شماره: 12ICCE/HS-03-87

تاریخ: 23 تیر 1400

دوازدهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران

۲۱ الی ۲۳ تیرماه ۱۴۰۰ دانشگاه فردوسی مشهد

گـواهی ارائـــه مقـــاله

بدین وسیله گواهی می شود که مقاله با عنوان :

پیش بینی طول عمر لوله های پلی اتیلن شبکه توزیع آب سبزوار با استفاده از سیستم‌استنتاج عصبی‌فازی

تهیه شده توسط:

الهام‌عرب و محمدرضاجعفرزاده

در دوازدهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران که در تاریخ ۲۱ الی ۲۳ تیرماه ۱۴۰۰ در دانشگاه فردوسی مشهد برگزار گردید، پذیرش وارائه شده است.

دکتر جعفر بلوری بزاز
دبیر علمی کنگره

دکتر احمد شوشتری
دبیر کنگره

12th International Congress on Civil Engineering
12-14 July 2021 | Ferdowsi University of Mashhad
Serial Number: 9753573726

این گواهی به صورت الکترونیکی صادر شده است.
جهت اعتبار سنجی گواهی، از لینک های زیر استفاده کنید یا QR Code گواهی را اسکن کنید.
https://certificate.confdirector.com
https://certificate.12icce.ir

SN: 9753573726

پیش بینی طول عمر لوله های پلی اتیلن شبکه توزیع آب سبزوار با استفاده از سیستم استنتاج عصبی فازی

۱-الهام عرب[۱] ۲- محمدرضا جعفرزاده[۲]

۱- کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه عمران دانشکده مهندسی، گروه پژوهشی آب و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)

jafarzad@um.ac.ir

خلاصه

هزینه های اقتصادی و اجتماعی ترکیدگی لوله در شبکه های توزیع آب بسیار قابل توجه می باشد. مدیران شرکت های آبی با هدف تعادل بین سرمایه گذاری و منافع موردانتظار در یک سناریوی مدیریت مبتنی بر ریسک، به طرح های جایگزین قابل اطمینان برای لوله های بحرانی نیاز دارند. بنابراین یک ابزار پشتیبان تصمیم گیری قوی و عملی برای نوسازی سیستم توزیع آب موردنیاز می باشد. در این مقاله از ۱۴۴۲ مورد اتفاق لوله های پلی اتیلن شبکه توزیع آب شهر سبزوار، که شامل داده های کمی فشار، عمق نصب، قطر و سن لوله ها و داده های کیفی از قبیل کیفیت جنس و کیفیت اجرا لوله ها می باشد، بهره گیری شد. با توجه به نوع داده ها از روش شبکه عصبی_فازی تطابقی که توانایی ایجاد ارتباط بین داده های کیفی و کمی را دارد، استفاده شد. در این روش ۷۰ درصد داده ها برای آموزش شبکه، ۲۰ درصد برای تست شبکه و ۱۰ درصد برای صحت سنجی شبکه مورد استفاده قرار گرفت. با تغییر در تعداد نرون ها و نوع تابع عضویت، مدل های مختلفی اجرا شد و در نهایت مدل psigmf با میزان خطای 0.001 به عنوان بهترین مدل در تخمین عمر لوله ها برگزیده شد.

کلمات کلیدی: شبکه عصبی فازی، لوله پلی اتیلن، پیش بینی شکست لوله، شبکه توزیع آب

۱. مقدمه

شبکه‌های توزیع آب شهری به عنوان گسترده‌ترین بخش زیرساخت سیستم آبرسانی شامل مجموعه به هم پیوسته‌ای از مخازن، لوله‌ها، پمپ‌ها، شیرآلات و ... می‌باشند که به صورت مستقیم با مصرف کننده‌ها در ارتباط هستند و انتقال و توزیع آب را با مقدار، کیفیت و فشار مناسب از محل تولید به مصرف-کنندگان انجام می‌دهند. امروزه استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلن در شبکه‌های آبرسانی رو به رشد بوده و مدیران پروژه‌های اجرایی در اکثر مواقع این لوله‌ها را جایگزین انواع دیگر لوله‌ها کرده‌اند. مقاومت در برابر خوردگی گالوانیکی، پوسیدگی، سایش و ضربه، خاصیت انعطاف‌پذیری مناسب، خاصیت جمع‌شوندگی، سبکی وزن، قابلیت اتصال بسیار محکم، بدون نشتی و در عین حال انعطاف‌پذیر، دارا بودن خصوصیات هیدرولیکی بسیار مناسب و هزینه پایین تعمیر و نگهداری در این تصمیم‌گیری موثر بوده است. کارفرمایان و مشاورین پروژه‌ها با در نظر گرفتن هزینه مواد اولیه و خواص مورد توقع، در خطوط تحت فشار به خصوص در مواردی که قطر لوله موردنظر کمتر از ۳۰۰ میلیمتر است، لوله‌های پلی‌اتیلن را انتخاب می‌کنند.

