

## مدلسازی غلظت تری هالومتان در آب شرب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

محمد جواد ذوقی<sup>۱\*</sup>

[mi\\_zoqi@civilEng.iust.ac.ir](mailto:mi_zoqi@civilEng.iust.ac.ir)

محمد علی جعفری<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۲

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۱۷

### چکیده

در این مطالعه جهت مدل سازی میزان غلظت تری هالومتان در آب شرب، از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. پس از آموزش، شبکه عصبی قادر است براساس مشخصات کیفی آب و میزان غلظت کلر در آب شرب، میزان غلظت تری هالومتان را پیش بینی کند. جهت ارزیابی و تشریح مدل، آب تصفیه خانه سنگر واقع در شهرستان رشت به صورت موردی بررسی شده است. از اندازه گیری های انجام یافته بر روی آب شرب تصفیه خانه سنگر، داده های مورد نیاز، جهت آموزش و تست شبکه عصبی اخذ شده است، آب شرب این تصفیه خانه در سال ۱۳۸۶ و در فصول تابستان و زمستان پایش شده است. پارامتر هدف در شبکه عصبی، میزان غلظت تری هالومتان در آب شرب در نظر گرفته شده است. از بین سیزده نوع الگوریتم پس انتشار، الگوریتم بهینه انتخاب و جهت آموزش شبکه عصبی استفاده شد، و سپس ساختمان بهینه شبکه عصبی تعیین گردید. در این مطالعه شبکه عصبی با الگوریتم Levenberg-Marquardt که دارای هشت نرون در لایه پنهان می باشد، به عنوان شبکه عصبی بهینه انتخاب شده است. با توجه به شاخص های آماری به دست آمده (ضریب همبستگی = ۰/۹۹۷ ، ضریب انحراف معیار = ۶/۴۶۶) و داده های ورودی در نظر گرفته شده، برآورد میزان غلظت تری هالومتان در آب شرب توسط شبکه عصبی از کارایی مناسبی برخوردار است.

**واژه های کلیدی:** شبکه عصبی مصنوعی، غلظت تری هالومتان، غلظت کلر، مشخصات کیفی آب.

۱- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست - عضو هیئت علمی پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی\* (مسئول مکاتبات).

۲- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست - پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی

## مقدمه

جمله هستند (۳). مطالعه ای در کالیفرنیا نشان می دهد، خطر سقط جنین در زنانی که آب حاوی مقادیر بیش تری از ترکیبات پیش ساز کلرزی را مصرف می کردند، ۱۷/۵ درصد بوده، در حالی که در زنانی که آب با مقادیر کمتری از این ترکیبات را مصرف می کردند، خطر سقط جنین به ۹/۵ درصد کاهش می یابد (۴). مطالعات بسیاری در مورد ارتباط بین آب آشامیدنی کلرزی شده و ایجاد سرطان در انسان انجام یافته است، یکی از این تحقیقات، مطالعه انجام گرفته توسط موریس است. بر اساس نتایج این مطالعه فرآورده های جانبی گندزدایی در آب کلرزی شده عامل ۹ درصد از سرطان های مثانه و ۱۵ درصد از سرطان های روده در ایالات متحده هستند (۵). همچنین در مورد ارتباط بین تماس کوتاه مدت با ترکیبات تری هالومتان و سرطان روده و مثانه، گزارش هایی به ثبت رسیده است (۶).

تشکیل ترکیبات تری هالومتان در آب، پس از چند روز و تا وقتی که مواد آلی و کلر آزاد در آب وجود داشته باشد، ادامه می یابد، خاتمه تشکیل تری هالومتان ها در آب، بیانگر مصرف کامل کلر آزاد است. میزان سرعت تشکیل ترکیبات تری هالومتان در آب به عوامل متعددی بستگی دارد که از مهم ترین این عوامل می توان به pH و درجه حرارت آب، زمان تماس بین کلر و مواد آلی، غلظت کلر آزاد، غلظت مواد آلی و مقدار ترکیبات پیش ساز اشاره نمود. به طور کلی مقدار و سرعت تشکیل ترکیبات تری هالومتان در آب با افزایش pH، درجه حرارت، غلظت یون کلر و مقدار TOC افزایش می یابد (۷).

