نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر - مهندسی عمران و محیط زیست
AmirKabir Jounrnal of Science & Research
Civil and Enviromental Engineering
(ASJR-CEE)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره ۴۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، صفحه ۱۰۱ تا ۱۱۰
Vol. 48, No. 1, Spring 2016, pp. 101-110

تحلیل ریسک استفاده از پساب تصفیه شده در کشاورزی با استفاده از شبکه بیزی

مسعود طاهریون[1*]، وجیهه علوی[2]، آزاده احمدی[3]
۱- استادیار دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست دانشگاه خوارزمی
۳-استادیار دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۰۹، پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۱۳)

چکیده

پساب تصفیه شده به دلیل مزایایی نظیر کاهش محدودیت منابع آبی و کاهش آلودگی محیط زیست مورد توجه و استفاده در بخش کشاورزی قرار گرفته است. اما آلاینده‌های احتمالی موجود در پساب باعث ایجاد محدودیت‌هایی در استفاده از آن می‌گردد. ارزیابی ریسک یکی از ابزارهای مهم برای شناخت خطرات احتمالی یک پروژه و پیامدهای بالقوه ناشی از آن می‌باشد. در این تحقیق ارزیابی ریسک استفاده مجدد از پساب با استفاده از تکنیک شبکه بیزی انجام می‌گردد. در این روش با ایجاد شبکه علت و معلولی و با تعریف شاخص مخاطرات ناشی از آلاینده‌های موجود در فاضلاب تصفیه شده و شاخص اثرات بر انسان و گیاه به عنوان پذیرنده‌های اصلی به شناسایی و تحلیل ریسک پرداخته می‌شود. تحقیق حاضر برای ارزیابی ریسک استفاده از پساب تصفیه خانه شهرک صنعتی البرز درحومه قزوین در آبیاری زمین‌های کشاورزی مجاور به کار گرفته شده است. نتایج تحلیل نشان دهنده وجود ۴۶ درصد ریسک برای انسان و ۳۸ درصد برای گیاه بوده که به ترتیب کادمیوم، دترجنت و نیترات بیشترین سهم را در ایجاد ریسک دارند. راهکارهای در نظر گرفته شده برای کاهش ریسک مواردی نظیر ایجاد واحدهای پیش‌تصفیه، نظارت دقیق، بهبود وضعیت بهره‌برداری و پایش مداوم می‌باشد.

کلمات‌کلیدی:

پساب تصفیه شده، شاخص مخاطرات، شاخص اثرات، ارزیابی ریسک، شبکه بیزی.

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات: E-mail: taheriyoun @cc.iut.ac.ir

۱- مقدمه

رشد روز افزون تقاضا برای مصرف آب موجب برداشت بی رویه از منابع آبی گردیده که در نتیجه آن عوارضی نظیر خشک شدن رودخانه‌های دائمیو افت آبهای زیر زمینی و متعاقب آن نشست زمین و شور شدن آبهایی زیرزمینی بروز می‌نماید. از سویی دیگر فاضلاب شهری و صنعتی تولید شده جزء آبهای نامتعارفی هستند که با مدیریت مناسب آنها در بخشهای مختلف و در صورت تصفیه مناسب می‌توان علاوه بر کاهش بار آلودگی ناشی از تخلیه مستقیم آنها به محیط زیست، با مشکلات کم آبی نیز به مقابله پرداخت.

به دلیل اهمیت و میزان آب مصرفی زیاد در بخش کشاورزی، استفاده صحیح و با برنامه فاضلاب در این بخش، علاوه برجایگزینی آب مصرفی در بخش کشاورزی، به دلیل وجود عناصر مغذی در فاضلاب که می‌توانند باعث افزایش محصولات کشاورزی و کاهش هزینه‌های ناشی از استفاده از کود کشاورزی گردند. با وجود تمام مزایایی که استفاده مجدد از فاضلاب در آبیاری کشاورزی دارد، نبود شناخت خطرات ناشی از وجود آلاینده‌های فاضلاب می‌تواند صدمات فراوانی را در این فرآیند ایجاد نماید. خطرات ناشی از استفاده مجدد از فاضلاب شامل وجود آلاینده‌های مختلفی است که در نتیجه تصفیه نامناسب فاضلاب در پساب باقی مانده باشند که از آن جمله می‌توان به وجود نیترات، فسفر، فلزات سنگین، کلیفرم مدفوعی، نمکها، دترجنت و چربی اشاره نمود. هر کدام از این خطرات می‌توانند اثرات نامطلوبی بر سلامتی انسان و یا رشد گیاه کشت شده داشته باشند. همچنین خطر دیگر امکان آلودگی آبهای زیر زمینی و در نتیجه اثر غیر مستقیم بر سلامتی انسان می‌باشد [۷،۸،۲،۶،۱۵].

ارزیابی ریسک می‌تواند روشی مناسب برای تحلیل پتانسیل بروز خطرات ناشی از آلاینده‌ها باشد که در نهایت در بخش مدیریت ریسک با ارائه راهکارهایی به حداقل ممکن رسانده می‌شود. در ارزیابی ریسک، توانایی ذاتی یک ماده که باعث ضرر و زیان می‌شود خطر نامیده می‌شود. برای انجام ارزیابی ریسک روشهای متعددی ارائه شده که یکی از این روش‌ها استفاده از شبکه بیزی است. روش شبکه بیزی توسط ریاضیدانی به نام توماس بیز که بر روی نظریه احتمالات کار می‌کرد نام‌گذاری شده است که مجموعه تلاش‌های وی منجر به ارائه قوانینی به نام قوانین بیزی گردید [۵].

