

## مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه آبرسانی فضای سبز با استفاده از EPANET و پیش‌بینی مشخصات هیدرولیکی آن به کمک هوش مصنوعی

سعید فرزین<sup>۱\*</sup>، سیدفرهاد موسوی<sup>۲</sup>، محمدرضا حسونند<sup>۳</sup>، امیرحسین سلیمی<sup>۴</sup>، مهسا دوست‌محمدی<sup>۵</sup>، مهسا بوستانی<sup>۶</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۲۵

### چکیده

بروز مشکل در هر یک از بخش‌های شبکه‌های آبرسانی، در اثر پدیده‌های ناشی از نوسانات فشار و یا سرعت، می‌تواند سبب ایجاد اختلال در زندگی مصرف‌کنندگان گردد. برای جلوگیری از بروز این گونه مشکلات، طراحی مناسب و مدیریت بهینه شبکه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. پژوهش حاضر، کنترل فشار و سرعت جهت جلوگیری از بروز مشکلات در شبکه آبرسانی بررسی شده و همچنین مشخصات هیدرولیکی جریان در لوله‌ها توسط شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی گردید. در این راستا، ابتدا با زون‌بندی شهر کنگاور در استان کرمانشاه (به عنوان مطالعه موردی) به نواحی شش‌گانه براساس پارامترهای توزیع، ترسیم شبکه‌های آبرسانی فضای سبز برای شهر با دوره طرح ۱۰ ساله و جمعیت هدف ۹۵ هزار نفر، بر اساس الگوی آبیاری ۲۲ ساعته در شبانه‌روز و سرانه فضای سبز ۲۹/۶ مترمربع در انتهای دوره طرح انجام گردید. سپس، با استفاده از نرم‌افزار EPANET به تحلیل فشار، سرعت و دبی در شبکه پرداخته شد. براساس نتایج حاصل، بیشینه فشار در گره ۳-۳ در ناحیه سوم فشاری روی داد که در حدود ۱۰۰ متر آب است و بیشینه میزان سرعت در شبکه، در حدود ۱/۴ متر بر ثانیه به‌دست آمد. همچنین، نتایج نشان داد که دبی استفاده شده برای شبکه با توجه به قطر لوله‌ها و مسیرهای انتخابی در نواحی مختلف در محدوده مناسب می‌باشد. در ادامه، با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده، شبکه عصبی مصنوعی آموزش داده شد و شبکه بهینه با ضرایب همبستگی ۰/۸۷ و ۰/۸۵ به ترتیب برای فاز آموزش و آزمون، انتخاب شد. سپس دبی، سرعت و افت جریان لوله توسط شبکه بهینه پیش‌بینی گردید. نتایج نشان دهنده قابلیت بالای شبکه عصبی مصنوعی در تحلیل و پیش‌بینی مشخصات هیدرولیکی لوله‌های شبکه آبرسانی بود.

واژه‌های کلیدی: افت فشار، شبکه عصبی مصنوعی، کنگاور، مدیریت شبکه آبرسانی، EPANET

### مقدمه

آبرسانی، نقش موثری را در ارزیابی و مدیریت شبکه آب شهری و اتخاذ تصمیمات آبی برای آن ایفا می‌نماید. نرم‌افزار EPANET یک برنامه کامپیوتری است که رفتار هیدرولیکی و کیفی آب را در داخل شبکه لوله‌های تحت فشار شبیه‌سازی می‌کند (Rossman, 2000; Araujo et al., 2006; Bazargan-Lari., 2014). از برتری‌های این نرم‌افزار نسبت به نرم‌افزارهای مشابه، راحتی کارکرد با آن برای کاربران است که باعث می‌شود خطای انسانی کم‌تر شود.

با توجه به اهمیت موضوع، در دهه‌های اخیر، تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفته است؛ باگپرو و همکاران اقدام به ارائه یک الگوریتم جدید جهت کاهش هزینه پمپ‌ها در سیستم آبرسانی نمودند. در این پژوهش، سیستم آبرسانی به وسیله EPANET مدل‌سازی شده است (Bagirov et al., 2013). دی کورته و سورنسن اقدام به بهینه‌سازی طراحی شبکه آبرسانی ثقلی با استفاده از EPANET نمودند. در این پژوهش، یک دسته معیارهای جدید، به‌طور مثال حداقل الزامات به‌کارگیری یک ژنراتور در شبکه، مورد بحث قرار گرفت (De Corte and Srensen., 2013). جورجیسکو و

طراحی و ساخت شبکه‌های آبرسانی و انتقال آب به عنوان یکی از زیرساخت‌های توسعه شهری از حساسیت زیادی برخوردار است. با توجه به بحران کم‌آبی در جهان، به ویژه در کشورهای نظیر ایران، بهینه‌سازی شبکه‌های انتقال و توزیع آب اهمیت ویژه‌ای در راستای حفظ و مدیریت منابع آب دارد. به‌طور کلی، عامل اصلی انتقال آب در شبکه‌ها، انرژی بین دو نقطه می‌باشد. از این رو، فشار بیش از حد استاندارد در گره‌های شبکه باعث پدیده نامطلوب نشت می‌گردد که نتیجه آن نیاز به منابع بیش‌تر آب می‌باشد. امروزه، استفاده از شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان در شبکه‌های

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۳، ۴، ۵ و ۶- دانشجویان کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

\* - نویسنده مسئول: (Email: saeed.farzin@semnan.ac.ir)

نشده است. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، استفاده و مقایسه روش‌های مذکور در تحلیل شبکه آبرسانی فضای سبز شهر کنگاور در استان کرمانشاه (به عنوان مطالعه موردی) می‌باشد. بدین منظور، پس از زون‌بندی شهر به نواحی شش‌گانه و ترسیم شبکه‌های آبرسانی فضای سبز، مقادیر فشار، سرعت و دبی در شبکه با استفاده از نرم‌افزار EPANET محاسبه می‌شود. در ادامه، با استفاده از مقادیر طول و قطر لوله‌ها به‌عنوان داده‌های ورودی، شبکه عصبی مصنوعی آموزش داده می‌شود و شبکه بهینه انتخاب می‌گردد. سپس، مقادیر مشخصات هیدرولیکی جریان در لوله‌ها توسط شبکه بهینه پیش‌بینی می‌گردد. در نهایت، نتایج حاصل از دو روش ارا به شده، مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرند.

## مواد و روش‌ها

### مشخصات جغرافیایی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه

شهر کنگاور، در استان کرمانشاه، در ۴۷ درجه و ۵۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول جغرافیایی شرقی و ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی قرار دارد. شکل ۱ موقعیت استان کرمانشاه و شهر کنگاور را در کشور نشان می‌دهد. کنگاور دارای موقعیت کوهستانی و مرتفع با ارتفاع متوسط ۱۵۰۰ متر از سطح دریا است. شیب عمومی شهر از سمت شمال غربی به سمت جنوب شرقی و در حدود ۳/۹۶ درصد می‌باشد. بارندگی از اوایل پاییز آغاز و در حوالی آذرماه ریزش برف نیز شروع می‌شود. مقدار باران سالانه بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در نوسان است. بر اساس آمار ۳۰ ساله هواشناسی ایستگاه کنگاور، حداقل مطلق دما در این شهر برابر ۲۶- درجه سلسیوس و همچنین حداکثر دما ۴۰/۶ درجه سلسیوس بوده است. بر اساس طبقه‌بندی کوپن، شهرستان کنگاور دارای اقلیم نیمه‌خشک و استپی گرم می‌باشد.