در علوم محیط زیست، از شبکه عصبی به عنوان روشی ساده و انعطاف پذیر جهت تحلیل مسایل غیر خطی استفاده می شود (۸). برخی از کاربردهای شبکه عصبی شامل پیش بینی مقدار غلظت کلر در سیستم آب شهری (۹)، تعیین رابطه بوی فاضلاب و اکسیژن بیولوژیکی مورد نیاز (BOD) (۱۰)، و پیش بینی کیفیت هوا می باشد (۱۱). کارایی مدل های شبکه عصبی در مدل سازی لجن های فاضلاب اثبات شده است (۱۲). همچنین پیش بینی شوری در رودخانه توسط شبکه عصبی با

گندزدایی آب آشامیدنی در جوامع امروز با استفاده از گندزادهایی همچون کلر و بعضی از ترکیبات جانبی آن نظیر دی اکسید کلر و گندزادهایی چون ازن، اشعه ماورای بنفش، پرمنگنات پتاسیم انجام می شود. استفاده از کلر به عنوان یک ضدعفونی کننده مؤثر جهت از بین بردن میکروب های بیماری زا از سابقه ای طولانی در صنعت تصفیه آب برخوردار است. کلر به عنوان یک گندزدای مناسب، بسیاری از بیماری های انسانی همچون وبا، تیفوئید و حصه را حذف نموده و به جهت ارزان بودن نسبی آن در مقایسه با سایر گندزدها، سهولت کاربرد آن و دارا بودن اثر باقیمانده در شبکه هنوز هم متداول ترین گندزدا در دنیا و به خصوص در کشورهای در حال توسعه می باشد. افزایش روز افزون استفاده از کلر در تصفیه آب از یک سو و همچنین وفور مواد آلی طبیعی و مواد آلی ناشی از تخلیه فاضلاب های انسانی و زیر زمینی به آب از سوی دیگر، فرآورده های جانبی را در منابع آب ایجاد می نماید. در اثر واکنش بین کلر و مواد آلی موجود در آب در حدود ۷۸۰ فرآورده جانبی ایجاد می گردد که درصد اصلی آن ها را مواد آلی هالوژنه تشکیل می دهند. در طی فرآیند گندزدایی، کلر آزاد در واکنش با مواد آلی طبیعی موجود در آب خام، فرآورده های جانبی ایجاد می نماید که از جمله مهم ترین این فرآورده ها می توان به ترکیبات تری هالومتان<sup>۱</sup> (THMs) اشاره نمود (۱). ترکیبات تری هالومتان در آب شرب کلرزی شده، دارای گستردگی فراوانی است، مهم ترین ترکیبات این دسته عبارتند از: کلروفرم، بروموفرم، دی کلروبرومتان، دی برمکلرومتان (۲).

مطالعات اپیدمیولوژیکی اخیر نشان داده که THMs دارای اثرات منفی زیادی همچون سقط جنین ناگهانی، نقایص هنگام تولد و زایمان جنین مرده هستند. اثرات دیگری نیز در مورد THMs و به خصوص کلروفرم گزارش گردیده است که تأثیر بر قابلیت تولید مثل، خاصیت بروز ناهنجاری های مادر زادی، آسیب به ارگان های خاص بدن مانند کبد و کلیه، آسیب به سیستم عصبی و بروز اثرات سوء در سیستم گردش خون، از آن

خروجی و هدف، انتخاب می شود. دوم، مشخصات کیفی آب و میزان غلظت کلر در آب شرب به عنوان داده های ورودی شبکه عصبی قرار می گیرد و با استفاده از شبکه عصبی بهینه، میزان غلظت THMs در آب شرب تخمین زده می شود.

در این مطالعه از شبکه عصبی با یک لایه پنهان استفاده شده است. لایه پنهان دارای تابع انتقال سیگموئید و لایه خروجی دارای تابع خطی می باشد. این شبکه عصبی دارای k پارامتر ورودی و یک خروجی می باشد. پارامترهای ورودی با توجه به داده های جمع آوری شده و تعداد نرون های لایه پنهان با آزمون و خطا، تعیین می شود.

### ۳- مطالعه موردی

برای آموزش و تست شبکه عصبی در این مطالعه، تصفیه خانه سنگر به طور موردی، بررسی شده و داده های مربوط به مشخصات کیفی آب، میزان غلظت کلر و تری هالومتان در آب شرب اندازه گیری شده است. آب تصفیه خانه سنگر از رودخانه سفیدرود و تعداد زیادی چاه عمیق که در اطراف شهر رشت قرار دارند، تأمین می گردد و پس از تصفیه به مصرف شهروندان شهر رشت و تعدادی از شهرهای استان گیلان می رسد. در این تحقیق غلظت تری هالومتان ها با دستگاه گاز کروماتوگرافی با آشکارساز ربایش الکترون (ECD: Electron capture detector) مدل 14A ساخت شرکت شیماتسو ژاپن اندازه گیری شد. برای آنالیز نمونه ها نیز از آزمایشگاه پژوهشکده اکولوژی دریای خزر واقع در خزر آباد ساری استفاده گردید. ظروف نمونه برداری از جنس پت انتخاب و عمل نمونه برداری به گونه ای انجام یافت که نمونه های برداشت شده از هر جهت بیانگر نمونه واقعی باشند و جهت جداسازی تری هالومتان ها از حلال هگزان استفاده شد. اندازه گیری مشخصات کیفی آب، غلظت کلر باقی مانده و تری هالومتان، مطابق استاندارد متد آنالیز آب و فاضلاب (ویرایش شانزدهم) انجام یافته است (۱۶). عملیات نمونه برداری در طول دو فصل گرم و سرد سال انجام گرفت، زیرا با بررسی مطالعات پیشین، پیش بینی می شود که مقدار پیش ساز های تری هالومتان با تغییرات درجه حرارت و اقلیم منطقه رابطه محسوسی دارد.