علل اتفاقاتی که در لوله‌های آب رخ می‌دهند مختلف است، اما در یک جمع‌بندی کلی می‌توانند به صورت زیر دسته‌بندی شود: ۱- ناشی از نامناسب بودن فرایند تولید لوله‌ها که در کیفیت جنس و قطر لوله‌ها تاثیر می‌گذارد. ۲- ناشی از عدم خرید لوله‌ها و اتصالات با جنس مطلوب و عدم انجام آزمایش‌های لازم به جهت بررسی کیفیت لوله‌های خریداری شده.۳- ناشی از نوع نگهداری و نصب لوله و اتصالات و عدم تحکیم مناسب خاک در زمان کارگذاشتن لوله که در کیفیت اجرا لوله خود را نشان می‌دهد.۴- ناشی از فرایند بهره‌برداری لوله که در فشار موجود در لوله‌ها و عمق نصب آن‌ها نمایان می‌شود. خرابی لوله‌ها علاوه بر اثرات اقتصادی (تعمیر لوله‌ها و سایر هزینه‌ها)، به لحاظ اجتماعی (اختلال در خدمات، وقفه‌های ترافیکی و

...) و محیطی (از دست رفتن آب و انرژی و ...) نیز تأثیرگذار می‌باشد[۱]. بنابراین به دلیل منابع سرمایه معمولا محدود، برای مدیران و برنامه‌ریزان یافتن یک استراتژی جهت بازسازی و اصلاح ضروری می‌باشد[۲]. خواص لوله پلی‌اتیلن با گذشت ۵۰ سال از عمر آن ثبات قابل قبولی دارد و پس از این زمان احتمال فرسودگی به دلیل واکنش با آنتی اکسیدانت‌ها مطرح می‌شود[۳]. استفاده از لوله پلی‌اتیلن در ایران به دلیل دارا بودن منابع اولیه مواد هیدروکربنی رواج پیدا کرده است اما متاسفانه در بعضی از پژوهش‌های صورت گرفته زمان نوسازی این لوله‌ها حدود ۱۶ سال پیشنهاد شده است[۴]. اصلاح شیوه‌های نظارت، اجرا و بهره‌برداری می‌تواند نقش مهمی در کاهش فرسودگی لوله‌ها داشته باشد.

تابش و همکاران در منطقه چهار آب و فاضلاب مشهد برای بررسی شکست در لوله‌های آزبست، از روش شبکه عصبی-فازی استفاده کردند. آن‌ها ۳۳۸ اتفاق مربوط به لوله‌های آزبست را جمع‌آوری کردند. اطلاعات ورودی به شبکه عصبی فازی شامل پنج مورد قطر، طول، سن، عمق نصب و فشار هیدرولیکی لوله‌های آزبست با قطر ۸۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر و خروجی نرخ شکست هر لوله بود. در این پژوهش مدل‌های مختلفی اجرا شد و برای انتخاب بهترین مدل که با دقت بیشتر عمر لوله‌ها را تخمین بزند، خطای اجرای این مدل‌ها را با یکدیگر مقایسه نمودند[۵].

در پژوهشی دیگر جمشیدی با استفاده از روش عصبی فازی عمر لوله‌های پلی‌اتیلن شهرستان قوچان را پیش‌بینی کرد. وی از داده‌های کمی فشار، قطر، عمق نصب، طول و عمر لوله‌ها و داده‌های کیفی شامل کیفیت جنس و کیفیت اجرای لوله‌ها استفاده نمود و ملاحظه کرد که خطای مدلسازی به دلیل وجود داده‌های کیفی بسیار کمتر شد و مدل توانست با دقت بالاتری طول عمر لوله‌ها را تخمین بزند. او با بهره‌گیری از روش‌های رگرسیونی پارامتر فشار را به عنوان اصلی‌ترین عامل در بروز اتفاقات معرفی کرد[۶].

آچیم[1] با استفاده از اطلاعات ۶ ساله ایالت ویکتوریا در جنوب شرق استرالیا، مدلی بر اساس شبکه عصبی مصنوعی ارائه نمود. این مدل‌ها با استفاده از داده‌های متغیر ورودی قطر لوله، زمان ساخت لوله، سن لوله، طول لوله و مختصات جغرافیایی X و Y برای لوله‌های با جنس چدن-آزبست و لوله‌های فولادی ارائه شده است[۷].