### پیش‌بینی دوره طرح، جمعیت شهر و نیاز آبی

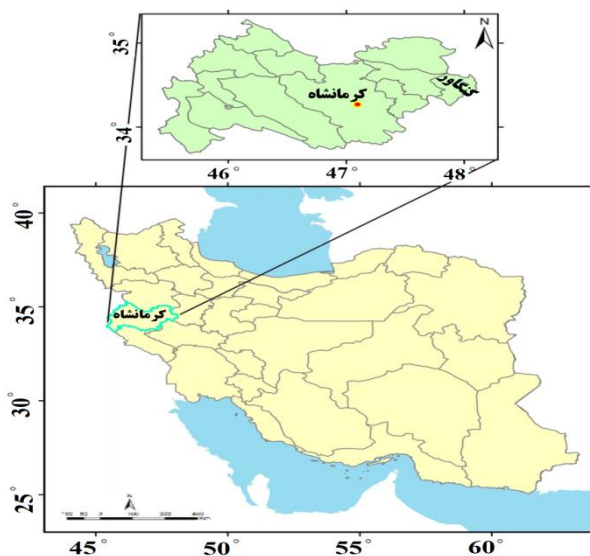
در طراحی شبکه‌های آبرسانی، علاوه بر وضعیت موجود، شرایط و مقتضیات آینده را نیز باید در نظر گرفت. توسعه افقی و توسعه عمودی جوامع سبب می‌شود تا با گذشت زمان، جمعیت تحت پوشش شبکه و در نتیجه میزان آب مورد نیاز افزایش یابد. بنابراین، در محاسبه ظرفیت هیدرولیکی شبکه آبرسانی و سایر تاسیسات مرتبط با آن پارامتری با عنوان دوره طرح تعریف می‌گردد. در مطالعات شبکه آبرسانی، با توجه به منابع اطلاعاتی گوناگون و در نظر گرفتن متغیرهای مختلف در رابطه با عواملی همچون رشد جمعیت و مقدار مهاجرت، میزان جمعیت برای سال پایان دوره طرح برآورد می‌شود. با فرض تغییرات خطی جمعیت، با استفاده از رابطه ۱ جمعیت شهر در افق طرح محاسبه می‌گردد:

$$P_n = P_0(1+r)^n \quad (1)$$

همکاران یک شبکه آبرسانی در بخارست رومانی را به وسیله EPANET مدل‌سازی نمودند. ایشان از مدل ایجاد شده به منظور انجام تحلیل‌های مصرف انرژی ماهانه و ارزیابی عملکرد پمپ‌ها استفاده نمودند (Georgescu et al., 2014). گاما و همکاران به مدل‌سازی شبکه آبرسانی شهر میلان در ایتالیا به وسیله EPANET اقدام نمودند. در این پژوهش، یک شبکه آبرسانی جدید برای این شهر با استفاده از UNESCO-IHE توسعه یافت (Gama et al., 2015). کارا و همکاران با استفاده از EPANET شبکه آبرسانی در مناطق گردشگری را مدل‌سازی کردند. مقادیر فشار پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار نسبت به اندازه‌گیری‌های میدانی قابل قبول بود (Kara et al., 2016).

امروزه، شبکه‌های عصبی مصنوعی به دلیل قابلیت‌های ویژه‌ای که دارند، کاربردهای وسیعی در شبیه‌سازی پدیده‌های پیچیده دارند. این شبکه‌ها با برخورداری از قابلیت تشخیص الگو، رابطه مناسبی بین داده‌های ورودی و خروجی برقرار می‌کنند و پس از آموزش مناسب، رفتار سیستم را پیش‌بینی می‌کنند (منهاج، ۱۳۹۵). در زمینه شبکه‌های آبرسانی، اهم مطالعاتی که صورت گرفته است به این شرح می‌باشد. آهن و همکاران اقدام به پیش‌بینی شکست لوله‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی نمودند. در تحقیق مذکور، تنها به برخی از پارامترهای موثر در شکست لوله‌ها اشاره شده است (Ahn et al., 2005). از آن‌جا که برنامه‌ریزی و طراحی سیستم‌های آبرسانی نیازمند پیش‌بینی دقیق تقاضای آب است، بهبودیان و همکاران از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بلندمدت تقاضای آب استفاده نمودند (Behboudian et al., 2014). کوتیلوسکا و همکاران دو نوع ساختار شبکه عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌های آبرسانی با یکدیگر مقایسه کردند (Kutyłowska et al., 2017). براساس نتایج حاصل، ساختار پرسپترون چندلایه عملکرد بهتری داشت. کارآموز و همکاران به پیش‌بینی فشار در شبکه آبرسانی شهر تهران با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج، بیانگر توانایی مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی فشار بود (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۴). عطاری و همکاران با حداقل برداشت اطلاعات فشار و دبی، مقدار نشت در شبکه‌های آبرسانی را با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی تخمین زدند (عطاری و همکاران، ۱۳۹۴).

با توجه به بررسی منابع پیشین، روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی مسایل هیدرولیکی نسبت به مسایل مرتبط با منابع آب بسیار کم‌تر مورد استفاده قرار گرفته است. در این راستا، مطالعات پیرامون مقایسه نتایج نرم‌افزار هیدرولیکی EPANET و روش شبکه عصبی مصنوعی در تحلیل مشخصات جریان در خطوط آبرسانی، انگشت‌شمار بوده است. استفاده از این دو روش در تحلیل شبکه‌های آبرسانی فضای سبز نیز تاکنون انجام



شکل ۱- موقعیت استان کرمانشاه و شهر کنگاور

ثانیه)،  $D$  قطر لوله (متر) و  $\gamma$  وزن مخصوص سیال (کیلوگرم بر مترمکعب) است. افت فشار نیز از طریق روابط متعددی از جمله معادله هیزن- ویلیامز طبق رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$h_L = 10/7 LD^{-4.87} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.85} \quad (4)$$

در رابطه ۴،  $C$  ضریب زبری لوله،  $L$  طول لوله (متر)،  $D$  قطر لوله (متر)،  $Q$  دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه) و  $h_L$  افت ارتفاع (متر) می‌باشد.

انتخاب قطر لوله‌ها در شبکه‌های آبرسانی اهمیت بالایی در طراحی و هزینه شبکه دارد. قطر لوله، با در نظر گرفتن دبی مورد نیاز و کمینه و بیشینه سرعت جریان در لوله‌ها محاسبه می‌گردد. سرعت آب در لوله نباید از حد معینی فراتر رود. حداقل سرعت آب در لوله نیز جهت جلوگیری از رسوب‌گذاری تعیین می‌شود. با توجه به این توضیحات، سرعت آب در خطوط انتقال بین ۰/۳ تا ۲/۵ متر بر ثانیه توصیه می‌شود (وزارت نیرو، ۱۳۹۲)

#### پیش‌بینی مشخصات هیدرولیکی شبکه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌های ساده شده‌ای از سیستم عصبی مرکزی می‌باشند که کارکردی شبیه مغز انسان دارند. نرون کوچک‌ترین واحد سازنده شبکه عصبی است. هر شبکه از لایه ورودی نرون‌ها، یک یا چند لایه پنهان و لایه خروجی تشکیل شده است که لایه‌ها توسط اتصالات وزن‌دار بین نرون‌ها با هم در ارتباط می‌باشند. در فرایند آموزش شبکه، این وزن‌ها پیاپی تغییر می‌کنند تا خطا به کم‌ترین مقدار خود برسد. نحوه محاسبه در شبکه‌های عصبی بدین

که  $P_n$  جمعیت درسال انتهایی طرح،  $P_0$  جمعیت در سال ابتدای طرح،  $r$  ضریب رشد جمعیت و  $n$  طول دوره طرح (بر حسب سال) است.