کارایی بالا انجام یافته است (۱۳) کاربردهای مشابه از شبکه عصبی مصنوعی در زمینه مهندسی محیط زیست وجود دارد، که نشان دهنده پتانسیل بالای این مدل در مدیریت زیست محیطی است.

با وجود این، کوشش زیادی برای استفاده از شبکه عصبی در پیش بینی غلظت THMs، با توجه به مشخصات کیفی آب و میزان غلظت کلر، صورت نگرفته است. هدف این مطالعه، استفاده از شبکه عصبی مصنوعی جهت ارزیابی و برآورد میزان غلظت THMs در آب شرب می باشد.

### ۲- تشریح شبکه عصبی مصنوعی

آموزش در شبکه عصبی مصنوعی بر اساس الگوریتم های مختلف صورت می گیرد، یکی از انواع الگوریتم ها الگوریتم پس انتشار است. الگوریتم پس انتشار از توابع ورودی و توابع متناظر هدف، برای آموزش شبکه عصبی استفاده می کند. شبکه عصبی با تابع انتقال سیگموئید در لایه پنهان و تابع انتقال خطی در لایه خروجی، قادر به تقریب هر تابع پیچیده ای می باشد (۱۴). در الگوریتم پس انتشار داده خروجی با داده هدف مقایسه و میزان خطا محاسبه می شود، سپس خطای محاسبه شده به لایه های پیشین انتقال می یابد و ضرایب وزنی اصلاح می گردد (۱۵).

الگوریتم پس انتشار دارای چندین زیر گروه است که هر یک دارای تکنیک های بهینه سازی متفاوت هستند. روش هایی مانند نیوتن و گرادیان توام<sup>۱</sup> جزء این زیرگروه ها می باشند. در شبکه عصبی زمانی که خروجی داده های ورودی با داده هدف همسان و شبیه باشد، آموزش به درستی انجام یافته است. در شبکه عصبی با آموزش مناسب، نتایج پیش بینی کارایی بالایی خواهد داشت.

روش پیشنهادی در این مطالعه جهت انتخاب و آموزش مناسب شبکه عصبی دارای مراحل زیر می باشد. نخست، بهترین الگوریتم پس انتشار برای داده های جمع آوری شده و ساختمان بهینه شبکه عصبی جهت کاهش خطای بین مقادیر

## ۴- تشریح پارامترهای شبکه عصبی

در مجموع ۴ پارامتر ورودی برای شبکه عصبی در نظر گرفته شده که جهت تخمین دقیق میزان غلظت THMs در آب شرب ضروری می باشد. داده های ورودی و خروجی شبکه عصبی در جدول ۱ نمایش داده شده است. داده های مربوط به

مشخصات کیفی آب، میزان غلظت کلر و THMs در آب شرب با توجه به آزمایش های انجام یافته بر روی آب تصفیه خانه سنگر به دست آمده است. داده های موجود به ماتریس های P و T تقسیم شده است. ماتریس P پارامترهای ورودی و ماتریس T پارامتر هدف شبکه عصبی را در بر می گیرد.

جدول ۱. پارامترهای ورودی و خروجی مدل

|                                     |                      |
|-------------------------------------|----------------------|
|                                     | پارامترهای ورودی [P] |
| دما آب (C°)                         | [P <sub>1</sub> ]    |
| pH                                  | [P <sub>2</sub> ]    |
| غلظت کلر باقی مانده در آب شرب (ppm) | [P <sub>3</sub> ]    |
| غلظت مواد آلی در آب شرب (ppm)       | [P <sub>4</sub> ]    |
|                                     | پارامتر خروجی [T]    |
| میزان غلظت THMs در آب شرب (ppb)     | [T]                  |

در آزمایش های انجام یافته بر روی تصفیه خانه سنگر، مشخصات کیفی آب، میزان غلظت کلر و THMs در آب شرب، در ۶۰ روز مختلف از فصل های تابستان و زمستان سال ۱۳۸۶ اندازه گیری شده است. بنابراین تعداد کل نمونه های مورد استفاده در شبکه عصبی ۶۰ عدد است که مربوط به دو فصل مختلف می باشد. داده های به دست آمده به دو زیر مجموعه آموزش و تست تقسیم شد که ۴۰ عدد از آن ها جهت آموزش، و ۲۰ نمونه باقی مانده، جهت تست شبکه عصبی استفاده شد.