تا کنون در رابطه با ارزیابی ریسک‌های زیست محیطی تحقیقات مختلفی انجام شده است. جوزی و ایرانخواه (۱۳۸۷) به ارزیابی ریسک محیط زیستی خطوط لوله انتقال گاز به روش تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداخته اند. در این تحقیق بر اساس دو مفهوم شاخص خطرات و اثرات، ریسکهای محیط‌زیستی مربوط به خط لوله اولویت بندی شده است [۱]. یارقلی و ابزاری (۱۳۸۹) برای ارزیابی ریسک از معادلات دوز پاسخ که میزان ریسک را تابعی از غلظت مواد سمی در محیط قرار می‌دهد، استفاده نمودند[۹].

درباره‌ی ارزیابی ریسک استفاده از فاضلاب در کشاورزی چیو (۲۰۰۸) با اشاره به اثرات ناشی از استفاده از فاضلاب بر سلامتی انسان، آلودگی خاک و رشد گیاهان، ریسک ناشی از تجمع فلزات سنگین در اثر استفاده از پساب بازیافتی را از مسیر تخلیه به آبهای سطحی، ماهی و انسان مورد بررسی قرار داده و ظرفیت بارگذاری پساب بازیافتی را بر زمینهای کشاورزی محاسبه نموده است [۱۰]. گانولیس و پاپالوپولو (۱۹۹۶) مراحل مختلف ارزیابی ریسک ناشی از استفاده مجدد از پساب را شامل شناخت خطر، کمی‌سازی، تعیین اثرات و نهایتا مدیریت ریسک را با هدف تدوین یک سیستم پشتیبان تصمیم در مدیریت ریسک استفاده از پساب تشریح نموده‌اند[۱۱].

در زمینه استفاده از شبکه بیزی در تحلیل ریسک نیز مطالعاتی در زمینه‌های مرتبط با محیط زیست انجام شده است. پولینی و همکاران (۲۰۰۷) استفاده از شبکه بیزی در ارزیابی ریسک اکولوژی را مورد ارزیابی قرار دادند و چگونگی تلفیق استفاده از داده‌ها و نظرات کارشناسی را به عنوان ورودی به شبکه بیزی تشریح نموده‌اند[۱۶]. لی و جای لی (۲۰۰۶) در ارزیابی ریسک آلودگی رادیواکتیو ناشی از دفن زباله‌های هسته‌ای از شبکه بیزی استفاده نمودند. در این تحقیق از یک الگوریتم وزن‌دهی احتمالاتی در توسعه ساختار شبکه بیزین استفاده شده است[۱۴].

با توجه به عدم کاربرد روش شبکه‌های بیزی در ارزیابی ریسک ناشی از استفاده مجدد از پساب در مطالعات گذشته، در این تحقیق الگویی برای ارزیابی ریسک استفاده مجدد از پساب تصفیه شده یک ناحیه صنعتی در آبیاری کشاورزی با استفاده از روش شبکه‌های بیزی تدوین می‌گردد. در این روش ارتباط بین آلاینده‌های پساب به عنوان خطر و پذیرنده‌ها به عنوان اثر پذیر بر اساس مفهوم ریسک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نهایتا با استفاده از روابط احتمالات شرطی بیزی، تحلیل ریسک ناشی از کاربرد پساب در کشاورزی انجام می‌گردد.

۲- مطالعه موردی

شهرک صنعتی البرز در مساحتی بالغ بر ۹۰۰ هکتار در ۱۵ کیلومتری شهر قزوین واقع شده است که از سال ۱۳۶۶ تاکنون واحدهای صنعتی متعددی در آن احداث و به بهره برداری رسیده است. در حال حاضر فاضلاب ناحیه شهرک صنعتی البرز، به تصفیه خانه البرز که در دست بهره برداری است هدایت می‌گردد. تصفیه خانه شهرک صنعتی البرز در حدود ۳ کیلومتری این شهر صنعتی قرار گرفته که پس از جمع آوری فاضلاب واحدهای صنعتی، آن را مورد تصفیه قرار می‌دهد.

روش تصفیه فاضلاب این تصفیه خانه از نوع لجن فعال متعارف می‌باشد . میانگین پساب تولیدی این تصفیه خانه در سال بررسی طرح (سال ۱۳۸۷) معادل ۵۰،۰۰۰ متر مکعب در روز بوده است که پیش بینی می‌گردد مقدار آن در سال ۱۳۹۰ به ۷۰،۰۰۰ و متر مکعب در روز افزایش یابد. از فاضلاب ورودی به این تصفیه خانه، سهم فاضلاب صنعتی بیش از ۹۲ درصد و مابقی مربوط به فاضلاب بهداشتی- انسانی محدوده ناحیه صنعتی است. در شرایط موجود پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب

شهرک صنعتی البرز با نهر خاکی سنتی در پایین دست محل خروجی تصفیه‌خانه، به بخشی از اراضی کشاورزی در حاشیه تصفیه‌خانه هدایت و به مصرف آبیاری می‌رسد. محصولات کشت شده در زمین‌های کشاورزی آبخور این تصفیه‌خانه شامل گندم، جو و ذرت می‌باشد و سطح زیر کشت در حدود ۶۰۰ هکتار می‌باشد.

در حال حاضر از فاضلاب خروجی این تصفیه خانه برای آبیاری اراضی مجاور تصفیه خانه استفاده می‌گردد. در این مطالعه در ارزیابی ریسک استفاده مجدد از پساب از داده‌های خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی البرز واقع در قزوین استفاده می‌گردد [۴].