در مطالعه نیاز آبی، به منظور تخمین آب مورد نیاز، از حداکثر احتمال وقوع بهره گرفته شده و در محاسبات، رسیدن به بالاترین حد اطمینان مد نظر بوده است. عددی که تحت عنوان هیدرومدول ارایه می‌گردد، بیانگر میزان آب مورد نیاز در دوره بحرانی مصرف می‌باشد. بر اساس اطلاعات موجود، هیدرومدول در دوره بحرانی بر اساس الگوی آبیاری و سرانه فضای سبز در انتهای دوره طرح محاسبه می‌گردد.

#### معادلات حاکم در نرم‌افزار EPANET و ضوابط انتخاب قطر لوله‌ها

نرم‌افزار EPANET رفتار هیدرولیکی آب در شبکه‌های لوله، گره، پمپ، شیر، تانک ذخیره یا مخزن را بررسی می‌کند. این نرم‌افزار قادر است جریان آب در هر لوله، فشار در هر گره و ارتفاع آب در هر تانک را شبیه‌سازی کند (Rossman., 1999). به منظور طراحی شبکه آبرسانی در EPANET، از معادلات پیوستگی و اندازه حرکت به- صورت روابط ۲ و ۳ استفاده می‌گردد:

$$\text{div } \rho V + \frac{d\rho}{dt} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{d}{dL}(P + \gamma Z) = \frac{32\rho V}{D^2} \quad (3)$$

در این روابط،  $P$  فشار وارده بر سیال (پاسکال)،  $V$  لزجت سینماتیک جریان (مترمربع بر ثانیه)،  $V$  سرعت متوسط سیال (متر بر

شده و  $\bar{y}$  و  $\bar{x}$  به ترتیب میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهداتی می‌باشند. در رابطه ۸،  $p$  تعداد متغیرهای پیش‌بینی و  $N$  تعداد کل مشاهدات می‌باشد.

### نتایج و بحث

#### دوره طرح، نیاز آبی و جمعیت شهر کنگاور

شروع طرح بهره‌برداری از شبکه آبرسانی شهر کنگاور، سال ۱۳۸۵ و انتهای دوره طرح سال ۱۴۰۵ منظور شده است ( $n=20$ ). به منظور برآورد فضای سبز آبی شهر، تعیین جمعیت هدف الزامی می‌باشد. با کمک آن، عدد سرانه فضای سبز آینده محاسبه می‌گردد (وزارت نیرو، ۱۳۸۹). از این رو، با استفاده از نتیجه سرشماری در سال ۱۳۸۵ و جمعیت در سال ابتدای طرح برابر ۴۸۹۰۱ نفر و لحاظ نمودن نرخ رشد ۳/۳۷ درصد، جمعیت نهایی شهر در افق طرح، ۹۵ هزار نفر پیش‌بینی گردید. از این میزان، جمعیتی بالغ بر ۶۲ هزار نفر در محدوده طرح جامع شهر و مابقی در نواحی توسعه آینده شهر منظور گردیده است. بر اساس اطلاعات موجود، هیدرومدول فضای سبز شهر کنگاور در دوره بحرانی برابر ۰/۹۳ لیتر در ثانیه در هکتار بر اساس الگوی آبیاری ساعته و سرانه فضای سبز ۲۹/۶ مترمربع در انتهای دوره طرح می‌باشد. وسعت سطح سبز موجود و توسعه آبی شهر کنگاور ۱۹۸/۶ هکتار و نیاز آبی آن در حالت بحرانی ۱۸۷/۹ لیتر در ثانیه بر مبنای الگوی آبیاری ۲۲ ساعته می‌باشد (وزارت کشور، ۱۳۸۹). پس از بازدیدهای میدانی، بررسی نقشه‌های طرح جامع و استفاده از نظرات و تجربیات کارشناسان محترم فضای سبز شهر کنگاور، جانمایی سطوح فضای سبز شهر به شرح جدول ۱ تهیه گردید.

جدول ۱- فضای سبز موجود (سال ۱۳۸۵) و آبی شهر کنگاور

فضای سبز	وسعت کل (هکتار)	سطح خالص سبز (هکتار)
موجود در محدوده مصوب شهر	۴۵/۰۵	۳۱/۵
جنگل کاری حاشیه شمال	۷۳	۵۱/۱
آبی	۸۲/۴۲	۵۷/۷
حاشیه سبز	۸۳/۲۵	۵۸/۳
جمع	۲۸۳/۷۳	۱۹۸/۶

#### انتخاب جنس خط لوله و ناحیه‌بندی شبکه آبرسانی

انتخاب مناسب‌ترین نوع لوله در هنگام طراحی، فاکتور اصلی برای حصول اطمینان از عملکرد صحیح لوله در طول دوران بهره‌برداری و همچنین ایجاد صرفه‌جویی و جلوگیری از ضایع شدن سرمایه به‌منظور تعمیرات، تعویض و هزینه‌های نگهداری در خصوص

صورت است که ورودی‌ها ( $x_1$  تا  $x_i$ ) در وزن‌ها ضرب شده و مجموع نتایج حاصل از هر ورودی پس از اعمال در یک تابع، خروجی نرون را تشکیل می‌دهد.  $w$  نیز وزن اتصال بین نرون‌ها در لایه میانی است که در رابطه ۵ نشان داده شده است (منه‌اج، ۱۳۹۵).

$$Net_j = \sum w_{ij} x_j \quad (5)$$

شبکه پرسپترون جزو معروف‌ترین شبکه‌های عصبی مصنوعی بوده، و حالت چند لایه (MLP) از پرکاربردترین شبکه‌های عصبی است. در این پژوهش، از شبکه عصبی مصنوعی MLP برای پیش‌بینی مشخصات هیدرولیکی لوله‌ها استفاده شده است. داده‌های ورودی شامل طول و قطر لوله‌ها و داده‌های خروجی شامل دبی، سرعت و افت جریان در لوله می‌باشند.

#### معیارهای ارزیابی دقت مدل‌سازی

به منظور ارزیابی کمی عملکرد مدل مورد استفاده، می‌توان از بررسی اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده بهره برد. در این پژوهش، از جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضریب همبستگی (R) برای ارزیابی مدل استفاده شد که در روابط ۶ تا ۸ آورده شده‌اند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (6)$$

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right]^2 \quad (7)$$

$$R = 1 - \frac{(1 - R^2)(N - 1)}{N - P - 1} \quad (8)$$

در روابط ۶ و ۷،  $y_i$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $x_i$  مقادیر مشاهده

جنگل‌ها و حاشیه‌های سبز شهر کنگاور، برخلاف پارک‌ها، بلوارها، لچکی‌ها و خیابان‌ها، فاقد فضاهای گل‌کاری هستند. بنابراین از لحاظ میزان مصرف آب، بسیار متفاوت از فضاهای داخل شهری هستند که دارای گل‌کاری یا چمن‌کاری می‌باشند.

لوله‌ها می‌باشد. بر اساس بررسی‌های فنی و اقتصادی صورت پذیرفته، در تمام شبکه آبرسانی از لوله پلی‌اتیلن PE-80 با فشارهای کار ۱۰، ۸ و ۶/۳ اتمسفر استفاده شد. با توجه به مزایای لوله‌گذاری در داخل ترانشه، در این پژوهش نصب خطوط لوله در داخل ترانشه پیشنهاد گردیده است.

