد مناسب حوضچه اضطراری باعث ورود مواد سمی بالا به حوض هواده‌ی می‌شوند. در نتیجه احتمال موفقیت و یا شکست مرتبط با ورود مواد سمی بالا به حوض هواده‌ی زمانی رخ می‌دهد که خطای اپراتور و عدم کارکرد مناسب حوضچه اضطراری هر دو اتفاق بیفتد یا هر دو اتفاق نیفتد و یا یکی از آن‌ها به درستی کار کند اما دیگری دارای خطا و شکست باشد.



شکل ۲- شبکه بیزی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت



شکل ۳- ادامه شبکه بیزی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت (بخش اول)



شکل ۴- ادامه شبکه بیزی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت (بخش دوم)

تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- CPT ورود مواد سمی بالا به حوض هوادهی

بله		خیر		C1
بله	خیر	بله	خیر	C2
۰/۰۱	۰/۵	۰/۴	۰/۹۷	خیر
۰/۹۹	۰/۵	۰/۶	۰/۰۳	بله

با توجه به جدول ۲ احتمال وقوع کیفیت نامناسب خروجی تصفیه‌خانه شهرک صنعتی ۲۶٪ است. در نتیجه بخش تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت عملکرد مناسبی برابر ۷۴٪ تأمین پساب به‌منظور ورود به بخش تصفیه تکمیلی دارد. همچنین حوض ته‌نشینی و حوض هوادهی به ترتیب با ۷۸٪

با توجه به جدول ۱ ورود مواد سمی بالا به حوض هوادهی ناشی از دو عامل C1 (خطای اپراتور) و C2 (عدم کارکرد مناسب حوضچه اضطرابی) می‌باشد. در نتیجه با توجه به جدول ۱ احتمال عدم ورود مواد سمی بالا به حوض هوادهی به شرط عدم وجود خطای اپراتور و کارکرد مناسب حوضچه اضطرابی ۹۷ درصد و احتمال شکست ۳ درصد می‌باشد. اگر خطای اپراتور رخ ندهد ولی حوضچه اضطرابی به‌درستی کار نکند موفقیت حوض هوادهی در عدم ورود مواد سمی بالا ۴۰ درصد و عدم موفقیت ۶۰ درصد است. در واقع ورود یا عدم ورود مواد سمی بالا به حوض هوادهی به وقوع یا عدم وقوع خطای اپراتور و کارکرد نامناسب حوضچه اضطرابی بستگی دارد. پس از تشکیل و تحلیل شبکه بیزی توسط نرم‌افزار HUGIN احتمال وقوع هر گره و گره پیامد به‌دست‌آمده است. نتایج حاصل از تحلیل برای گره‌های مهم و کلیدی شبکه بیزی به‌جز گره پیامد

جدول ۲- نتایج حاصل از تحلیل شبکه بیزی تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت به‌استثنای گره پیامد

نام رویداد	احتمال موفقیت (%)	احتمال شکست (%)
کیفیت نامناسب خروجی تصفیه‌خانه	۷۴	۲۶
کارکرد نامناسب حوض ته‌نشینی	۷۸	۲۲
کارکرد نامناسب سیستم هوادهی	۸۲	۱۸
کارکرد نامناسب سیستم پیش‌تصفیه شیمیایی	۷۵	۲۵
کارکرد نامناسب سیستم فیلتر شنی	۸۲	۱۸
کارکرد نامناسب سیستم اولترافیلتراسیون	۸۳	۱۷
کارکرد نامناسب سیستم کربن فعال	۷۶	۲۴
کارکرد نامناسب سیستم اسمز معکوس	۸۹	۱۱

مناسب برای مصارف صنعتی آن برابر ۳۰٪ تعیین شده است. به‌منظور کاهش ریسک‌های سیستم و افزایش اطمینان‌پذیری پیشنهادهایی از قبیل تهیه نظام‌مند مدیریت بحران، افزایش سطح دانش فنی اپراتورهای تصفیه‌خانه به‌منظور کاهش خطاهای انسانی، استفاده از تجهیزات الکترونیک جهت پایش سیستم‌های موجود، سرویس و تعمیر بخش‌های مختلف تصفیه‌خانه به‌صورت منظم و دوره‌ای، افزایش نیروی کار جهت بالا بردن دقت بررسی‌ها و سرویس تجهیزات، تجهیز کردن آزمایشگاه تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت و انجام آزمایش‌های مرتب دوره‌ای پارامترهای مختلف مطابق با استاندارد پساب‌های صنعتی ارائه می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر سعی شده است تا با استفاده از روش شبکه بیزی الگویی برای ارزیابی ریسک و اطمینان‌پذیری سیستم تصفیه فاضلاب ارائه شود. مدل بیزی بر اساس تعیین احتمال

و ۸۲٪ عملکردی مناسبی در بخش تصفیه‌خانه دارند. بنابراین احتمال وقوع کیفیت نامناسب بخش خروجی تصفیه‌خانه، بیشتر ناشی از کارکرد نامناسب حوض ته‌نشینی است. از طرفی بخش تصفیه تکمیلی شامل پیش‌تصفیه شیمیایی، فیلتر شنی، اولترا فیلتر، کربن فعال و اسمز معکوس به ترتیب با احتمال ۷۵٪، ۸۲٪، ۸۳٪، ۷۶٪ و ۸۹٪ قادر به تأمین پساب مطابق با استانداردهای زیست‌محیطی می‌باشند. همچنین احتمال گره پیامد که در سه دسته تقسیم‌بندی شده در جدول ۳ نشان داده شده است. احتمال وقوع رویداد A1 یعنی عدم وقوع رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی برابر ۷۰٪، رخداد رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در بلندمدت ۲۴٪ و رخداد رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در کوتاه‌مدت ۶٪ تعیین شده است.