۳- روش شناسی

ریسک بر پایه دو مفهوم خطرات موجود و شدت اثرات ناشی از آنها برآورد می‌گردد. در ارزیابی ریسک استفاده از فاضلاب در کشاورزی، میزان خطر تابعی از میزان تخطی هر کدام از آلاینده‌ها نسبت به حد مجاز استاندارد آن آلاینده می‌باشد. اثر پذیرندگان استفاده از فاضلاب در کشاورزی نیز شامل انسان و گیاه (محصول) تقسیم می‌شوند.

شبکه‌های بیزی از جدیدترین ابزارهای احتمالاتی هستند که برای توصیف روابط بین متغیرهای یک مجموعه و مقابله با شرایط عدم قطعیت در سیستمهای خبره به کار می‌رود. این شبکه‌ها نوع خاصی از مدل‌های گرافیکی بوده که نماینده ساختار وابستگی بین چندین متغیر اثرگذار بر هم باشند و برای حالاتی مفیدند که وضعیت سیستم به وضعیت قبلی آن بستگی دارد. بنابراین می‌توان از شبکه‌های احتمالاتی بیزی برای تصمیم‌گیری و استدلال در شرایط عدم قطعیت استفاده کرد.

مبنای محاسبات در شبکه‌های بیزین، قاعده بیز است. قانون مورد استفاده به منظور به روز کردن گمان ما در مورد رخداد واقعه B، با فرض اینکه A، واکنش مربوط به رخداد B می‌باشد، به صورت رابطه (۱)بیان می‌شود:

$$P(b|a)=\frac{P(a|b)\times P(b)}{P(a)} \qquad (۱)$$

که $P(a)$ احتمال وقوع پدیده a، احتمال وقوع پدیده b از میان احتمال وقوع پدیده a می باشد. هر یک از متغیرهای تصمیم‌گیری در روش شبکه‌ی بیزی به صورت یک گره مدل می‌شوند. هر گره دارای حالات مختلف و یا مجموعه‌ای از مقادیر احتمالات برای هر متغیر است. گره‌ها توسط پیکان‌هایی که نشان دهنده جهت اثر و رابطه علت و معلول است به هم متصل می‌شوند. اینکه چگونه یک گره بر روی سایر گره‌ها اثر می‌گذارد توسط جداول احتمالات شرطی یا CPT که برای هر گروه تعریف شده مشخص می‌گردد.

بر اساس روش ارزیابی ریسک با استفاده از شبکه بیزی، ابتدا خطراتی که سلامت انسان و رشد گیاه را تهدید می‌کنند به همراه اثرات هر یک از خطرات مشخص می‌شوند. کمی‌سازی شاخصهای خطرات و اثرات با استفاده از اطلاعات موجود یا بر اساس نظرات کارشناسان انجام گردیده و در نهایت با ترسیم شبکه بیزی و تکمیل جداول احتمالات شرطی (CPT) میزان ریسک ناشی از خطرات موجود به دست می‌آید.

جهت تعیین خطرات با مطالعه بر داده‌های فاضلاب خروجی تصفیه‌خانه و بررسی متغیرهای کیفی که دارای تخطی از حدود مجاز استانداردها بودند، شاخص خطرات تعیین می‌گردند. در این مطالعه بر اساس داده‌های پساب خروجی تصفیه‌خانه البرز در سالهای ۸۷ و ۸۹ پارامترهای دارای تخطی از حدود استاندارد مجاز مصارف آبیاری کشاورزی، شامل نیتروژن و فسفر بیش از حد نیاز گیاه، فلزات سنگین، وجود کلیفرم، بو و درجنت و چربی می‌باشد. شاخص اثرات نیز با توجه به هر نوع خطر برای اثر پذیرنده‌های انسان و گیاه تعریف می‌گردند. راه‌های کلی ایجاد خطر برای هر کدام از اثر پذیرنده‌ها به صورت شماتیک در شکل (۱) آمده است. مطابق شکل اثرات عمده برای انسان به سبب ورود آلاینده‌ها به بدن در اثر نوشیدن آب یا خوردن محصول آلوده و ایجاد بیماری پدید می‌آید. در مورد گیاه اثرات ایجاد شده به سبب خسارت ناشی از کاهش محصول می‌باشد. در شکلهای (۲) و (۳) با توسعه روابط بین اثر پذیرنده‌ها و عوامل خطر، نموداری از روابط بین متغیرها و شاخص اثرات و خطرات نشان داده شده است.

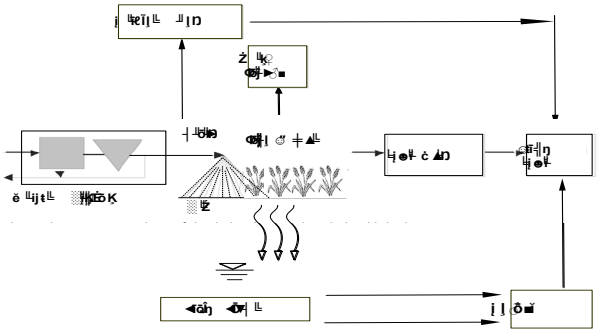
در این تحقیق، مدل شبکه بیزی مربوط به شاخص خطرات و اثرات با استفاده از نرم افزار هاگین و بر اساس شکل رائه شده در شکلهای (۳) و (۴) تدوین گردیده است. این نرم افزار قابلیت ایجاد شبکه بیزی به صورت گرافیکی را داراست و با تعیین احتمالات هر گره و احتمالات شرطی، میزان احتمال گره نهایی را محاسبه می‌نماید [۱۲]. تعیین احتمالات شرطی هر گره مربوط به دو شبکه شاخص خطرات و شاخص اثرات در ادامه توضیح داده می‌شود.