ناحیه‌بندی شبکه آبرسانی، یکی از مراحل اساسی مطالعات طراحی شبکه می‌باشد. سیستم آبرسانی باید قادر باشد آب مورد نیاز مناطقی که حداکثر اختلاف ارتفاع آن‌ها ۲۵ الی ۳۰ متر است را تامین نماید. به منظور تامین فشارهای مجاز و متعادل شبکه‌ها، شبکه‌های آب باید به مناطق فشاری کوچک‌تری تقسیم گردند، به نحوی که شیرهای فشارشکن، مخازن هوایی و ایستگاه‌های پمپاژ کاهش یافته و کنترل‌های مورد نیاز به حداقل ممکن برسد. به همین منظور، شهر کنگاور بر اساس عوارض طبیعی و مصنوعی، توپوگرافی، تاسیسات استحصال و منابع تامین آب به شش منطقه فشاری تقسیم گردید.

#### مدل‌سازی شبکه آبرسانی فضای سبز شهر کنگاور توسط نرم‌افزار EPANET

سیستم شبکه آبرسانی فضای سبز شهر کنگاور ترکیبی از حلقوی و شاخه‌ای می‌باشد. بنابراین، در صورت آسیب‌دیدگی یا بروز نقص در یکی از لوله‌ها، با ایزوله نمودن آن لوله، بقیه قسمت‌های شبکه می‌تواند کار تامین آب در سطح شهر را انجام دهد. در هر حلقه، با توجه به مساحت و ضریب هیدرومُدول، کل آب مورد نیاز برآورد گردیده است. سپس، هر حلقه به طول لوله‌های تشکیل‌دهنده تقسیم شده و سهم تامین آب هر لوله محاسبه و این مقدار به دو گره ابتدا و انتهای هر شاخه به نسبت مساوی داده شده است. با اعمال این داده‌های ورودی به نرم‌افزار EPANET و انجام محاسبات توسط این نرم‌افزار، فشار در گره‌ها و مشخصات هیدرولیکی لوله‌ها به دست آمد. شکل ۲، جانمایی شبکه توزیع، تامین آب و زون‌بندی فشاری شهر کنگاور را نشان می‌دهد.

پس از زون‌بندی نواحی مختلف بر اساس پارامترهای ذکر شده که با رنگ‌های متفاوت در شکل ۲ نمایش داده شده است، محاسبات برای تمامی نواحی انجام گردید. به‌طور مثال، در شکل‌های ۳ و ۴ خروجی گرافیکی نرم‌افزار برای فشار در گره‌ها و سرعت در لوله‌ها در نواحی فشاری ۱ و ۵ نشان داده شده است.

در ادامه، خروجی اصلی نرم‌افزار در قالب جداول ۲ و ۳ ارایه شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، بیشترین سرعت در ناحیه‌ی اول در لوله‌های شماره‌ی ۹ و ۱۰ برابر ۰/۸۸ متر بر ثانیه و کمینه آن در لوله ۶ می‌باشد که برابر با ۰/۲۶ متر بر ثانیه است. همچنین، بیش‌ترین افت فشار در لوله ۱۲ برابر با ۷/۶۵ متر آب بر کیلومتر و کمینه آن در لوله ۳۰ و برابر با ۰/۵۹ متر آب بر کیلومتر

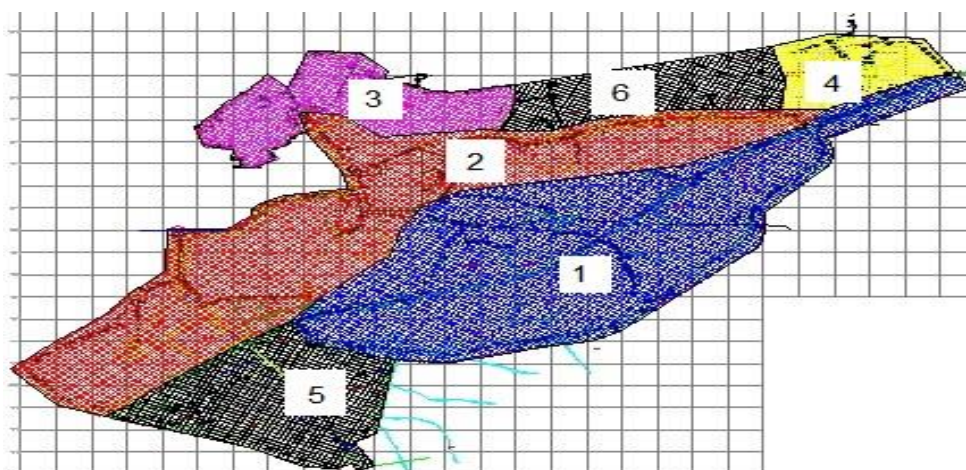
می‌باشد. در جدول ۳، برای ناحیه ۵، بیشترین سرعت برابر ۰/۹۴ در لوله ۱۵ و کمینه آن ۰/۷۷ در لوله ۷ بود. در حالی که بیشترین افت فشار در لوله ۱۵ و برابر با ۱۲/۰۸ متر آب بر کیلومتر و کمینه آن در لوله ۱۱ برابر با ۰/۹ متر آب بر کیلومتر می‌باشد. در ناحیه ۲، بیشترین سرعت در لوله ۱۶ برابر ۱/۱۸ متر بر ثانیه و کمینه آن ۰/۲۷ متر بر ثانیه و در لوله ۱ می‌باشد. افت فشار بیشترین این ناحیه در لوله ۱۱ و برابر ۹/۳۳ متر آب بر کیلومتر و کمینه آن در لوله ۲۱ و برابر با ۱/۰۶ متر آب بر کیلومتر می‌باشد. در ناحیه سوم، سرعت بیشترین برابر ۱/۳۷ متر بر ثانیه در لوله ۷ و کمینه آن ۰/۳۸ متر بر ثانیه است که در لوله ۱۰ روی داد. همچنین، افت فشار بیشترین این ناحیه در لوله ۷ و برابر با ۳۸/۰۶ متر آب بر کیلومتر و کمینه آن ۱/۵۷ متر آب بر کیلومتر در لوله ۶ روی داده است. در ناحیه ۴، بیشترین سرعت برابر ۰/۴۷ متر بر ثانیه و در لوله ۶ و کمینه آن در لوله ۵ و برابر با ۰/۳۱ متر بر ثانیه می‌باشد. افت فشار بیشترین این ناحیه برابر با ۰/۸۶ متر آب بر کیلومتر در لوله ۴ و کمینه آن در لوله ۶ و برابر با ۵/۰۶ متر آب بر کیلومتر می‌باشد. در ناحیه ششم نیز بیشترین و کمینه فشار به ترتیب در لوله‌های ۱۱ و ۲۱ و برابر با ۱۰/۳ و ۰/۸۸ متر آب بر کیلومتر بوده و بیشترین و کمینه سرعت در لوله‌های ۱۴ و ۹ برابر با ۱/۱ و ۰/۳ متر بر ثانیه می‌باشد.

نتایج حاصل از خروجی مدل در نرم‌افزار EPANET، پس از مقایسه با نتایج جورجیسکو و همکاران (Georgescu et al., 2014)، گاما و همکاران (Gama et al., 2015) و کارا و همکاران (Kara et al., 2016) در مدل نمودن شبکه‌های توزیع آب، منطقی می‌باشد. از سوی دیگر، در گره‌ها، بیشترین فشار در گره ۳-۳ در ناحیه سوم فشاری روی داد که در حدود ۱۰۰ متر آب محاسبه شد.