شامیر[2] و هووارد[3] بر روی مجموعه لوله‌های دارای قطر، جنس و سن یکسان با به کار بردن تحلیل رگرسیونی، یک مدل پیش بینی شکست لوله‌ها که شکستگی آن‌ها را با عمر لوله ارتباط دهد، به دست آوردند و یک مدل نمایی برای افزایش شکست لوله‌ها بر حسب زمان ارائه نمودند[۸].

کتلر[4] و گوتلر[5] و همچنین گوتلر و کاظمی در شهر وینیپگ[6] کانادا مطالعاتی را روی لوله‌های چدنی و آزبست انجام دادند که در آن برای بیان تغییرات تعداد اتفاقات سالانه با استفاده از شاخص تعداد کل شکست‌های سالانه در برابر قطر و سن لوله‌ها به رابطه خطی بر حسب زمان رسیدند[۹].

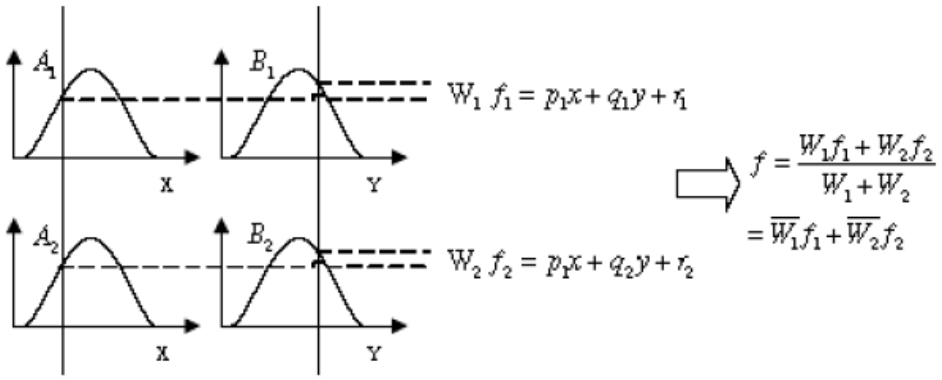
سو و همکاران[7] برای بررسی تغییرات تعداد شکست با قطر لوله، با استفاده از نرخ شکست در برابر قطر لوله رابطه‌ای را برای نرخ شکست لوله ۱ام (تعداد شکست در هر مایل لوله ۱ام) ارائه کردند[۱۰].

در این تحقیق از روش شبکه عصبی-فازی به منظور مطالعه طول عمر لوله‌های پلی‌اتیلن شهر سبزوار استفاده شد. سیستم های استنتاج فازی-عصبی تطابقی با ترکیب عملکرد منطقی سیستم های فازی و با اتکا به ترکیب قدرت یادگیری و توان آموزش پذیری شبکه های عصبی، رابطه بین متغیرهای مختلف را شناسایی می کند. داده‌های مورد استفاده شامل فشار ، عمق نصب ، قطر ، کیفیت جنس و کیفیت اجرای لوله‌ها به عنوان متغیرهای ورودی و طول عمر لوله‌ها به عنوان متغیر خروجی می‌باشد.

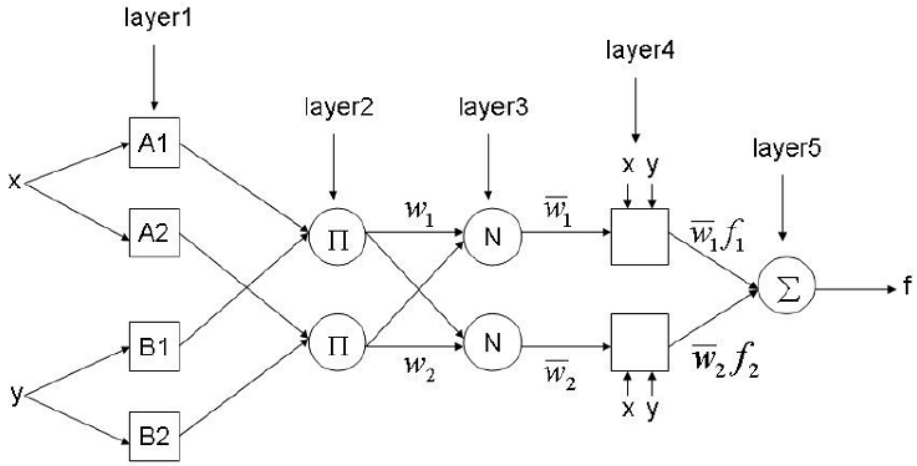
1- Daniela Achim
2- Shamir
3- Howard
4- Kettler
5- Goulter
6- Winnipeg
7- Su et al.