۳-۱- تعیین احتمالات شبکه بیزی شاخص خطرات

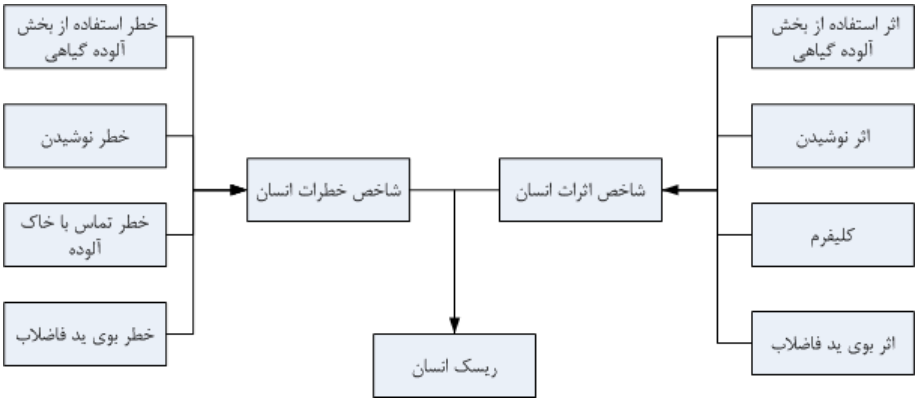
احتمال هر گره در شبکه بیزی شاخص خطرات (PH_j) معادل احتمال تخطی از حد مجاز در نظر گرفته می‌شود و بر اساس رابطه (۲) استفاده می‌شود.

$$PH_j = Pj \qquad (۲)$$

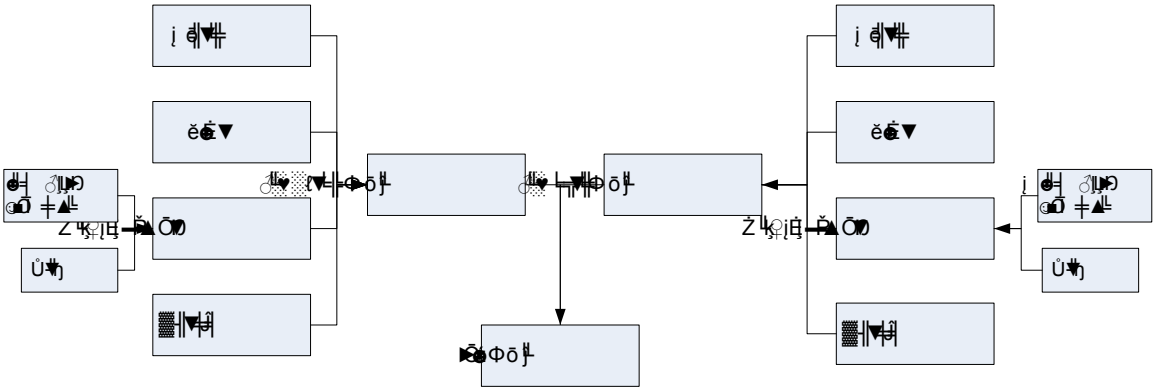
که در آن Pj احتمال تخطی آلاینده بیش از حد مجاز در فاضلاب تصفیه شده می‌باشد که با تقسیم تعداد موارد تخطی داده‌های خروجی تصفیه‌خانه بر کل تعداد داده‌ها به دست می‌آید.



شکل ۱: راه‌های انتقال آلاینده‌ها به اثرپذیرنده‌ها



شکل ۲: روابط بین متغیرها و شاخصهای خطر و اثر برای پذیرنده انسان



شکل ۳: روابط بین متغیرها و شاخصهای خطر و اثر برای پذیرنده گیاه

برای تعیین احتمال شرطی گره معلول نسبت به گره علت، ابتدا احتمال رخداد تمام خطرات مربوط به یک دریافت کننده به عنوان گره معلول به صورت کلی را با استفاده از نظرات کارشناسان به دست آورده و با در نظر گرفتن یک نسبت وزنی تعریف شده (مطابق رابطه (۴))، احتمالات شرطی هر گره از ضرب احتمال شرطی کل خطرات در وزن مربوطه مطابق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$PH_{pj} = PT_H \times WH_J \qquad (۳)$$

که در آن PH_{pj} سهم تاثیر خطر j ام در ایجاد احتمال کل و PT_H رخداد تمام خطرات مرتبط به گره معلول است که با میانگین‌گیری از نظر سه کارشناس به دست می‌آید.

WHv_I نسبت وزنی احتمال هر گره خطر نسبت به احتمال کل خطرات وابسته در شبکه بیزی است که این ضریب وزنی با توجه به تخطی هر آلاینده و میزان سهولت آلاینده در رسیدن به دریافت کننده مطابق رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$WH_J = \frac{PH_j \times MF_j}{\sum_{j=1}^{n} PH_j \times MF_j} \qquad j=1,2,..,n \qquad (۴)$$

که در آن PH_j از رابطه (۲) به دست می‌آید و MF_I ، پارامتری با عنوان ضریب تحرک‌پذیری آلاینده تعریف می‌شود که وابسته به نوع آلاینده بوده و شاخصی از سهولت رسیدن آلاینده به دریافت‌کننده می‌باشد. میزان MF_I بر اساس نتایج مطالعات انجام شده بر آلاینده‌های مختلف به دست می‌آید. به طور مثال در مورد نیترات میزان احتمال انتقال به آب زیر زمینی در حدود ۷۰ درصد، و احتمال انتقال کلیفرم به لایه‌های پایینی خاک در حدود ۱۰ درصد در نظر گرفته می‌شود[۲].