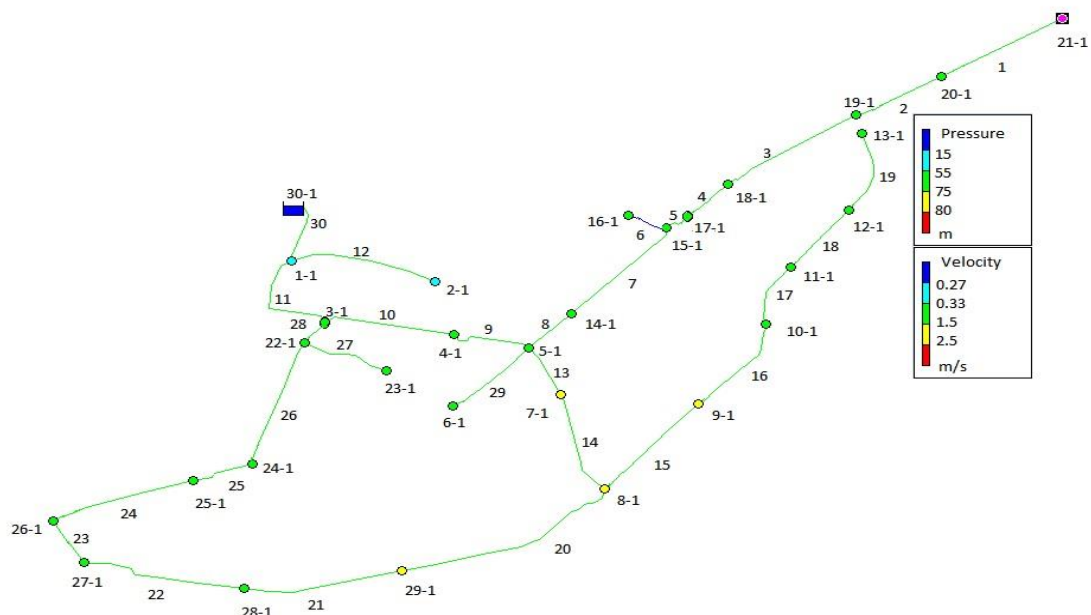
#### پیش‌بینی مشخصات جریان در لوله‌های شبکه آبرسانی

هدف از این بخش، پیش‌بینی مشخصات هیدرولیکی لوله‌های نواحی مختلف توسط شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. بدین منظور، دو متغیر طول و قطر لوله‌ها به عنوان داده‌های ورودی شبکه و سه متغیر دبی، سرعت و افت جریان در لوله‌ها به عنوان داده‌های خروجی شبکه در نظر گرفته شدند. در جدول ۴، خصوصیات آماری داده‌های ورودی و خروجی آورده شده است. برای تشکیل شبکه عصبی مصنوعی از درصد‌های مختلف داده‌ها برای آموزش شبکه استفاده شد. بهترین نتایج، با ۷۰ درصد داده‌ها به عنوان آموزش (tr) حاصل شد. ۳۰ درصد باقی داده‌ها به عنوان داده‌های آزمون (ts) در نظر گرفته شد.

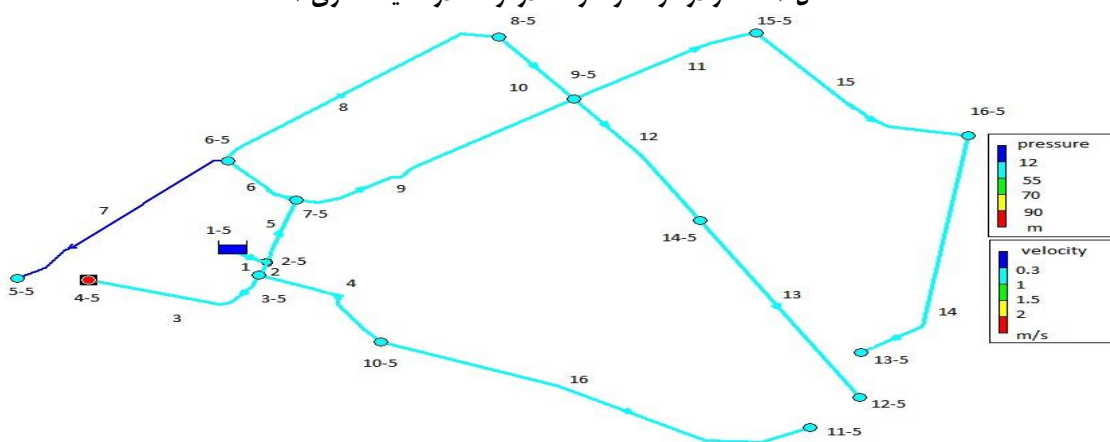
برای آموزش شبکه از چهار تابع BR, LM, RP و OSS بهره گرفته شد. برای آن که تابع غیرخطی با دقت کافی به پیش‌بینی پارامترها بپردازد، از یک لایه پنهان برای شبکه عصبی استفاده گردید که لایه پنهان از ۲ تا ۸ نرون تشکیل شده است. لایه ورودی شامل ۲ تا ۸ نرون و لایه خروجی دارای ۳ نرون است.



شکل ۲- جانمایی و توزیع زون بندی فشاری شبکه آبرسانی تامین آب فضای سبز شهر کنگاور



شکل ۳- فشار در گره ها و سرعت در لوله ها در ناحیه فشاری ۱



شکل ۴- فشار در گره ها و سرعت در لوله ها در ناحیه فشاری ۵

جدول ۲- خروجی نرم‌افزار برای لوله‌های ناحیه ۱

شماره لوله	نقطه شروع		طول	قطر	دبی	سرعت	افت فشار
	نقطه پایان		(m)	(mm)	LPS	(m/s)	(m/km)
۱	۲۱-۱	۲۰-۱	۵۰۲	۱۱۰	۳/۷۴	۰/۵۱	۳/۱۵
۲	۲۰-۱	۱۹-۱	۳۶۱	۱۶۰	۹/۸۴	۰/۶۳	۳/۰۲
۳	۱۹-۱	۱۸-۱	۴۵۸	۱۶۰	۱۱/۴۲	۰/۷۳	۳/۹۸
۴	۱۸-۱	۱۷-۱	۲۹۳	۱۶۰	۱۲/۸۴	۰/۸۲	۴/۹۵
۵	۱۷-۱	۱۵-۱	۹۸	۱۶۰	۱۳/۶۱	۰/۸۷	۵/۵۱
۶	۱۵-۱	۱۶-۱	۱۷۹	۵۰	۰/۳۹	۰/۲۶	۲/۳۳
۷	۱۵-۱	۱۴-۱	۵۱۸	۲۰۰	۱۴/۷۴	۰/۶	۲/۱۶
۸	۱۴-۱	۵-۱	۱۹۴	۲۰۰	۱۵/۳۲	۰/۶۳	۲/۳۲
۹	۵-۱	۴-۱	۳۰۰	۲۵۰	۳۳/۴۹	۰/۸۸	۳/۳۲
۱۰	۴-۱	۳-۱	۵۰۲	۲۵۰	۳۳/۶۷	۰/۸۸	۳/۳۵
۱۱	۳-۱	۱-۱	۴۶۰	۳۱۵	۴۶/۸۴	۰/۷۷	۲/۰۱
۱۲	۱-۱	۲-۱	۵۵۸	۶۳	۱/۵	۰/۵۹	۷/۶۵
۱۳	۵-۱	۷-۱	۲۱۲	۲۰۰	۱۶/۹۱	۰/۷۴	۳/۲۶
۱۴	۷-۱	۸-۱	۴۷۰	۲۰۰	۱۶/۷۶	۰/۷۳	۳/۲۵
۱۵	۸-۱	۹-۱	۴۲۰	۱۶۰	۱۰/۱۴	۰/۶۹	۳/۷۶
۱۶	۹-۱	۱۰-۱	۵۰۶	۱۶۰	۷/۳۱	۰/۵	۲/۰۵
۱۷	۱۰-۱	۱۱-۱	۲۹۲	۱۴۰	۴/۴۹	۰/۳۸	۱/۳۵
۱۸	۱۱-۱	۱۲-۱	۳۳۴	۱۱۰	۲/۷۷	۰/۳۸	۱/۸۱
۱۹	۱۲-۱	۱۳-۱	۳۴۱	۶۳	۱/۰۳	۰/۴۳	۴/۳۸
۲۰	۸-۱	۲۹-۱	۸۶۰	۱۱۰	۳/۴۴	۰/۵	۳/۱۴
۲۱	۲۹-۱	۲۸-۱	۶۰۴	۶۳	۰/۸۵	۰/۳۸	۳/۶۴
۲۲	۲۸-۱	۲۷-۱	۵۹۱	۱۲۵	۳/۵۶	۰/۴	۱/۸
۲۳	۲۷-۱	۲۶-۱	۲۱۶	۱۴۰	۳/۹۷	۰/۴۲	۱/۶۴
۲۴	۲۶-۱	۲۵-۱	۴۹۸	۱۶۰	۷/۵۴	۰/۴۸	۱/۸۵
۲۵	۲۵-۱	۲۴-۱	۲۶۵	۱۶۰	۹/۴۸	۰/۶۱	۲/۸۲
۲۶	۲۴-۱	۲۲-۱	۵۵۴	۱۶۰	۹/۸۹	۰/۶۳	۳/۰۱
۲۷	۲۲-۱	۲۳-۱	۳۲۱	۹۰	۲/۹۲	۰/۵۹	۵/۳۳
۲۸	۲۲-۱	۳-۱	۱۲۳	۱۶۰	۱۲/۸۹	۸۳/۰	۴/۹۹
۲۹	۵-۱	۶-۱	۲۸۶	۶۳	۰/۸۷	۰/۳۶	۳/۲
۳۰	۳۰-۱	۱-۱	۲۸۰	۴۰۰	۷/۴۸	۰/۴۷	۰/۵۹