## ۴-۱- دمای آب

یکی از عوامل مؤثر در میزان تشکیل ترکیبات تری هالومتان در آب آشامیدنی، میزان درجه حرارت آب می باشد. طبق مطالعه انجام یافته بر روی دو نمونه مشابه، نشان داده شده است که در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و بعد از ۱۰۰ ساعت، غلظت کلروفرم به ۱۰۰ میکروگرم در لیتر و در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد و پس از همین مدت زمان غلظت کلروفرم به ۲۴۰ میکروگرم در لیتر می رسد، این مطلب نشان دهنده نقش درجه

حرارت در افزایش غلظت ترکیبات تری هالومتان می باشد (۱۷).

دما علاوه بر اثرات مستقیم، به صورت غیر مستقیم نیز بر غلظت تری هالومتان موجود در آب شرب مؤثر است. در فصول گرم سال غلظت تری هالومتان موجود در آب شرب، بیش تر از فصول سرد می باشد، زیرا مقدار مواد آلی طبیعی آب در فصل زمستان کم تر از فصل تابستان بوده و همچنین در فصل زمستان مقدار کلر کم تری برای گندزدایی آب مورد نیاز است (۱۷). ارتباط بین تشکیل تری هالومتان ها و درجه حرارت غیرخطی است و درجه حرارت بحرانی برای تشکیل ترکیبات تری هالومتان، ۱۸/۹۷ درجه سانتی گراد می باشد. با نزدیک شدن درجه حرارت به درجه حرارت بحرانی، مقدار تشکیل تری هالومتان ها افزایش می یابد (۲).

## ۴-۲- pH

هرچه pH آب قلیایی تر باشد، محیط برای تشکیل تری هالومتان ها مناسب تر است، یعنی بین تشکیل تری هالومتان

همچنین غلظت بیش تری از مواد آلی جهت انجام واکنش با کلر در دسترس خواهد بود. در نتیجه واکنش مواد آلی با کلر با شدت بیش تری صورت می گیرد و مقدار تشکیل ترکیبات تری هالومتان در آب افزایش می یابد. بنابراین پتانسیل تشکیل ترکیبات تری هالومتان با غلظت مواد آلی موجود در آب رابطه مستقیم دارد (۱۷). ارتباط بین تشکیل تری هالومتان ها و غلظت مواد آلی به صورت غیر خطی می باشد (۱۸).

#### ۵- انتخاب الگوریتم پس انتشار

شبکه عصبی با الگوریتم پس انتشار به یک وسیله مناسب جهت مدل سازی سیستم های زیست محیطی، تبدیل شده است (۱۳). جهت انتخاب الگوریتم پس انتشار بهینه، سیزده الگوریتم پس انتشار با یکدیگر مقایسه شده و از بین آن ها بهترین الگوریتم پس انتشار برای داده های جمع آوری شده، انتخاب می شود. در تمام الگوریتم ها، شبکه عصبی دارای یک لایه پنهان با ۱۰ نرون و تابع انتقال سیگموئید و لایه خروجی با تابع انتقال خطی می باشد. نرخ یادگیری، با توجه به ساختار و کاربرد شبکه عصبی، نقش مهمی در همگرایی شبکه عصبی دارد. از پارامتر نرخ یادگیری، می توان برای جلوگیری از ایجاد کمینه محلی در شبکه عصبی و دستیابی به کمینه مطلق استفاده کرد (۱۹). اگر نرخ یادگیری مقدار زیادی انتخاب شود، الگوریتم ناپایدار خواهد شد. اگر نرخ یادگیری مقدار کمی انتخاب شود، الگوریتم در مدت زمان طولانی همگرا می شود و در نتیجه مدت آموزش افزایش می یابد. یکی دیگر از پارامترهای شبکه عصبی مومنتوم است. این پارامتر میزان تغییرات ضرایب وزنی را تعیین می کند. بدون مومنتوم، شبکه عصبی در کمینه های محلی کم عمق، گرفتار می شود (۱۴). در این مطالعه نرخ یادگیری و مومنتوم به ترتیب، ۰/۱ و ۰/۹ انتخاب شده است.

نتایج آموزش شبکه عصبی، با الگوریتم های مختلف پس انتشار در این مطالعه، در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. بهترین الگوریتم پس انتشار، با کم ترین خطا در آموزش، الگوریتم Levenberg-Marquardt می باشد.

ها و pH آب رابطه مستقیم وجود دارد. با بالا رفتن pH، واکنش تشکیل هالوفرم به صورت کلاسیک تسریع می شود و این تعبیری ساده برای این پدیده می باشد، زیرا ساختمان اسیدهای هومیک به صورت کمپلکس های پیچیده می باشد. با افزایش pH، ساده ترین متیل کتون یعنی استون بیش تر وارد واکنش می شود، بر این اساس اسیدهای هومیک که گروه های فعال بیش تری نسبت به استون دارند، در pH بالاتر واکنش بیش تری نشان می دهند که علت آن، فعال تر شدن گروه های استیل است. اغلب مواد ازت دار و مواد فعال شده حلقوی در pH بالا، کلروفورم بیش تری تولید می کنند (۱۷).