۲. معرفی تکنیک مورد استفاده

سیستم استنتاج عصبی فازی حاصل از ترکیب عملکرد منطقی سیستم های فازی و شبکه های عصبی می باشد. سیستم استنتاج فازی در دسته روش های هوش مصنوعی قرار دارد که مبتنی بر قواعد منطقی اگر-آنگاه است. به دست آوردن این پایگاه قواعد نقطه ی شروع یک سیستم فازی است. پایگاه قواعد تشکیل شده از قوانین منطقی اگر-آنگاه فازی از دانش فرد خبره یا دانش حوزه مورد نظر است. برای ساختن پایگاه قواعد روش های گوناگونی مانند بهره بردن از دانش بشری، روش خوشه یابی و روش عصبی-فازی وجود دارد. اگر بخواهیم یک سیستم فازی را توسط شبکه های عصبی پیاده سازی کنیم، ساختارهای گوناگونی معرفی شده است اما شبکه عصبی-فازی که به ANFIS[1] معروف است، پرقدرت ترین این ساختارها می باشد. این شبکه توسط محققی به نام Jasng ابداع شده است[۱۱]. از ویژگی های مهم این ساختار، قابلیت استفاده از آن در مدلسازی، کنترل سیستم های پیچیده و عدم نیاز به فرمول یا مدل ریاضی برای طراحی، می باشد. در شکل ۱ یک سیستم فازی از نوع سوگنو که از دو ورودی (x,y) و یک خروجی f و دو قانون تشکیل شده و در شکل ۲ شبکه عصبی-فازی معادل آن نشان داده شده است.



شکل ۱- سیستم فازی سوگنو با دو ورودی و یک خروجی[۵]



شکل ۲- شبکه عصبی-فازی معادل[۵]

اگر خروجی حاصل از هر لایه شبکه به شکل O^{ij} (خروجی حاصل از iامین گره در jامین لایه) باشد، عملکرد لایه های مختلف شبکه را می توان به صورت زیر بیان کرد:

لایه اول: اولین لایه ورودی است و هر گره موجود در این لایه معادل یک مجموعه فازی می باشد که درجه عضویت متغیر ورودی، $\mu A_i(x)$ برابر با خروجی هر گره می باشد. ورودی ها در این لایه از توابع عضویت گذر می کنند.

$$O_{1,i} = \mu A_i(x), \qquad for\ i = 1,2$$

1- Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

$$O_{1,i} = \mu B_i(x), \quad for\ i = 3,4 \tag{۱}$$

انتخاب تابع عضویت اختیاری است اما معمولا از توابع گوسین استفاده می شود. به عنوان مثال در صورت استفاده از تابع عضویت Gaussmf[1] در نرم‌افزار متلب، داریم:

$$O_{1,i} = \propto_{A_i}(x) = \exp(-(\frac{x-c_i}{\sigma_i})^2) \quad , i = 1,2 \tag{۲}$$

در این رابطه x مقدار ورودی به گره i، C_i و σ_i پارامترهای تابع عضویت می باشند که به پارامترهای شرط معروف هستند.

لایه دوم: وظیفه ی هر گره در این لایه، محاسبه ی درجه فعالیت یک قانون،w_i مطابق رابطه ی زیر است.

$$O_{2,i} = w_i = \mu A_i(x)\mu B_i(y), \quad i = 1,2 \tag{۳}$$

لایه سوم: این لایه یک عملگر است که میانگین وزن هر قانون را به شکل نرمال شده حساب می کند. به عبارت دیگر iامین گره این لایه نسبت درجه فعالیت قانون iام به مجموع درجه فعالیت کلیه قوانین را به صورت زیر حساب می کند:

$$O_{3,i} = \overline{w_i} = \frac{w_i}{w_1+w_2} \quad , i = 1,2 \tag{۴}$$

لایه چهارم: در این لایه خروجی هر گره به صورت زیر حساب می شود. در این رابطه، w_i خروجی لایه سوم و p_i، r_i و q_i پارامترهای تطبیق می باشند که به آن ها پارامترهای نتیجه[2] گفته می شود.

$$O_{4,i} = \overline{w_i} f_i = \overline{w_i}\,(p_i x + q_i y + r_i) \tag{۵}$$

لایه پنجم: در این لایه هر گره مقدار خروجی نهایی از ANFIS را به صورت زیر محاسبه می کند. خروجی این لایه همان خروجی کلی سیستم می باشد.

$$O_{5,i} = \sum_i \overline{w_i} f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \tag{۶}$$

اکنون یک شبکه تولید شده است که معادل سیستم استنتاج فازی سوگنو است.