خطای شبکه بهینه برای داده‌های آموزش و آزمون به ترتیب برابر ۰/۰۰۶۲ و ۰/۰۰۸۶ می‌باشد که نشانگر دقت بالای این مدل است. در ادامه، از شبکه عصبی بهینه به منظور پیش‌بینی مشخصات هیدرولیکی لوله‌های نواحی ۱ تا ۶ استفاده شد. شکل‌های ۵ تا ۷، مقایسه بین مقادیر محاسبه شده (توسط نرم‌افزار EPANET) و مقادیر پیش‌بینی شده با شبکه عصبی به ترتیب برای دبی جریان در لوله، سرعت و افت جریان مربوط به ناحیه اول (به‌عنوان نمونه) را نشان می‌دهند.

از معیارهای آماری ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی، جهت ارزیابی خطای مدل‌ها استفاده گردید. در جدول ۵، نتایج میزان دقت مدل‌ها در پیش‌بینی پارامترها ارایه شده است. با توجه به این جدول، شبکه با ساختار ۳-۲-۲ و تابع آموزش LM، بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی در فاز آموزش و آزمون به ترتیب معادل ۰/۸۷ و ۰/۸۵ و همچنین بیش‌ترین مقدار ضریب تبیین برای فاز آموزش و آزمون به ترتیب معادل ۰/۷۶ و ۰/۷۳ را به دست آورد که به عنوان شبکه بهینه انتخاب شد. جذر میانگین مربعات

جدول ۳- خروجی نرم افزار برای لوله های ناحیه ۵

شماره لوله	نقطه شروع	نقطه پایان	طول (m)	قطر (mm)	دبی LPS	سرعت (m/s)	افت فشار (m/km)
۲	۱-۵	۲-۵	۳۲	۲۰۰	۱۱/۶۲	۰/۴۵	۱/۲۳
۳	۲-۵	۳-۵	۲۹۹	۷۵	۱/۲۶	۰/۳۵	۲/۳۸
۴	۲-۵	۴-۵	۲۷۳	۱۱۰	۷/۲۲	۰/۹۳	۹/۳۶
۵	۱-۵	۶-۵	۱۵۴	۲۰۰	۱۹/۴۴	۰/۷۶	۳/۱۸
۶	۶-۵	۷-۵	۱۶۴	۱۶۰	۶/۵۶	۰/۴	۱۱/۲۶
۷	۷-۵	۸-۵	۱۲۰	۶۳	۰/۶۸	۰/۲۷	۱/۷۷
۸	۷-۵	۹-۵	۵۳۹	۱۱۰	۲/۴۹	۰/۳۴	۱/۵۱
۹	۶-۵	۱۰-۵	۵۰۷	۱۶۰	۱۱/۰۹	۰/۶۸	۳/۳۴
۱۰	۹-۵	۱۰-۵	۱۹۵	۶۳	۰/۸۹	۰/۳۸	۳/۴۵
۱۱	۱۰-۵	۱۳-۵	۳۴۱	۱۶۰	۵/۴۶	۰/۳۳	۰/۹
۱۲	۱۰-۵	۱۱-۵	۳۵۴	۱۲۵	۴/۷۴	۰/۴۷	۲/۳
۱۳	۱۱-۵	۱۲-۵	۵۳۲	۱۱۰	۳/۵۱	۰/۴۵	۲/۴۶
۱۴	۱۵-۵	۱۴-۵	۶۰۵	۹۰	۲/۳۹	۰/۴۶	۳-۲
۱۵	۱۴-۵	۱۳-۵	۴۴۱	۹۰	۴/۹	۰/۹۴	۱۲/۰۸
۱۶	۴-۵	۵-۵	۷۳۲	۱۱۰	۲/۸۶	۰/۳۷	۱/۶۸
۱۷	۱-۵	مخزن	۶۳	۲۵۰	۳۱/۰۶	۰/۷۷	۲/۵۴

جدول ۴- خصوصیات آماری داده های ورودی و خروجی

داده ها	متغیر	واحد	بیشینه	میانگین	کمینه
ورودی	طول	متر	۸۶۲	۳۸۵/۱۴	۳۲
	قطر	میلی متر	۴۰۰	۱۴۸/۲۲	۵۰
خروجی	دبی جریان	لیتر بر ثانیه	۶۰/۳۹	۷/۸۵	-۴۷/۴۳
	سرعت جریان	متر بر ثانیه	۱/۳۷	۰/۵۷	۰/۲۶
	افت جریان	متر بر کیلومتر	۳۸/۰۶	۳/۵۶	۰/۵۹