ارتباط بین غلظت تری هالومتان و میزان pH غیر خطی می باشد. کاهش pH، منجر به کاهش تری هالومتان می شود و به طور مشابه افزایش pH منجر به افزایش تشکیل تری هالومتان می گردد و این تاثیر به غلظت HOCl وابسته است (۱۸).

#### ۳-۴- غلظت کلر باقیمانده در آب

برحسب این که برای گندزدائی آب آشامیدنی از کدام ضد عفونی کننده استفاده شود، تشکیل یا عدم تشکیل ترکیبات تری هالومتان و غلظت آن ها در آب متفاوت خواهد بود. مشکل تولید فرآورده های جانبی در فرآیند گندزدایی با پرتو فرابنفش مطرح نمی باشد و در استفاده از آن با اهمیت بسیار کم تری عنوان شده است. با افزایش غلظت کلر به عنوان ماده ضد عفونی کننده، غلظت تری هالومتان ها در آب آشامیدنی افزایش می یابد (۷). افزودن کلر به آب منجر به تشکیل اسیدهیپوکلرو (HOCl) و یون هیپوکلرید (OCI) می گردد. تشکیل این ترکیبات به pH وابسته است. در حالت اسیدی، اسیدهیپوکلرو و در حالت قلیایی، یون هیپوکلرید غالب است. تشکیل یون هیپوکلرید و اسیدهیپوکلرو، عامل تشکیل ترکیبات تری هالومتان در آب آشامیدنی می باشد (۱۸).

#### ۴-۴- غلظت مواد آلی در آب

از دیگر عوامل تأثیرگذار بر پتانسیل تشکیل ترکیبات تری هالومتان در آب آشامیدنی، غلظت مواد آلی موجود در آب می باشد. هرچه غلظت ماده آلی موجود در آب بیش تر باشد، مقدار کلر بیش تری برای گندزدایی آب مورد نیاز خواهد بود و

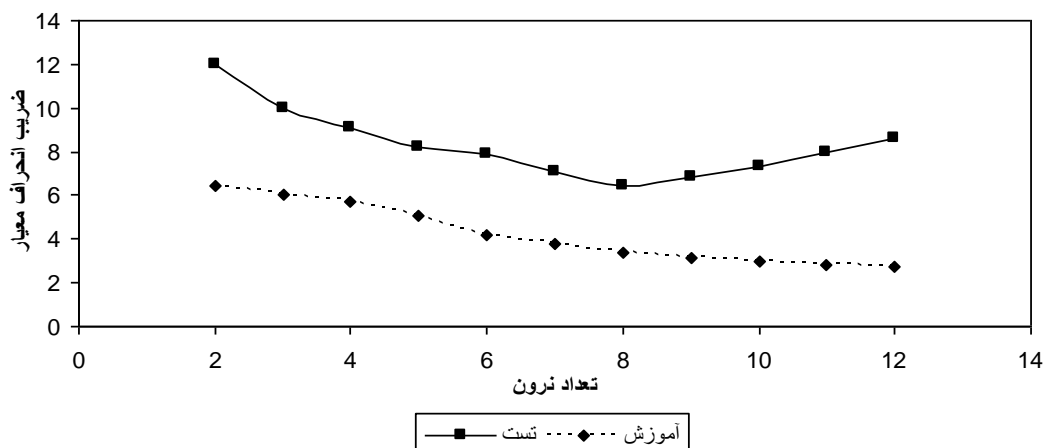
جدول ۲- مقایسه کارایی الگوریتم های پس انتشار

| الگوریتم های پس انتشار  | ضریب انحراف معیار (RMSE) | ضریب همبستگی (R) |
|---|--------------------------|------------------|
| Levenberg-Marquardt backpropagation                             | ۷/۱۱۴                    | ۰/۹۸۳            |
| BFGS quasi-Newton backpropagation                               | ۸/۲۱۱                    | ۰/۹۶۶            |
| Powell-Beale conjugate gradient backpropagation                 | ۹/۸۱۷                    | ۰/۹۷۴            |
| One step secant backpropagation                                 | ۱۰/۲۶۵                   | ۰/۹۲۱            |
| Resilient backpropagation                                       | ۱۰/۵۶۸                   | ۰/۹۱۴            |
| Fletcher-Powell conjugate gradient backpropagation              | ۱۰/۹۷۱                   | ۰/۹۸۳            |
| Scaled conjugate gradient backpropagation                       | ۱۱/۲۳۷                   | ۰/۹۳۵            |
| Polak-Ribiere conjugate gradient backpropagation                | ۱۲/۱۵۷                   | ۰/۸۹۲            |
| Gradient descent with adaptive lr. backpropagation              | ۱۲/۶۷۵                   | ۰/۸۹۴            |
| Batch training with weight and bias learning rules              | ۱۳/۵۷۳                   | ۰/۶۸۳            |
| Gradient descent backpropagation                                | ۱۴/۶۷۹                   | ۰/۷۲۶            |
| Gradient descent with momentum backpropagation                  | ۱۴/۹۸۶                   | ۰/۷۴۱            |
| Gradient descent with momentum and adaptive lr. backpropagation | ۱۵/۲۹۲                   | ۰/۷۵۱            |