۳. نحوه مدلسازی در روش عصبی فازی

جمع آوری داده‌ها: با توجه به وجود اطلاعات مناسب و با دقت قابل قبول از شهر سبزوار برای انجام پژوهش استفاده شد. برای جمع‌آوری اطلاعات از فرم حوادث سامانه سپتا[3] استفاده شد. اطلاعات خام موجود در این فرم بیش از حد و در برخی موارد با نیاز اهداف پروژه متفاوت بودند. بنابراین ویرایش‌هایی بر روی اطلاعات می‌بایست انجام شود. اطلاعاتی که در این فرم موجود می‌باشد شامل موارد زیر است:

۱–جنس (پلی‌اتیلن، آزبست، گالوانیزه، چدن و GRP)

۲–قطر (از ۲۰ تا ۷۰۰ میلی متر)

۳–عمق نصب و زبری لوله حادثه دیده

٤–اقدام انجام شده برای رفع اتفاق (تعمیر یا تعویض اتصالات انشعاب و شبکه، تعمیر یا تعویض اتصالات لوله، کنتور و تعویض شیرآلات انشعاب)

۵–موضوع اتفاق (آب‌بندی نبودن اتصالات، ترکیدگی، گرفتگی، خوردگی، نشت لوله، خرابی شیرآلات، خرابی واشر، سرقت انشعابات)

٦–شکل شکست (گرد شکن شدن، بازشدن جوش، ترک طولی)، نوع پوشش خاک (آسفالت کهن، آسفالت نو، بتنی، چمن، خاکی، سنگ فرش، موزائیک، بدون پوشش)

1- Gaussian Membership Function
2- Consequent Parameters
۳–سامانه پایش تأسیسات آب

۷–ناحیه‌ای که دچار اتفاق شده است.

۸–علت اتفاق (اتمام عمر مفید، نامرغوب بودن کالا، استهلاک بالا، بهره‌برداری غیراصولی، تعمیرات غیراصولی، تغییر فشار شبکه، دما، سرقت، نشست زمین، نصب غیراصولی)

۹–زمان نصب لوله

۱۰–تاریخ و ساعت تماسی که افراد بروز اتفاق را خبر داده‌اند.

در پژوهش حاضر، با توجه به اطلاعاتی که از فرم خام حوادث سپتا حاصل شد و مطالعات مشابهی که در این زمینه انجام شده است، از ۶ پارامتر شامل فشار، عمق نصب، قطر، کیفیت جنس، کیفیت اجرا و عمر لوله‌ها به عنوان ورودی در شبکه‌های عصبی-فازی استفاده می‌شود. فشار لوله‌ها با محاسبه اختلاف ارتفاع نقاط حادثه‌دیده با ارتفاع فشارشکن‌های موجود در هر منطقه و در دست داشتن اطلاعات فشارشکن‌ها در زمان معین، به دست آمد. عمق نصب با در نظر گرفتن مسأله یخبندان و یخزدگی لوله‌ها، بحث رفت و آمد ترافیکی و هم‌چنین ایجاد ضربه روی لوله‌ها و آب‌های زیرزمینی، برای لوله‌های پلی‌اتیلن تا قطر ۶۳ میلی‌متر برابر ۶۰ سانتی‌متر و برای لوله‌های تا قطر ۱۱۰ میلی‌متر برابر ۱۰۰ سانتی‌متر گزارش شده است. قطر لوله‌ها در فرم حوادث سپتا برای هر اتفاق موجود می‌باشد. برای به دست آوردن کیفیت اجرا، بر اساس دو عامل قطر و علت اتفاق اقدام به امتیازدهی برای لوله حادثه‌دیده شد. به صورت مشابه برای کیفیت جنس، بر اساس سال خرید لوله‌ها و شکل شکسته شدن آن‌ها، کیفیت جنس هر لوله محاسبه شد. زمان اتفاق و زمان اجرای هرلوله در فرم حوادث سپتا موجود می‌باشد، لذا عمر لوله‌ها بر حسب روز قابل محاسبه است که خروجی پژوهش می‌باشد.