۳-۲- تعیین احتمالات شبکه بیزی شاخص اثرات

برای تعیین احتمال هر گره در شبکه بیزی شاخص اثرات، عاملی با عنوان ضریب حساسیت نسبی تعریف گردید که نشان دهنده میزان حساسیت و اثرگذاری آلاینده با توجه به حد مجاز استاندارد آلاینده مورد نظر است. به طوری که آلاینده با میزان حد مجاز پایین‌تر ضریب حساسیت بیشتر و آلاینده با میزان حد مجاز بالاتر ضریب حساسیت اثر کمتری خواهد داشت. به عنوان مثال کادمیوم نسبت به کلیفرم حد مجاز پایین‌تری در استاندارد آبیاری دارد لذا ضریب حساسیت کادمیوم نسبت به کلیفرم بیشتر در نظر گرفته می‌شود.

بنابراین احتمال ایجاد اثر در هر گره شبکه بیزی با توجه به مقایسه مقدار ضریب حساسیت نسبی عوامل آلاینده ایجاد اثرات مطابق رابطه (۵)، بر اساس قضاوت کارشناسی تعیین می‌گردد.

که در آن PI_I احتمال متناظر اثر در هر گره شبکه و S_k ضریب حساسیت نسبی می‌باشد.

$$PI_j = f(S_k) \quad (۵)$$

برای تعیین احتمالات شرطی اثر بر دریافت‌کننده (معلول) نسبت به هر آلاینده (علت) ابتدا احتمال کل شرطی برای اثر بر در یافت کننده ناشی از همه آلاینده‌ها بر اساس میانگین‌گیری از نظر کارشناسان محاسبه شده و سپس سهم تاثیر هر یک از آلاینده در مقدار احتمال شرطی کل بر اساس رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$PI_{pj} = PT_I \times WI_J \quad (۶)$$

که در آن PH_{pj} سهم تاثیر اثر jام در ایجاد احتمال کل، PT_I احتمال اثر کل (نظر کارشناسی) و WI_j نسبت وزنی احتمال شرطی اثر هر الاینده نسبت به احتمال شرطی اثرکل آلاینده‌ها برای یک دریافت کننده در شبکه بیزی می‌باشد. برای محاسبه این نسبت وزنی از مفهوم دیگری به نام بزرگی تخطی استفاده می‌شود. بزرگی تخطی به معنای میزان مجموع تخطی‌ها نسبت به حد مجاز استاندارد می‌باشد که در آن نسبت فراوانی تخطیها و مقدار مجموع تخطی با هم در نظر گرفته می‌شود و از رابطه (۷) به دست می‌آید [۱۳].

$$MO_k = \frac{\sum_{r=1}^{K}(P_r - LS)}{N.LS} \quad for\ \forall\, r: \quad P_r > LS \quad (۷)$$

که در آن MO_K بزرگی تخطی و Pr غلظت آلاینده خروجی تصفیه‌خانه در نمونه‌برداری r ام و LS حد مجاز استاندارد، K تعداد موارد تخطی و N تعداد کل نمونه‌برداریها می‌باشد. در نتیجه نسبت وزنی WI_j موثر از هر کدام از آلاینده‌ها بر اساس رابطه (۸) دست می آید.

$$WI_j = \frac{MO_j}{\sum_{r=1}^{n} MO_j} \qquad j=1,2,..,n \quad (۸)$$

پس از تعیین احتمال هر گره و احتمالات شرطی هر گره در شبکه شاخص خطرات و شاخص اثرات و تکمیل جداول احتمالات شرطی (CPT) و در نهایت تعیین احتمال شاخص خطرات و اثرات، برای تعیین ریسک نهایی احتمال ایجاد خطرات و شدت اثرات را به ۵ بخش خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم کرده و با اختصاص احتمال بر اساس نظر کارشناسی میزان ریسک نهایی به دست خواهد آمد.

بر اساس جدول (۱) برای هر کدام از مفاهیم، درصدی در نظر گرفته شده است. کارشناسانی که در این بخش از نظرات آنان استفاده شده است،

جدول ۱: درصد متناسب با نظر کارشناسی

احتمال ایجاد خطر / شدت اثر	درصد معادل
خیلی کم(LL)	%۱۰
کم(L)	%۳۰
متوسط(M)	%۵۰
زیاد(H)	%۸۰
خیلی زیاد(HH)	%۱۰۰

کارشناس محیط زیست، کارشناس بهره‌برداری تصفیه‌خانه و کارشناس کشاورزی بوده‌اند.

٤- نتایج

با توجه به خروجی‌های فاضلاب و مقایسه با حدود مجاز و نیز روابط گفته شده، پارامترهای مربوط به شاخص اثرات و شاخص خطرات به دست آمده و با توجه به احتمالات و نظرات کارشناسی کسب شده، جداول CPT در نرم افزار هاگین تکمیل می‌شود. نمونه‌ای از جدولCPT برای خطر کاهش نفوذپذیری زمین کشاورزی در اثر وجود چربی در پساب آبیاری در جدول شماره (۲) آمده است.

جدول ۲: CPT خطرات شبکه بیزی برای کاهش نفوذ پذیری

خطر کاهش نفوذ پذیری				
احتمال خطر چربی	Yes		No	
احتمال کاهش نفوذ پذیری	Yes	No	Yes	No
Yes	۰/۸	۰/۴	۰/۴	۰/۰۵
No	۰/۲	۰/۶	۰/۶	۰/۹۵

جدول (۳) مربوط به داده ورودی برای شبکه مخاطرات به نرم افزار هاگین می‌باشد. احتمال گره‌های ابتدایی در شبکه بیزی بر اساس درصد تخطی در شبکه CPT و بر اساس رابطه (۲) وارد می‌شود (ستون ۱) و ستون چهارم نسبت وزنی از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد. با دریافت نظرات کارشناسی و میانگین‌گیری نظرات ستون پنجم جدول تکمیل شده و با استفاده از رابطه (۳) احتمال شرطی خطر jام به صورت سهم تاثیر از احتمال شرطی کل، به دست آمده و در جدول CPT شبکه بیزی وارد می‌شود.