جدول ۵- محاسبه معیارهای خطای مربوط به ساختارهای مورد استفاده در تحقیق

تابع آموزش	ساختار شبکه	R <sup>2</sup> (ts)	R <sup>2</sup> (tr)	R(ts)	R(tr)	RMSE(ts)	RMSE(tr)
RP	۴-۴-۳	۰/۷۲۱۵	۰/۶۸۹۸	-۰/۸۴۹۴	-۰/۸۲۲۸	۰/۰۰۳۲	-۰/۰۱۵۴
RP	۶-۶-۳	۰/۷۵۲۹	۰/۶۴۰۸	-۰/۸۶۷۷	-۰/۸۰۰۵	۰/۰۰۵۱	-۰/۰۱۲۹
RP	۸-۸-۳	۰/۷۰۲۳	۰/۶۸۸۲	-۰/۸۳۸	-۰/۸۲۹۶	۰/۰۰۳۳	-۰/۰۱۳۴
LM	۲-۲-۳	۰/۷۳۷	۰/۷۶	-۰/۸۵۸۵	-۰/۸۷۱۷	۰/۰۰۸۶	-۰/۰۰۶۲
BR	۴-۴-۳	۰/۷۷۱۴	۰/۵۸۷۸	-۰/۸۷۷۸	-۰/۷۶۶۷	۰/۰۰۳	-۰/۰۱۱۲
BR	۶-۶-۳	۰/۷۷۲	۰/۵۸۷۶	-۰/۸۷۸۷	-۰/۷۶۶۶	۰/۰۰۳۶	-۰/۰۱۰۸
LM	۲-۳-۳	۰/۷۳۱	۰/۶۸۱۹	-۰/۸۵۵	-۰/۸۲۵۸	۰/۰۰۴۹	-۰/۰۱۰۲
LM	۳-۳-۳	۰/۶۶۶۴	۰/۶۴۵	-۰/۸۱۳۶	-۰/۸۰۳۱	۰/۰۰۵۴	-۰/۰۰۹۷
RB	۲-۲-۳	۰/۷۶۶۱	۰/۶۲۹	-۰/۸۵۲۷	-۰/۷۹۳۱	۰/۰۰۳۵	-۰/۰۰۸۷
OSS	۲-۲-۳	۰/۶۷۶۷	۰/۶۳۳۹	-۰/۸۲۲۶	-۰/۷۹۳۵	۰/۰۰۳۶	-۰/۰۱۲۶
OSS	۳-۳-۳	۰/۶۸۴۲	۰/۶۳۸	-۰/۸۲۷۲	-۰/۷۹۸۸	۰/۰۰۳	-۰/۰۱۲۹
OSS	۲-۳-۳	۰/۷۱۰۱	۰/۶۳۶۴	-۰/۸۴۲۷	-۰/۷۹۸۹	۰/۰۰۵۱	-۰/۰۱۲۸

دارند. این امر نشان دهنده عملکرد خوب شبکه عصبی می باشد. برخی از اختلافاتی که بین داده های محاسبه شده و پیش بینی شده

همان طور که در نمودارها مشاهده می شود، روند داده های پیش بینی شده و محاسبه شده تقریباً یکسان است و هم خوانی قابل قبولی



برای دبی، سرعت و افت جریان در لوله‌های ناحیه ۵ می‌باشند. با توجه به این نمودارها می‌توان مشاهده کرد که نمودارهای پیش‌بینی شده توسط شبکه نزدیک به نمودار مقادیر محاسبه شده است که نشان دهنده دقت شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی می‌باشد.

وجود دارد به این دلیل است که داده‌های محاسبه شده خروجی نرم-افزار هستند و ممکن است دارای کمی خطا باشند. همچنین، شکل‌های ۸ تا ۱۰ نشان‌دهنده مقایسه مقادیر محاسبه شده با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب



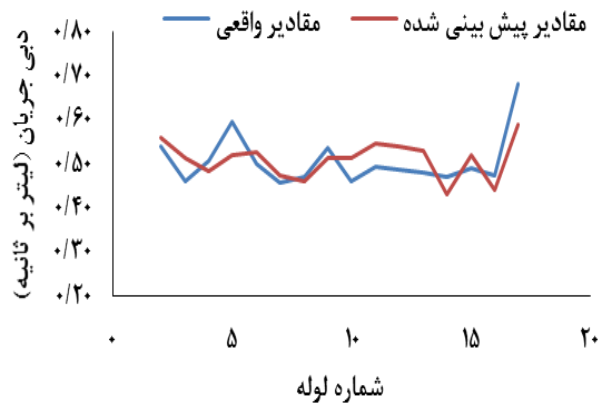
شکل ۵- مقایسه مقادیر محاسبه شده و پیش‌بینی شده دبی جریان در ناحیه ۱



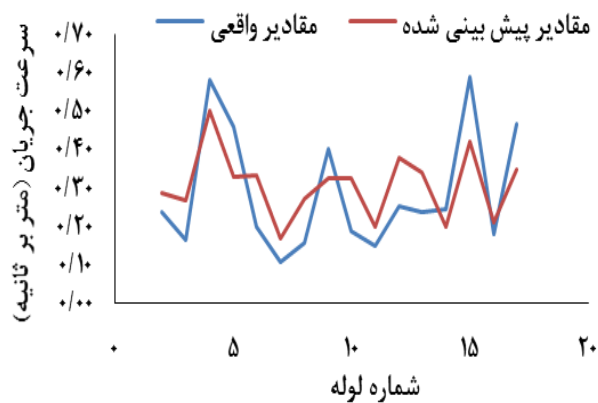
شکل ۶- مقایسه مقادیر محاسبه شده و پیش‌بینی شده سرعت جریان در ناحیه ۱



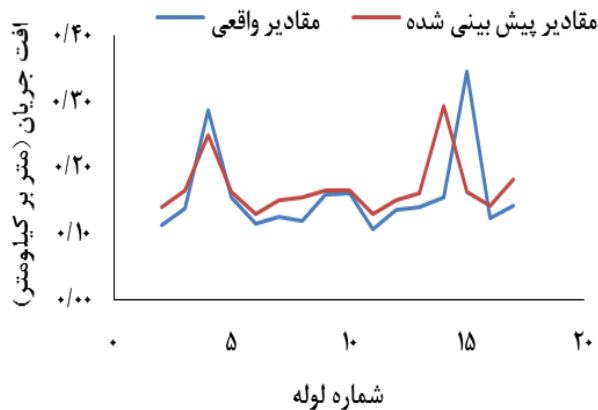
شکل ۷- مقایسه مقادیر محاسبه شده و پیش‌بینی شده افت جریان در ناحیه ۱



شکل ۸- مقایسه مقادیر محاسبه شده و پیش‌بینی شده دبی جریان در ناحیه ۵



شکل ۹- مقایسه مقادیر محاسبه شده و پیش‌بینی شده سرعت جریان در ناحیه ۵



شکل ۱۰- مقایسه مقادیر محاسبه شده و پیش‌بینی شده افت جریان در ناحیه ۵

سازی هیدرولیکی جریان در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از نرم-افزارهای مناسب، از جمله EPANET، تاثیر به‌سزایی در مدیریت و اتخاذ تصمیمات آبی برای این زیرساخت‌های عظیم توسعه شهری ایفا می‌نماید. از سوی دیگر، امروزه روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی به دلیل توانایی مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده با متغیرهای فراوان، دارای مزایای متعددی می‌باشند. این روش‌ها، با برخورداری از

## نتیجه‌گیری

با توجه به بحران کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، طراحی، اجرا و بهره‌برداری صحیح شبکه‌های آبرسانی فضاهای سبز (نظیر پارک‌ها، میادین، بلوارها و درخت‌کاری حاشیه شهرها) به منظور حفظ و مدیریت منابع آب اهمیت بالایی دارد. در این راستا، شبیه-