۴. تجزیه و تحلیل مدلسازی

در این پژوهش ۱۴۴۲ اتفاق مربوط به لوله‌های پلی‌اتیلن شهر سبزوار در طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ بررسی شد. از این تعداد هفتاد درصد برای آموزش شبکه عصبی فازی، بیست درصد برای تست شبکه و ده درصد برای صحت‌سنجی استفاده شد. مدل‌های گوناگونی با تغییر در تعداد توابع عضویت و انواع حالات توابع عضویت مانند تابع عضویت مثلثی(trimf)، ذوزنقه‌ای(trapmf)، گوسی دوطرفه(guass2mf)، سیگموئیدی انبوهشی(psigmf)، سیگموئیدی کاهشی(dsigmf) و پی شکل(pimf) بررسی شد. برای ارزیابی مدل‌های تولید شده از میانگین مجذورات خطا (MSE) و جذر میانگین مجذورات خطا (RMSE) طبق روابط زیر محاسبه شد.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_{actual,i} - y_{predict,i})^2 \quad (۷)$$

در این روابط y_{actual} برابر با داده‌های مشاهده شده، $y_{predict}$ برابر با داده‌های حاصل از جواب مدلسازی و n تعداد مشاهدات است.

در جداول ۱ و۲ بهترین نتایج هر یک از توابع در دو حالت خروجی ثابت و خروجی خطی ارائه شده است.

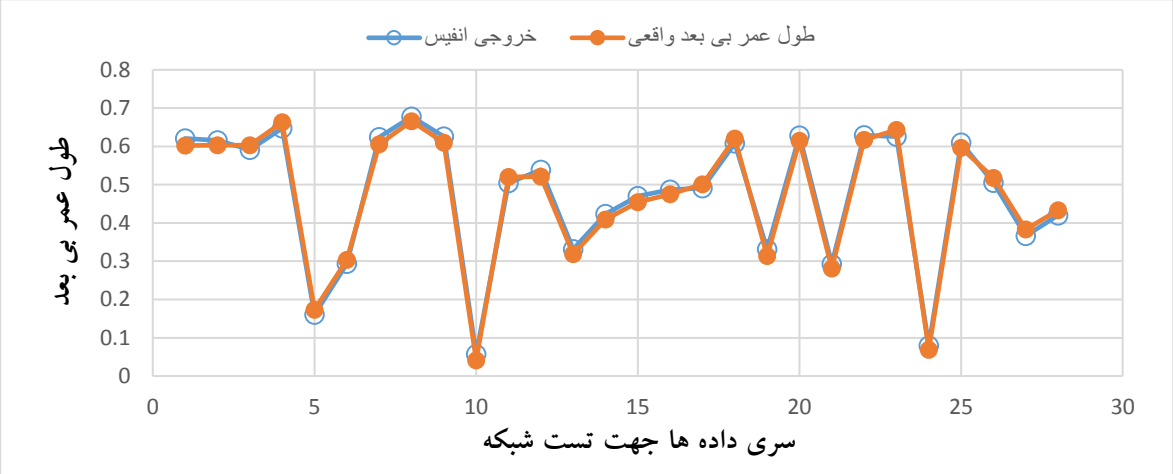
جدول۱- بهترین حالات هر یک از توابع عضویت با پارامتر خروجی ثابت

مدل / پارامتر	trimf	trapmf	gauss2mf	pimf	dsigmf	psigmf
	تعداد mf	تعداد mf	تعداد mf	تعداد mf	تعداد mf	تعداد mf
فشار	6	5	5	5	6	6
عمق نصب	4	5	4	5	5	4
قطر	5	5	5	5	5	5
کیفیت اجرا	4	5	4	5	4	4
کیفیت جنس	5	5	6	5	5	5
تعداد قانون ها	2400	3125	2400	3125	3000	2400
تعداد گام آموزش	46	11	12	11	29	29
زمان آموزش	380	200	127	190	431	284
میزان خطا MSE	0.002458	0.002872	0.002559	0.002869	0.002427	0.002427