هم‌چنین به عنوان نمونه جدول احتمالات شرطی مربوط به شاخص اثرات برای کاهش نفوذپذیری در جدول شماره (۴) آمده است.

میزان احتمالات مربوط به شبکه بیزی اثرات نیز طبق جدول (۵) به دست می‌آید. در ستون اول پارامتر بزرگی تخطی بر اساس رابطه (۷) محاسبه گردیده و با استفاده از رابطه (۸) نسبت وزنی احتمال اثر در ستون دوم آورده شده است. سپس با استفاده از نظرات کارشناسان احتمال شرطی کل اثر بر یک دریافت کننده در ستون محاسبه شده و با ضربنسبت وزنی به دست آمده از در ستون (۲) در احتمال کل مقدار سهم تاثیر احتمال شرطی برای هر اثر از رابطه (۶) محاسبه و در ستون (۴) ارائه می‌گردد. هم چنین برای تعیین احتمال گره ابتدایی از رابطه (۵) استفاده شده و احتمال متناظر اثر به دست می‌آید.

با تکمیل شبکه بیزی در نرم افزار هاگین میزان ریسک ناشی از استفاده از فاضلاب برای سلامتی انسان ۴۶% می‌باشد و میزان ریسک ایجاد شده بر گیاه در حدود ۳۸% خواهد بود.

جدول ۳: محاسبات ورودی شبکه بیزی مخاطرات

معیارخطرات	مکانیزم ایجاد خطر	احتمال خطر هر گره PH_j (۱)	فاکتور تحرک‌پذیر MF_j (۲)	احتمال وزن‌دار $PH_j \times MF_j$ (۳)	نسبت وزنی WH_j (٤)	احتمال کل (میانگین نظر کارشناسی) PT_H (۵)	سهم تاثیر PH_{pj} (۶)
وجود چربی	کاهش نفوذ پذیری در خاک	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۵۰	۰/۸۰	۰/۴۰
شوری و نسبت جذب سدیم		۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۵۰		۰/۴۰
مجموع				۲			
وجود کلیفرم	آلودگی آب زیر زمینی و اثر بر انسان	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۸۰	۰/۰۱
وجود کادمیوم		۱/۰۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۳۲		۰/۲۶
وجود کبالت		۰,۰۰	۰,۶۰	۰,۰۰	۰,۰۰		۰/۰۰
وجود مس		۰,۰۰	۰,۶۰	۰,۰۰	۰,۰۰		۰/۰۰
دترجنت		۱/۰۰	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۴۰		۰/۳۲
وجود نیترات		۰/۶۵	۰/۷۵	۰/۴۹	۰/۲۶		۰/۲۱
مجموع				۱,۸۶			
وجود کادمیوم	وجود در گیاه در دراز مدت و اثر بر انسان	۱/۰۰	۰/۵۰	۱/۰۰	۰/۶۶	۰/۷۰	۰/۴۶
وجود مس		۰/۳۰	۰/۷۰	۰/۲۱	۰/۱۴		۰/۱۰
وجود کبالت		۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۲۰		۰/۱۴
مجموع				۱/۵۱			
وجود نیترات	خسارت بر گیاه (محصول)	۰/۶۵	۱/۰۰	۰/۶۵	۰/۲۵	۰/۴۰	۰/۱۰
وجود فسفر		۰/۱۰	۱/۰۰	۰/۱۰	۰/۰۵		۰/۰۲
دترجنت		۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰,۳۹		۰/۱۶
کاهش نفوذ پذیری		۰/۸۰	۱/۰۰	۰/۸۰	۰/۳۱		۰/۱۳
مجموع				۲/۵۵			

در شکل (۴)، خروجی نرم افزار هاگین برای اثر پذیرنده گیاه نشان داده شده است.

هم‌چنین با بررسی مقادیر جداول (۳) و (۵) مشاهده می‌شود، در جدول خطرات، فلز کادمیوم از دو طریق مصرف گیاه آلوده به کادمیوم و نیز وجود کادمیوم در آب زیرزمینی بیشترین میزان ایجاد خطر را خواهد داشت. در رده‌های بعدی نیز دترجنت و نیترات قرار دارند. هم چنین در جدول اثرات نیز فلز کادمیوم بزرگترین میزان احتمالات را به خود اختصاص داده است. بنابراین مهم‌ترین عامل ایجاد کننده ریسک فلز کادمیوم می‌باشد.