## ۶- انتخاب ساختمان شبکه عصبی

یکی از مهم ترین وظایف محققان، بهینه سازی شبکه عصبی است که با آزمون روش های مختلف به دست می آید (۲۰). بهینه سازی تعداد نرون ها برای الگوریتم پس انتشار Levenberg-Marquardt، در این مطالعه انجام یافته است. شبکه عصبی استفاده شده در این مطالعه دارای یک لایه پنهان

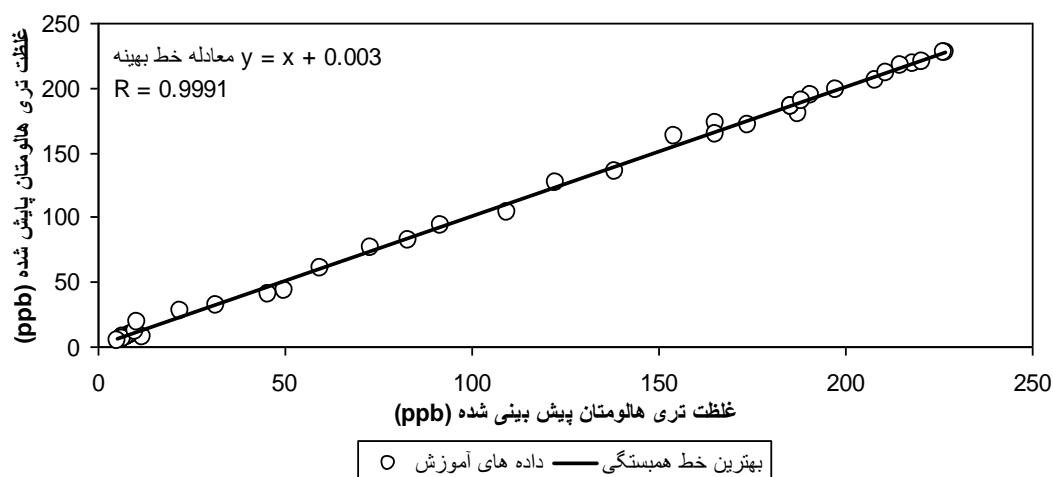
است. در داده های آموزش با افزایش نرون در لایه پنهان، ضریب انحراف معیار کاهش می یابد. در حالی که اگر تعداد نرون های لایه پنهان، بیش از ۸ عدد باشد، ضریب انحراف معیار در داده های تست افزایش می یابد. تغییرات ضریب انحراف معیار در نمودار ۱ نشان داده شده است.



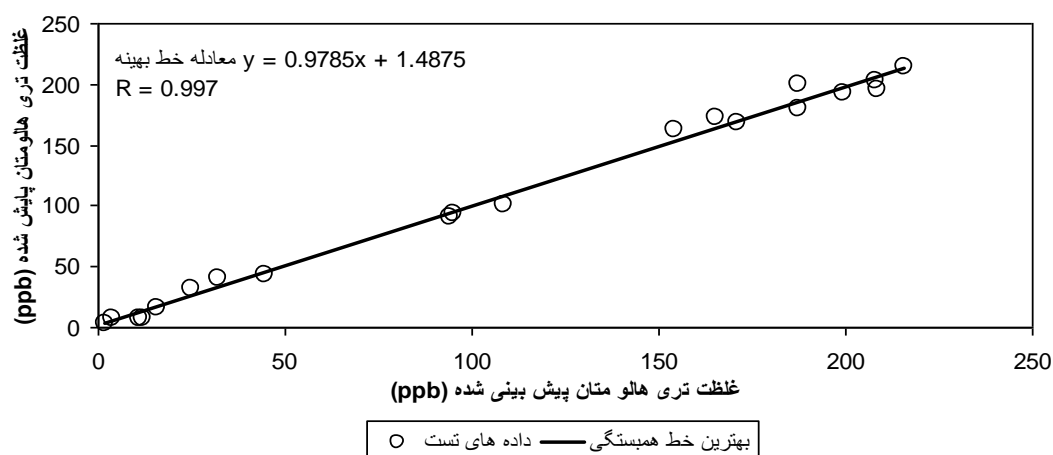
نمودار ۱- ضریب انحراف معیار بین مقادیر پایش شده و مقادیر پیش بینی شده بوسیله شبکه های عصبی مختلف

جهت ارزیابی شبکه عصبی انتخاب شده، یک تحلیل رگرسیون بین داده های خروجی و داده های پایش شده، انجام یافته است. نمودار ۲ و ۳، رگرسیون خطی بین نتایج خروجی از شبکه عصبی و نتایج پایش شده را به ترتیب در داده های آموزش و تست نشان می دهد. مقدار ضریب همبستگی (R) در شبکه عصبی بهینه، برای داده های آموزش و تست، به ترتیب برابر ۰/۹۹۹۱ و ۰/۹۹۷ می باشد و ضریب انحراف معیار (RMSE) به ترتیب برابر ۳/۴۵۱ و ۶/۴۶۶ است.