درنهایت احتمال موفقیت کل سیستم تصفیه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت در تأمین آب با کیفیت مناسب برای مصارف صنعتی با استفاده از روش شبکه بیزی برابر ۷۰٪ و احتمال شکست سیستم در تأمین آب باکیفیت

جدول ۳- احتمال وقوع گره پیامد مدل بیزی تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت

پیامد	احتمال پیامد (%)	نماد
عدم وقوع رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی	۷۰	A1
رخداد رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در بلندمدت	۲۴	A2
رخداد رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در کوتاه‌مدت	۶	A3

۷- تشکر و قدردانی

این تحقیق با همراهی دکتر سید علیرضا مؤمنی مدیر محیطزیست شرکت شهرک‌های صنعتی استان اصفهان، خانم مهندس مهناز حیدری مدیر تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت، خانم مهندس حمیده ابراهیمی کارشناس تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت و آقای مهندس حمید ارومیه طراح بخش تصفیه تکمیلی تصفیه‌خانه مورچه‌خورت انجام شده که بدین‌وسیله از زحمات این عزیزان تشکر می‌شود.

۸- مراجع

- عنبری، م.ج. (۱۳۹۲)، «تحلیل ریسک سیستم‌های تصفیه‌خانه با استفاده از شبکه‌های بی‌زی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.
- HUGIN, [Computer Software], Hugin Expert, Available from: <http://www.hugin.com/>.
- Kabir, G., Demissie, G., Sadiq, R., and Tesfamariam, S., (2015), "Integrating failure prediction models for water mains: Bayesian belief network based data fusion", *Journal of Knowledge-Based Systems*, 85, 159-169.
- Kjaerulff, U.B., and Madsen, A.L., (2007), *Bayesian Networks and influence diagrams: A guide to construction and analysis*, Springer Science+Business Media, NewYork.
- Rahman, M.M., Hagare, D., and Maheshwari, B., (2016), "Bayesian Belief Network analysis of soil salinity in a peri-urban agricultural field irrigated with recycled water", *Journal of Agricultural Water Management*, 176, 280-296.
- Taheriyoun, M., Alavi, V., and Ahmadi, A., (2016), "Risk analysis of wastewater reuse in agriculture using bayesian network", *Amir Kabir Journal of Science and Research, Civil and Environmental Engineering*, 48 (1), 101-110, (In Persian).
- Taheriyoun, M., Bahrami, M., and Moradinejad, S., (2014), "Reliability analysis of a municipal wastewater treatment plant using fault tree analysis", *Journal of Iran-Water Resource Research*, 10(2), 1-11, (In Persian).
- Tang, C., Yi, Y., Yang, Zh., and Sun, J., (2016), "Risk forecasting of pollution accidents based on an integrated Bayesian Network and water quality model for the South to North water transfer project", *Journal of Ecological Engineering*, 96, 109-116.

هر گره و احتمال شرطی هر گره نسبت به گره‌های پیشین خود عمل می‌کند و درنهایت می‌توان احتمال وقوع گره نهایی را تعیین کرد. مطالعه موردی انتخاب شده سیستم تصفیه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت است. این تصفیه‌خانه در دو بخش تصفیه‌خانه اصلی و بخش تصفیه تکمیلی بخشی از آب صنایع موجود در شهرک به‌منظور استفاده در بخش‌های مختلفی از قبیل برج‌های خنک‌کننده، بویلرها، آب مصرفی در صنایع مختلفی مانند نساجی، پلاستیک و لاستیک، فولاد و آهن، صنایع غذایی و آب شست‌وشو را شامل می‌شوند، تهیه می‌کند. با تشکیل شبکه بی‌زی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت و تحلیل مدل بی‌زی احتمال وقوع رویداد عدم وقوع رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی برابر ۷۰٪، ایجاد رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در بلندمدت ۲۴٪ و ایجاد رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در کوتاه‌مدت ۶ درصد تعیین شده است. در نتیجه، احتمال موفقیت کل سیستم تصفیه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت با استفاده از روش شبکه بی‌زی برابر ۷۰٪ است. درنهایت به‌منظور کاهش ریسک‌های سیستم و افزایش اطمینان‌پذیری پیشنهادهایی از قبیل تهیه نظام‌مند مدیریت بحران، افزایش سطح دانش فنی اپراتورهای تصفیه‌خانه به‌منظور کاهش خطاهای انسانی، استفاده از تجهیزات الکترونیک جهت پایش سیستم‌های موجود، سرویس و تعمیر بخش‌های مختلف تصفیه‌خانه به‌صورت منظم و دوره‌ای، افزایش نیروی کار جهت بالا بردن دقت بررسی‌ها و سرویس تجهیزات، تجهیز کردن آزمایشگاه تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت و انجام آزمایش‌های مرتب دوره‌ای پارامترهای مختلف مطابق با استاندارد پساب‌های صنعتی ارائه شده است.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Bayesian Network
- 2- Bayes
- 3- Edges
- 4- Conditional Probability Table