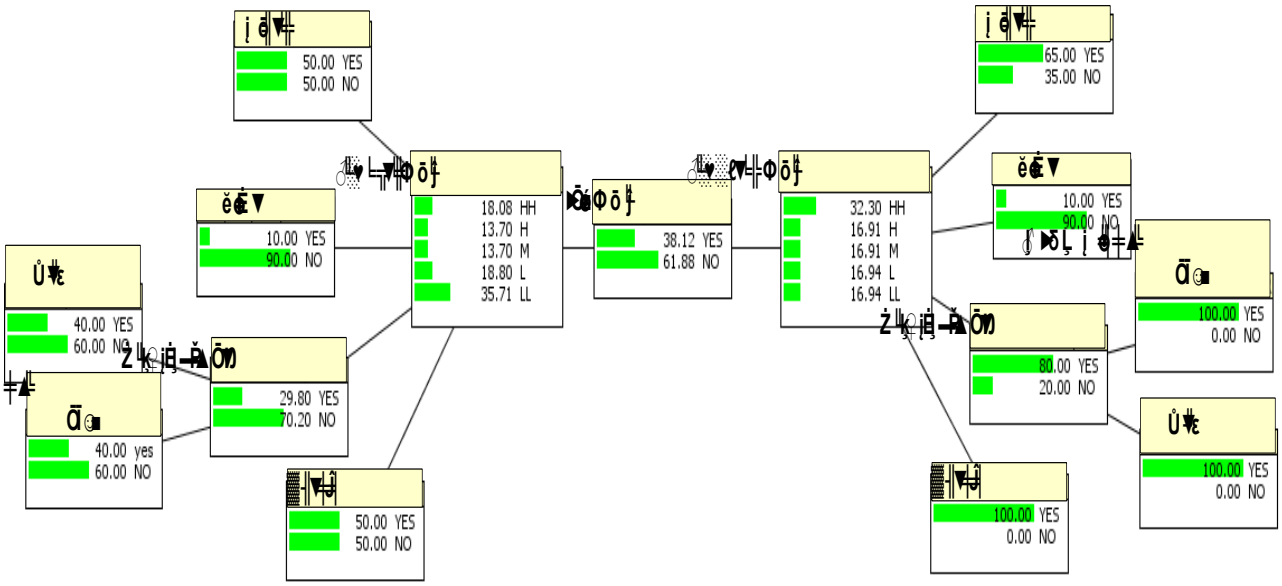
۱. ایجاد واحدهای پیش تصفیه در کارخانجاتی که به طور خاص تولید فلزسنگین کادمیوم، دترجنت و نیترات دارند.
۲. نظارت دقیق بر استفاه صحیح از واحدهای پیش تصفیه در کارخانجات آبکاری که بیشترین سهم را در تولید فلز سنگین کادمیوم دارند.
۳. راه اندازی کلیه واحدهای غیر فعال به ویژه واحد گندزادیی در جهت دستیابی به استاندارد کاربرد پساب در کشاورزی
۴. بهبود وضعیت بهره برداری سیستم تصفیه و واگذاری بهره‌برداری آن به افراد متخصص با تجربه
۵. پایش مداوم کیفیت خروجی تصفیه‌خانه
۶. احداث واحدهای پیش‌تصفیه مورد نیاز در برخی از واحدهای صنعتی

جدول ۴: احتمال شرطی (CPT) اثرات شبکه بیزی برای کاهش نفوذپذیری

احتمال اثر چربی	Yes		No	
احتمال اثر کاهش نفوذ پذیری	Yes	No	Yes	No
Yes	۰/۷	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۰۵
No	۰/۳	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۹۵

جدول ۵: محاسبه ورودی شبکه بیزی(شبکه اثرات)

دریافت کننده	نوع اثر بر حسب دریافت کننده و خطر	بزرگی تخطی MO_K (۱)	نسبت وزنی WI_j (۲)	احتمال کل (نظر کارشناسی) PT_I (۳)	سهم تاثیر PI_{pj} (۴)	احتمال متناظر اثر PI_j (۵)
سلامتی انسان	ایجاد بیماری در اثر وجود دترجنت در آب زیرزمینی	۴/۳۳	۰/۷۲	۰/۷۰	۰/۵۰	۰/۵۰
	ایجاد بیماری در اثر وجود کلیفرم در آب زیرزمینی	۰/۱۰	۰/۰۲		۰/۰۱	۰/۲۰
	ایجاد بیماری در اثر وجود کادمیوم در آب زیر زمینی	۰/۶۴	۰/۱۱		۰/۰۷	۰/۷۰
	ایجاد بیماری در اثر وجود نیترات در آب زیر زمینی	۰/۹۵	۰/۱۶		۰/۱۱	۰/۲۵
مجموع		۶/۰۲				
سلامتی انسان	ایجاد بیماری در اثر وجود کادمیوم در گیاه	۰/۶۴	۰/۳۵	۰/۷۰	۰/۲۴	۰/۷۰
	ایجاد بیماری در اثر وجود کبالت در گیاه	۰/۰۵	۰/۰۳		۰/۰۲	۰/۲۵
	ایجاد بیماری در اثر وجود مس در گیاه	۱/۲۰	۰/۶۵		۰/۴۶	۰/۲۵
مجموع		۱/۸۴				
خسارت بر گیاه	اثر بر رشد گیاه به دلیل وجود چربی‌ها	۰/۷۵	۰/۵۰	۰/۷۰	۰/۳۵	۰/۴۰
	اثر بر رشد گیاه به دلیل وجود نمک‌ها و جلوگیری از نفوذ پذیری در خاک	۰/۷۵	۰/۵۰		۰/۳۵	۰/۴۰
مجموع		۱/۵۰				
خسارت بر گیاه	اثر بر رشد گیاه به دلیل وجود دترجنت‌ها	۴/۳۳	۰/۵۶	۰/۴۰	۰/۲۲	۰/۵۰
	اثر بر رشد گیاه به دلیل کاهش نفووذ پذیری	۲/۰۰	۰/۲۶		۰/۱۰	۰/۸۰
	اثر بر رشد گیاه به دلیل وجود نیتروژن اضافی	۱/۴۶	۰/۱۹		۰/۰۷	۰/۵۰
	اثر بر رشد گیاه به دلیل وجود فسفر اضافی	۰/۰۵	۰/۰۱		۰/۰۰	۰/۱۰
مجموع		۷/۷۹				