این افزایش، نشان دهنده آموزش بیش اندازه شبکه عصبی است. چنانچه تعداد نرون ها از حد مشخصی افزایش یابد، شبکه عصبی به جای آموزش اقدام به حفظ داده ها می کند. لذا ضریب انحراف معیار در داده های آموزش کاهش و در داده های تست افزایش می یابد. با توجه به نکات بالا، تعداد نرون بهینه در این مطالعه، ۸ عدد انتخاب می شود. شبکه عصبی بهینه در این مطالعه، دارای الگوریتم پس انتشار Marquardt-Levenberg، یک لایه پنهان دارای ۸ نرون و تابع انتقال سیگموئید و یک لایه خروجی همراه با تابع انتقال خطی می باشد.



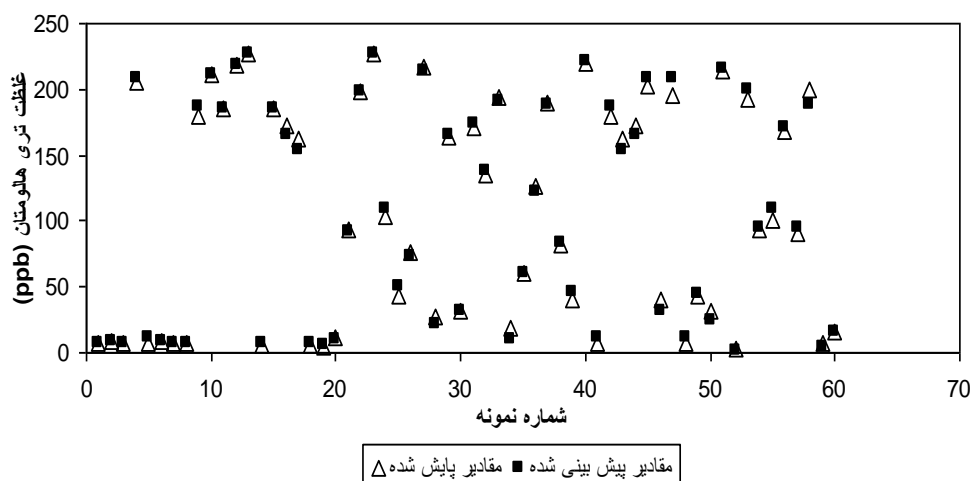
نمودار ۲- رگرسیون خطی بین نتایج حاصل از پایش و پایش بینی در داده های آموزش



نمودار ۳- رگرسیون خطی بین نتایج حاصل از پایش و پایش بینی در داده های تست

آب و غلظت کلر بر تولید تری هالومتان در آب شرب را درک و به خوبی مدل کرده است. لذا با توجه به نمودار ۴ و شاخص های آماری، شبکه عصبی انتخاب شده، کارایی بالایی در برآورد میزان غلظت تری هالومتان دارد.

کارایی شبکه عصبی در برآورد غلظت تری هالومتان در آب شرب در نمودار ۴، نشان داده شده است. همان طور که در نمودار مشخص است، میزان غلظت تری هالومتان در نمونه های مختلف دارای تغییرات محسوسی می باشد. نتایج پیش بینی نشان می دهد که شبکه عصبی میزان تاثیر مشخصات کیفی



نمودار ۴- غلظت تری هالومتان پایش شده و پیش بینی شده در ۶۰ نمونه آزمایشی

## ۷- نتیجه گیری

روش پیشنهادی می تواند با کارایی بالا (ضریب همبستگی = ۰/۹۹۷، ضریب انحراف معیار = ۶/۴۶۶)، میزان غلظت تری هالومتان در آب شرب را برآورد کند. با توجه به کارایی و سهولت استفاده از روش پیشنهادی و همچنین در دسترس بودن داده های ورودی می توان از این روش جهت مدیریت و برآورد میزان غلظت تری هالومتان در فصول مختلف سال و کاهش صدمات انسانی این ترکیب استفاده کرد.

## منابع

۱. صمدی، محمدتقی و همکاران، بهار ۱۳۸۵. "بررسی مقایسه ای حذف تری هالومتان ها از آب شرب با ستون آکنده زدایش با هوا و نانوفیلتراسیون"، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۷.
2. Garcia-Villanova, R.J., Garcia, C., Gomez, A., Paz Garcia, M., & Ardanuy, R. (1997). Formation, evolution, and modeling of