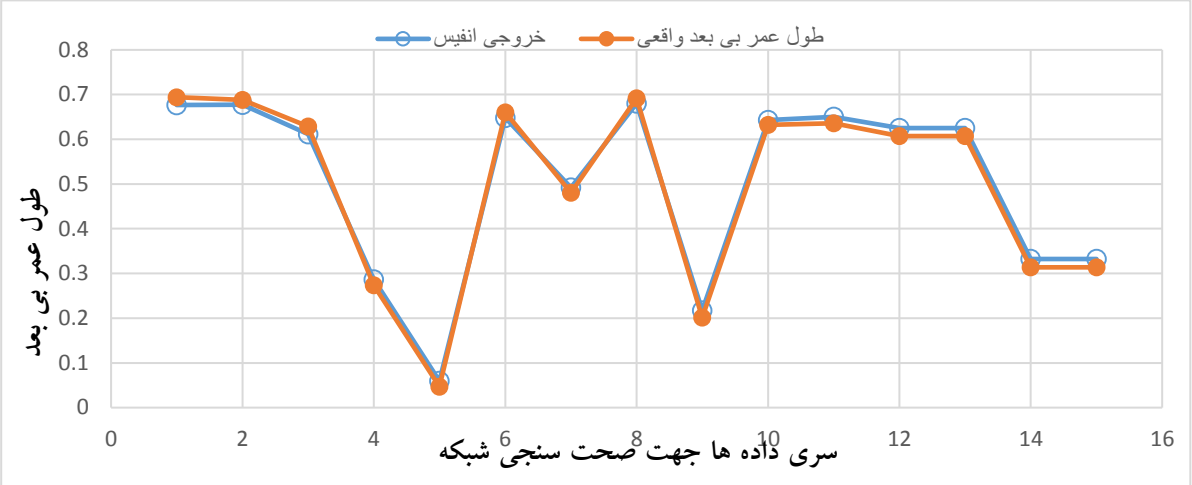
جدول۲- بهترین حالات هر یک از توابع عضویت با پارامتر خروجی خطی

مدل / پارامتر	trimf	trapmf	gauss2mf	pimf	dsigmf	psigmf
	تعداد mf	تعداد mf	تعداد mf	تعداد mf	تعداد mf	تعداد mf
فشار	6	5	5	5	6	6
عمق نصب	4	5	4	5	5	4
قطر	5	5	5	5	5	5
کیفیت اجرا	4	5	4	5	4	4
کیفیت جنس	5	5	6	5	5	5
تعداد قانون ها	2400	3125	2400	3125	3000	2400
تعداد گام آموزش	6	6	7	10	27	27
زمان آموزش	1430	2631	3480	4360	9816	3642
میزان خطا MSE	0.002033	0.002297	0.002217	0.002244	0.00196	0.00196

بر اساس نتایج زمان آموزش سیستم در حالت خروجی خطی افزایش چشمگیری پیدا کرده ولی خطا تغییر چندانی نکرده است. در هر دو حالت خروجی ثابت و خطی، تابع عضویت psigmf بهترین جواب و در واقع کمترین خطای مدلسازی را داده است. لازم به ذکر است که در دو تابع عضویت psigmf و dsigmf با وجود نتایج یکسان، تابع psigmf با توجه به کمتر بودن زمان اجرا، مدل بهتری می‌باشد. برای بررسی صحت مدل انتخابی با استفاده از داده‌های تست و صحت‌سنجی، مدل در حالت خروجی خطی آزمایش شد. نتایج در شکل‌های ۴ و ۵ ترسیم شده است. پیش‌بینی سیستم بسیار نزدیک به خروجی واقعی می‌باشد و کاملا دربرگیرنده‌ی داده‌ها می‌باشد.



شکل ۳- نتایج شبکه عصبی-فازی در مدل psigmf در مرحله تست با خطی در نظر گرفتن طول عمر لوله‌ها برای ۱۰ درصد از داده‌ها



شکل ٤- نتایج شبکه عصبی-فازی در مدل psigmf در مرحله صحت‌سنجی با خطی در نظر گرفتن طول عمر لوله‌ها برای ۱۰ درصد از داده-ها

در جدول ۳ نتایج حاصل از این پژوهش و پژوهش‌های انجام شده توسط جمشیدی [۶] و تابش [۵] ارائه شده است. با توجه به محل مطالعه، تعداد متغیرهای ورودی و تعداد داده‌های ثبت شده در هر پژوهش ، مدل بهینه متفاوتی به دست می‌آید. تابش با مطالعه روی ۳۳۸ مورد اتفاق لوله‌های آزبست در ناحیه چهار آبفا شهر مشهد و استفاده از پارامترهای ورودی قطر، طول، سن، عمق نصب و فشار هیدرولیکی لوله‌ها، مدل Gaussmf را به عنوان مدل بهینه معرفی کرد. جمشیدی ۱۲۰۰ مورد اتفاق لوله‌های پلی‌اتیلن در شهر قوچان را بررسی کرد و با توجه به پارامترهای ورودی شامل قطر، طول، عمق نصب، فشار هیدرولیکی، کیفیت جنس و کیفیت اجرا مدل Gauss2mf را به عنوان مدل برتر معرفی کرد. در پژوهش حاضر ۱۴۴۲ اتفاق در شهر سبزوار با پارامترهای ورودی شامل قطر، عمق نصب، فشار، کیفیت جنس و کیفیت اجرا بررسی شد و مدل psigmf به عنوان مدل بهینه به دست آمد. در تحقیق حاضر مدل psigmf بهترین نتیجه را می دهد اما نتایج سایر مدل‌ها هم بسیار به مدل بهینه نزدیک است.