شکل ۴: خروجی شبکه بیزی اثر پذیرنده گیاه

جهت پیشگیری از ایجاد اختلال در بهره‌برداری تصفیه خانه

۷. عدم تخلیه فاضلاب بدون تصفیه کامل به خارج از تصفیه‌خانه

۸. کاربرد پساب برای مصارف فضای سبز داخل شهر صنعتی

۵- جمع‌بندی

درکنار امتیازات ویژه‌ای که استفاده از فاضلاب برای بخش کشاورزی خواهد داشت، وجود مخاطرات و محدودیت‌هایی برای استفاده از فاضلاب در بخش کشاورزی باعث می‌شود، دقت و بررسی بیشتری برای این امر مورد نیاز باشد. در این تحقیق، با استفاده از تحلیل ریسک به تعیین میزان احتمال ایجاد ریسک استفاده از فاضلاب تصفیه شده شهرک صنعتی البرز در استان قزوین در آبیاری کشاورزی پرداخته شد. بدین منظور از شبکه‌های بیزی برای مدلسازی ریسک استفاده شده است. از ویژگی‌های ممتاز استفاده از روش شبکه‌های بیزین به منظور ارزیابی ریسک، قابلیت تحلیل احتمالات به صورت گرافیکی است. این ویژگی سبب می‌شود که از سویی به هر گونه کمبود در فرایند تحلیل پی برده شود و از سوی دیگر مجریان، کارفرمایان، تصمیم‌گیران و سیاستگذاران به سادگی با آن ارتباط برقرار می‌کنند. در این تحقیق دو اثر پذیرنده‌های اصلی شامل انسان و گیاه در نظر گرفته شد و نتایج تحلیل شبکه‌های بیزی نشان داد که میزان ریسک ایجاد شده برای انسان ۴۶ درصد و برای گیاه ۳۸ درصد می‌باشد. هم چنین نتایج بررسی نشان دهنده آن است که فلز کادمیوم و در رده‌های بعدی درجنت و نیترات بیشترین میزان ریسک را در استفاده مجدد از فاضلاب ایجاد دارند. در این باره راهکارهای مدیریتی کاهش ریسک با توجه به سطح ریسک پیش‌بینی شده و عوامل شناسایی شده موثر بر ریسک پیشنهاد شده است. این راهکارها مواردی شامل ایجاد واحدهای پیش تصفیه، نظارت دقیق، بهبود وضعیت بهره‌برداری و پایش مداوم بوده است.

۶- قدردانی

این تحقیق با همراهی شرکت محترم آب منطقه‌ای قزوین انجام گردیده است، که بدین وسیله از آن شرکت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

۷- مراجع

[۱] جوزی سید علی، ایرانخواهی مهدی،"ارزیابی ریسک محیط زیستی خطوط لوله انتقال گاز به روش تلفیقی AHP "، مجله محیط شناسی، ۱۰۷- ۱۲۰، ۱۳۸۷

[۲] حسن اقلی علیرضا،"استفاده از فاضلاب خانگی و پساب تصفیه خانه‌ها در آبیاری محصولات کشاورزی "، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی؛ موسسه تحقیقات فنی و مهندسی،۱۳۷۷

[۳] حسن اقلی علیرضا، میراب زاده مهدی، لیاقت عبدالمجید، "تاثیر عملیات تغذیه مصنوعی با پساب فاضلاب بر املاح و آلاینده‌های بیولوژیکی به لایه‌های آبدار زیر زمینی"، اولین کنفرانس سالیانه مدیریت منابع آب ایران. ۱۳۸۳

[۴] شرکت سهامی‌آب منطقه ای قزوین، "طرح استفاده از فاضلاب تصفیه شده (پساب) در شهرستان البرز، ۱۳۸۸

[۵] طباطبایی عباس، دشتی زاده پوریا، "معرفی شبکه‌های Bayesian و کاربرد آنها در نگهداری پل‌ها"، چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور، ۱۳۸۷

[۶] فرداد حسین، ناشر مهسا، "آبیاری با فاضلاب تصفیه شده با مدیریت در حفظ محیط زیست"، انتشارات تندیس شب، ۱۳۷۸

[۷] معاونت نظارت راهبردی وزارت نیرو، دفتر نظام فنی اجرایی دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، "ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آبهای برگشتی و پساب‌ها"، نشریه شماره ۵۳۵، ۱۳۸۹

[۸] موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، "ویژگی‌های آب آشامیدنی، شماره استاندارد ۱۰۵۳"، چاپ چهارم، ۱۳۸۹

[۹] یارقلی بهمن، ابزاری بابک، "روش شناسی ارزیابی ریسک بر

سلامت جامعه"، دومین سمینار ملی جایگاه آبهای بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، ۱۳۸۹

[10] Chiou Ren-Jie, "Risk assessment and loading capacity of reclaimed wastewater to be reused for agricultural irrigation", Environment Monit. Assess, 142(1-3) , 255– 262, 2008

[11] Ganoulis J., Papalopoulou A.,(1996), "Risk analysis of wastewater reclamation and reuse", Water Science and Technology , 33(10-11), 297- 302

[12] HUGIN tutorials, Available on: http://www.hugin.com/technology/tutorials/biuld-bn, 2012

[13] Karamouz M., Taheriyoun M.,; Baghvand A.; Tavakolifar H.; Emami F., "Optimization of Watershed Control Strategies for Reservoir Eutrophication Management", Journal of Irrigation and Drainage, ASCE. 136,)12(, 847- 861 , 2010

[14] Lee Chang-Ju, Jai Lee Kull, , "Application of Bayesian network to probabilistic risk assessment of nuclear waste disposal", Reliability engineering and system safety, 91, 515- 532., 2006

[15] Metcalf & Eddy, Tchobanglous G., Burton F.L., Stensel H.D., "Wastewater Engineering Treatment and Reuse" , ,Fourth edition. , 2003

[16] Pollini C.A., Woodberry O., Nicholson A., Korb K., T.Hart B., "Parameterization and evaluation of a Bayesian network for use in an Ecological Risk Assessment", Environmental Modeling & Software, 22, 1140- 1152, 2007