در این مطالعه، مدلی بر پایه شبکه عصبی مصنوعی جهت برآورد غلظت تری هالومتان در آب شرب، مورد بررسی قرار گرفت. از شبکه عصبی با پرکاربردترین الگوریتم (الگوریتم پس انتشار)، جهت درک و مدل سازی روابط بین مشخصات کیفی آب شرب و غلظت تری هالومتان استفاده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، شبکه عصبی روشی آسان و انعطاف پذیر جهت برآورد میزان غلظت تری هالومتان در آب شرب است. جهت آموزش و اعتبار سنجی شبکه عصبی، از اندازه گیری های انجام یافته بر روی آب شرب تصفیه خانه سنگر، به عنوان منبع داده ها استفاده شده است. از بین سیزده الگوریتم پس انتشار، الگوریتم Levenberg-Marquardt به عنوان الگوریتم بهینه انتخاب شده است. ساختمان بهینه شبکه عصبی تعیین گردید، و شبکه عصبی دارای یک لایه پنهان با تابع انتقال سیگموئید و یک لایه خروجی با تابع انتقال خطی مورد استفاده قرار گرفت. تعداد نرون های در لایه پنهان شبکه عصبی بهینه، ۸ نرون انتخاب شد.



- relationship between sewage odour and BOD by neural networks. *Environmental Modelling & Software* 20 (7), 843-850.
11. Kolehmainen, M., Martikainen, H., Ruuskanen, J., 2001. Neural networks and periodic components used in air quality forecasting. *Atmospheric Environment* 35: 815-825.
  12. Holubar, P., Zani, L., Hager, M., Froöschl, W., Radak, Z., Braun, R., 2002. Advanced controlling of anaerobic digestion by means of hierarchical neural networks. *Water Research* 36, 2582-2588.
  13. Maier, H.R., Dandy, G.C., 1998. Understanding the behaviour and optimising the performance of back-propagation neural networks: an empirical study. *Environmental Modelling & Software* 13 (2), 179-191.
  14. Hagan, M.T., Demuth, H.B., Beale, M.H., 1996. *Neural Network Design*. PWS Publishing, Boston, MA.
  15. Abdi, H., Valentin, D., Edelman, B., O'Toole, A.J., 1996. A Widrow-Hoff learning rule for a generalization of the linear auto-associator. *Journal of Mathematical Psychology* 40 (2), 175-182.
  16. A.P.H.A., A.W.W.A. & W.P.C.F., 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 16th edition. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, Washington, D.C.
۱۷. حاج کاظمی ها، نرگس. ۱۳۷۹. "بررسی وضعیت کدورت، pH، کلر باقیمانده و تری هالومتانها در آب استخرهای شنای دائمی در سطح تهران"، پایان نامه
- trihalomethane in the drinking water of a town: I. At the municipal treatment utilities. *Water Research*, 31 (6), 1229-1308.
3. Hsu, Ching-Hung, Woei-Lih Jeng, Ruey-Mai Chang, Ling-Chu Chien, and Bor-Cheng Han., (2001). "Estimation of potential lifetime cancer risks for trihalomethane from consuming chlorinated drinking water in Taiwan" *J. Environment Research*, 85, 77-82
  4. W. Elshorbagy., 2000. Kinetics of THM species in finished water, *J. Water Resource Planning and Management* 126(1) 21-28.
  ۵. غنی زاده، قادر و نقی ئی، محمدرضا. ۱۳۸۲. "پیمادهای بارداری ناشی از مصرف آب شرب حاوی ترکیبات آلی کلره"، مجموعه مقالات ششمین همایش بهداشت محیط
  6. World Health Organization, Geneva. 1984. *World Health Organization, Guidelines for Drinking Water Quality, Vol. 2: Health Criteria and Other Supporting Information*
  ۷. ناصری، سیمین. ۱۳۷۵. "فرآورده های جانبی کلرزی و روشهای کاهش آنها"، مجله آب و محیط زیست، شماره ۴.
  8. Bestamin, O., Ahmet, D., 2007. Neural network prediction model for methane fraction in biogas from field scale landfill bioreactors. *Environmental Modelling & Software* 22: 815-822.
  9. Rodriguez, M.J., Se´rodes, J.B., 1999. Assessing empirical linear and non-linear modelling of residual chlorine in urban drinking water systems. *Environmental Modelling & Software* 14 (1), 93-102.
  10. Onkal-Engin, G., Demir, I., Engin, S.N., 2005. Determination of the

performance using artificial neural networks. *Environmental Modelling & Software* 19 (10), 919-928.

20. Almasri, M.N., Kaluarachchi, J.J., 2005. Modular neural networks to predict the nitrate distribution in ground water using the onground nitrogen loading and recharge data. *Environmental Modelling & Software* 20 (7), 851- 871.
- کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست دانشگاه علوم و تحقیقات تهران.
18. Md. Pauzi Abdullah, C.H. yew, Mohamad Salleh bin Ramli., 2003. "Formation, modeling and validation of trihalomethanes in Malaysian drinking water: a case study in the districts of Tampin, Negeri Sembilanand Sabak Bernam, Selangor", *water research* 37 4637-4644.
19. Hamed, M.M., Khalafallah, M.G., Hassanien, E.A., 2004. Prediction of wastewater treatment plant