جدول۳- مقایسه نتایج حاصل از سه پژوهش مختلف

نام پژوهشگر	محل مطالعه موردی	تعداد اتفاقات بررسی شده	خروجی	تعداد پارامترهای ورودی	نوع پارامترهای ورودی	مدل معرفی شده
تابش	ناحیه ۴ آبفا شهر مشهد	۳۳۸	نرخ شکست	۵	قطر، طول، سن، عمق نصب و فشار هیدرولیکی لوله ها	Gaussmf
جمشیدی	شهرستان قوچان	۱۲۰۰	طول عمر	۶	قطر، طول، عمق نصب، فشار هیدرولیکی، کیفیت جنس و کیفیت اجرا	Gauss2mf
عرب	شهر سبزوار	۱۴۴۲	طول عمر	۵	قطر، عمق نصب، فشار هیدرولیکی، کیفیت جنس و کیفیت اجرا	psigmf

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله عوامل مهم در بروز اتفاقات لوله‌های پلی‌اتیلن شبکه توزیع آب شهرستان سبزوار بررسی شد و با توجه به وجود داده‌های کمی و کیفی، برای پیش‌بینی شکست لوله از روش شبکه عصبی-فازی موسوم به انفیس استفاده شد. در بین حالت‌های مختلف آموزش شبکه، مدل psigmf با تابع عضویت خروجی خطی با میزان خطای 0.00196 منجر به بهترین حالت آموزش شبکه شد. با توجه به دقت بالای اطلاعات جمع‌آوری شده، روند تغییرات خروجی‌های واقعی و خروجی‌های حاصل از مدلسازی به وسیله شبکه عصبی-فازی برگزیده، رفتار قابل قبولی از خود بروز می‌دهد و داده‌ها

کاملا هم‌پوشانی دارند. بنابراین به منظور مدیریت بهینه بهره‌برداری و تصمیم‌گیری در زمینه اصلاح و یا نوسازی شبکه‌ها، می‌توان از نتایج حاصل از این پژوهش استفاده کرد.

۶. مراجع

1-L. Berardi, O. Giustolisi, Z. Kapelan and D. A. Savic.(2008), "Development of pipe deterioration models for water distribution systems using EPR", Journal of hydroinformatics 10.2.

2- Kleiner, Y. and Rajani, B.(2002), "Forecasting Variations and Trends in Water-Main Breaks", *Journal of In-frastructure Systems*, **8**(4), 122-131.

3- Jana Laboratories Inc ,2010, "Technical Report Impact of Potable Water Disinfectants on PE Pipe".

۴-مسعود تابش، کریمی،۱۳۸۵، " تعیین زمان نشت یابی و نوسازی آب شهری با استفاده از تحلیل اطلاعات حکوادر " نشکریه دانشکده فنی، جلد ۴۰، شماره۵ ، صفحات۶ – ۵۹۷ .

۵- مسعود تابش، جابر سلطانی، جابر سلطانی، ۱۳۸۶، "مدل‌سازی شکست لوله‌های شبکه توزیع آب با استفاده از روش شبکه‌های عصبی فازی به منظور مدیریت بهینه بهره‌برداری "، سومین کنگره ملی مهندسی عمران،تبریز.

۶- جمشیدی، جعفرزاده، شاد، ۱۳۹۶، "بررسی عوامل موثر بر شکست لوله‌های پلی‌اتیلن و پیش‌بینی عمر لوله پلی‌اتیلن با استفاده از روش عصبی-فازی"، دهمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

7- Achim, D., Ghotb, F. and McManus, K.J.,2007, "Prediction of water pipe asset life using neural networks", Journal of infrastructure systems, 13(1), pp.26–30.

8- Shamir, U., and Howard, C.,1979, "A analytical approach to scheduling pipe replacement." J. of AWWA.,71(5), 248-258.

9- Kettler, A., and Goulter, L.,1985, "An analysis of pipe breakage in urban water distribution networks." Canadian J. of Civil Engineering, 12(2), 286-293.

10- Su, Y., Mays, L., Duan, N., and Lansey, K.E.,1987, "Reliability based optimization model water distribution systems." J. Hydraulic Engineering Division, ASCE, 114(12), 1539-1556.

11- Jasng, J. R., Sun, C.,1995, "Neuro- fuzzy modeling and control", Proc. of the IEEE, P.P. 378-405.