## منابع

- عطاری، م.، زکی پور، م. و غفور مغربی، م. ۱۳۹۴. تعیین موقعیت و مقدار نشت در شبکه‌های آبرسانی با استفاده ترکیب فشارسنجی و دبی‌سنجی به روش شبکه‌های عصبی، دومین همایش ملی راهکارهای پیش‌روی بحران آب در ایران و خاورمیانه، شیراز، ایران.
- کارآموز، م.، تابش، م.، نظیف، س. و مریدی، ع. ۱۳۸۴. پیش‌بینی فشار در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و استنتاج فازی، مجله آب و فاضلاب. ۱. ۱۶: ۳-۱۴.
- منه‌ج، م. ۱۳۹۵. مبانی شبکه‌های عصبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- وزارت کشور. ۱۳۸۵. طرح مطالعات مرحله اول آبیاری فضای سبز شهر کنگاور، مهندس مشاور گاماسیاب.
- وزارت نیرو. ۱۳۸۹. ضوابط طراحی فضاهای سبز شهری، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، نشریه ۲۰۳.
- وزارت نیرو. ۱۳۹۲. ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، نشریه ۳-۱۱۷.
- Ahn, J.C., Lee, S.W., Lee, G.S., Koo, J.Y. 2005. Predicting water pipe breaks using neural network. *Water Science and Technology: Water Supply*. 5.3-4: 159-72.
- Araujo, L.S., Ramos, H., Coelho, S.T. 2006. Pressure control for leakage minimization in water distribution systems management. *Water Resources Management*. 20.1: 133-49.
- Bagirov, A.M., Barton, A.F., Mala-Jetmarova, H., Nuaimat, A., Ahmed, S.T., Sultanova, N., Yearwood, J. 2013. An algorithm for minimization of pumping costs in water distribution systems using a novel approach to pump scheduling. *Mathematical and Computer Modelling*. 57.3: 873-86.
- Bazargan-Lari, M.R. 2014. An evidential reasoning approach to optimal monitoring of drinking water distribution systems for detecting deliberate contamination events. *Journal of Cleaner Production*. 78: 1-14.
- Behboudian, S., Tabesh, M., Falahnezhad, M., Ghavanini, F.A. 2014. A long-term prediction of domestic water demand using preprocessing in artificial neural network. *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua*. 63.1: 31-42.
- De Corte, A., Srensen, K. 2013. Optimization of gravity-fed water distribution network design: A critical review. *European Journal of Operational Research*. 228.1: 1-10.
- Gama, M.C., Lanfranchi, E.A., Pan, Q., Jonoski, A. 2015. قابلیت تشخیص الگو، پس از برقرار کردن رابطه مناسب بین داده‌های ورودی و خروجی، رفتار سیستم را پیش‌بینی می‌کنند. در تحقیق حاضر، مشخصات هیدرولیکی جریان شامل دبی، سرعت و افت در شبکه آبرسانی فضای سبز شهر کنگاور در استان کرمانشاه با استفاده از نرم‌افزار هیدرولیکی EPANET و الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی و تحلیل گردید. در نهایت، با استفاده از شاخص‌های آماری متداول، دقت مدل‌های ارائه شده در پیش‌بینی مشخصات جریان گردید. اهم نتایج حاصل به شرح زیر می‌باشد:
- ۱- بر اساس خروجی EPANET مشخص گردید که دبی ۱۸۷ لیتر بر ثانیه محاسبه شده بر اساس هیدرومدول و وضعیت اقلیمی منطقه، مقدار مناسبی برای ورودی EPANET است.
- ۲- افت بیشینه فشار در ناحیه سوم و در لوله ۷ روی داده است که مقدار آن  $38/06$  متر آب بر کیلومتر می‌باشد. کمینه آن نیز در لوله ۳۰ ناحیه اول روی داده که مقدار آن  $0/59$  متر آب بر کیلومتر بود.
- ۳- بیشینه سرعت در ناحیه سوم، در لوله ۷ روی داده، و برابر با  $1/37$  متر بر ثانیه می‌باشد. کمینه آن در لوله ۶ در ناحیه ۱ و برابر با  $0/26$  متر بر ثانیه بود.
- ۴- فشار در گره‌ها، با توجه به نوع و فشار لوله‌های انتخابی در محدوده استاندارد بود. کمبود فشار خارج از محدوده تعریف شده نیز وجود نداشت.
- ۵- از میان ساختارهای مختلف شبکه عصبی، ساختار ۳-۲-۲ و تابع آموزش LM با ضریب همبستگی  $0/87$  و  $0/85$  به ترتیب برای فاز آموزش و آزمون، به‌عنوان شبکه بهینه انتخاب گردید.
- ۶- برآزش مقادیر دبی، سرعت و دبی جریان برآورد شده توسط شبکه عصبی مصنوعی، در مقابل مقادیر محاسبه شده توسط نرم‌افزار EPANET بیانگر دقت مناسب مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی می‌باشد.
- ۷- حسن استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی در کنار نرم-افزازی مانند EPANET در طراحی شبکه لوله‌های آبرسانی فضای سبز این است که هرگونه تغییر در سیستم لوله کشی، به سادگی در الگوریتم قابل اعمال است و قبل از اجرا می‌توان نتایج مشخصات جریان را ملاحظه نمود. این کار، سبب صرفه‌جویی در وقت و هزینه خواهد شد.
- ۸- مدل شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده، قابلیت استفاده در سایر شبکه‌های آبرسانی با پیچیدگی بیش‌تر را دارا می‌باشد. در ادامه تحقیق حاضر، استفاده از سایر الگوریتم‌ها از جمله سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی (ANFIS) و ماشین بردار پشتیبان (SVM)، برای پیش‌بینی مشخصات هیدرولیکی جریان در شبکه‌های انتقال آب فضای سبز پیشنهاد می‌شود.

- Kutyłowska, M. 2017. Comparison of two types of artificial neural networks for predicting failure frequency of water conduits. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 61.1: 1-6.
- Rossman, L.A. 1999. *Computer Models/EPANET. Water Distribution Systems Handbook*. McGraw-Hill, New York.
- Rossman, L.A. 2000. *EPANET 2: User's manual*. McGraw-Hill, New York.
- Water distribution network model building, case study: Milano, Italy. *Procedia Engineering*. 119: 573-582.
- Georgescu, A.M., Perju, S., Georgescu, S.C., Anton, A. 2014. Numerical model of a district water distribution system in Bucharest. *Procedia Engineering*. 70: 707-714.
- Kara, S., Karadirek, I.E., Muhammetoglu, A., Muhammetoglu, H. 2016. Hydraulic modeling of a water distribution network in a tourism area with highly varying characteristics. *Procedia Engineering*. 162: 521-529.

## Hydraulic Modeling of Water Supply Network of Green Spaces Using EPANET and Prediction of Hydraulic Characteristics Using Artificial Intelligence

S. Farzin<sup>1\*</sup>, S.F. Mousavi<sup>2</sup>, M.R. Hassanvand<sup>3</sup>, A.H. Salimi<sup>4</sup>, M. Doostmohammadi<sup>5</sup>, M. Boustani<sup>6</sup>

Recived: Oct.14, 2017

Accepted: Des.16, 2017

### Abstract

The occurrence of a problem in each of the water supply network sections due to pressure or velocity fluctuations can cause disruptions in consumers' regular life. To help avoid these problems, proper design and optimal management of the network is very important. In this study, control of water pressure and velocity to prevent problems in the water supply network is investigated, and hydraulic flow characteristics in pipes are predicted by artificial neural network. In this regard, first, by zoning of Kangavar city in Kermanshah province (as a case study), six zones were identified, based on distribution parameters, the water supply network for the green space of the city, for 10-year plan and target population of 95000, according to working pattern of 22 hours per day and per capita green space of 29.6 m<sup>2</sup> at the end of design period was drawn. Then, EPANET software was used to analyze the pressure, velocity and flow in the pipe network. Based on the results, maximum pressure occurred in the 3-3 joint in the third pressure zone, which was about 100 m of water, and maximum velocity in the network was about 1.4 m/s. Also, results showed that the flow rate used for the network is due to the diameter of the pipes and selected paths in different zones in the appropriate range. Subsequently, artificial neural network was trained using the available quantities and the optimal network was selected with a correlation coefficient of 0.87 and 0.85, respectively, for training and testing phases, respectively. Then, the flow velocity and pipe friction-loss were predicted by the optimal network. Results indicated high potential of artificial neural network in analyzing and predicting hydraulic characteristics of water pipe networks.

**Keywords:** Artificial neural network, EPANET, Loss of pressure, Kangavar, Water supply network management

1- Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

2- Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

3,4,5,6- M.Sc. Student, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

(\*-Corresponding Author Email: saeed.farzin@semnan.ac.ir)