محیط شناسی، سال سی و هفتم، شمارهٔ ۶۰، زمستان ۹۰، صفحهٔ ۱۲۹-۱۳۶

ارائهٔ الگوی عملکرد صافی‌های تحت فشار با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و تعیین میزان کدورت بهینهٔ مرتبط با حذف باکتری‌ها

گاگیک بدلیانس قلی‌کندی*[1]، حسین حضرتی[2]، هادی رستمیان[3]

۱-دانشیار دانشکدهٔ مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

۲-کارشناس ارشد مهندسی شیمی- محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف h_hazrati1364@yahoo.com

۳-کارشناس ارشد مهندسی آب و فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب سمنان info@sww.ir

تاریخ دریافت :۸۸/۲/۷ تاریخ پذیرش:۹۰/۳/۳۰

چکیده

یکی از مبانی اساسی و ضروری در طراحی و بهره‌برداری صحیح از واحدهای مختلف تأسیسات تصفیه‌خانه‌های آب، ارزیابی و پیش‌بینی دقیق عملکرد آن واحدها تحت شرایط مختلف است. در این تحقیق علاوه بر ارائهٔ الگویی برای پیش‌بینی عملکرد صافی‌های تحت فشار در حذف کدورت، رابطهٔ میزان کدورت در بار سطحی بهینه و درصد حذف باکتری بررسی شده است. اهداف مد نظر شامل: ۱) بررسی‌های آزمایشگاهی پیرامون عملکرد صافی‌های تحت فشار در حذف کدورت تحت شرایط مختلف از جمله تغییر کدورت ورودی، نرخ فیلتراسیون و فشار فیلتر، ۲) تجزیه‌وتحلیل آماری نتایج استخراج شده و تعیین حداقل و حداکثر کدورت محتمل خروجی از صافی، ۳) استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور ارائهٔ الگویی مناسب در تعیین عملکرد صافی مورد نظر در حذف کدورت، ۴) تعیین شاخص‌های الگوی مورد نظر به منظور استفاده در تعیین عملکرد صافی‌های مشابه، ۵) تعیین بهترین میزان کدورت و بار برای رسیدن به بیشترین حذف کلیفرم و کل باکتری، است. برای دسترسی به اهداف تعیین شده، ضمن ساخت پایلوت مناسب، نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های لازم بر روی ۱۳۰۰ نمونه صورت پذیرفت و سپس بر اساس محاسبات و تجزیه‌وتحلیل‌های آماری، حداقل و حداکثر کدورت محتمل خروجی از صافی تحت شرایط مختلف تعیین شد. در نهایت و بر اساس نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل‌های مورد نظر، ضمن بررسی ساختارهای مختلفی از شبکه‌های عصبی مصنوعی، بهترین ساختار تعیین و شاخص‌های آن به‌عنوان یکی از اهداف مهم تحقیق حاضر برای استفاده در موارد مشابه ارائه شد.

کلید واژه

صافی‌های تحت فشار، کدورت آب، شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل‌سازی صافی‌ها، حذف باکتری‌ها

سرآغاز

شبکه‌های عصبی که از سیستم‌های عصبی زیستی الهام گرفته شده‌اند، از عناصر عملیاتی ساده‌ای به صورت موازی ساخته می‌شوند. در طبیعت، ساختار شبکه‌های عصبی از طریق نحوهٔ اتصال بین اجزا تعیین می‌شوند.درنتیجه ما می‌توانیم یک ساختار مصنوعی به تبعیت از شبکه‌های طبیعی ساخته و با تنظیم مقادیر هر اتصال تحت عنوان وزن اتصال، نحوهٔ ارتباط بین اجزای آن را تعیین کنیم. پس از تنظیم یا همان آموزش شبکه عصبی، اعمال یک ورودی خاص به آن، منجر به دریافت پاسخ خاص می‌شود. شبکه بر مبنای تطابق و هم‌سنجی بین ورودی و هدف، سازگار می‌شود تا این‌که خروجی شبکه و هدف بر هم منطبق شوند (کیا، ۱۳۸۷ و Krose, et al.,1996). با توجه به این‌که تحقیقات کمتری در مورد عملکرد صافی‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام پذیرفته است، لازم به نظر می‌رسد عملکرد صافی‌ها با استفاده از این روش بررسی شود. همچنین با توجه به اینکه میزان باکتری‌ها یکی از مهمترین مشخصه‌ها برای تعیین کیفیت آب خروجی از فیلتر است، بنابراین بهترین مقدار کدورت و بار سطحی به‌منظور حذف بیشتر آنها بررسی شد. عوامل محیطی و غیرمحیطی مختلفی بر عملکرد صافی‌ها تأثیر گذارند که از مهمترین این عوامل می‌توان به درجه حرارت آب، غلظت مواد معلق (کدورت آب)، کیفیت چسبندگی ذرات، اندازه و نوع ذرات معلق موجود در آب، ارتفاع بستر، اندازهٔ ذرات بستر و تخلخل آنها، نازل‌ها، میزان افت هد، ارتفاع آب (فشار) و غیره اشاره کرد (Huisman, 1986 and Schweiker, et al., 2001). صافی‌های تحت فشار، به‌عنوان یکی از گزینه‌های

نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۱۴۳۰۲۰۹ E-Mail: g.badalians@yahoo.com

فیلتراسیون، دارای مزایایی همچون سرعت بالای تصفیه، حجم اشغالی کمتر، هزینه پایین و افت حرارتی کم، هستند. بدنه این صافی‌ها معمولاً فلزی بوده و به‌صورت استوانه‌ای شکل و به دو صورت افقی و عمودی استفاده می‌شوند. مهمترین تفاوت بین صافی‌های ثقلی و تحت فشار عبارت از فشار مورد نیاز برای راندن آب به میان لایه‌های صافی و گذر از آن و نیز تفاوت در نوع محفظهٔ استفاده شده برای صافی‌هاست (Schweiker, et al., 2001). هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی عملکرد صافی‌های تحت فشار در حذف کدورت آب براساس متغیرهای مختلفی از جمله کدورت‌های متفاوت، نرخ‌های فیلتراسیون متنوع و فشارهای مختلف و نیز استفاده از نتایج بررسی در ارائهٔ الگوی شبکهٔ عصبی مصنوعی به‌عنوان ابزاری قدرتمند در پیش‌بینی عملکرد پایلوت‌های آزمایشگاهی از جمله نتایج عملکرد صافی‌هاست.

طبق بررسی‌های انجام شده، در گذشته تحقیقات محدودی در زمینهٔ ارائهٔ الگوی شبکه‌های عصبی در زمینهٔ کیفیت آب انجام شده است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات کریشنایا و همکارانش در زمینهٔ ارائهٔ الگو برای میزان کدورت آب و باکستر و همکارانش در زمینهٔ ارائهٔ الگو برای فرایندهای عملیات بر روی تصفیه آب اشاره کرد (Krishnaiah, et al., 2007; Baxter, et al., 2001). می‌توان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، زمان اپتیمم مورد نیاز فرایندهای کواگولاسیون، لخته سازی و ته‌نشین سازی در تصفیه آب را که ماهیت فیزیکی و شیمیایی دارند ومشخصهٔ مهمی در این فرایندها هستند،به آسانی پیش‌بینی کرد، (Guan and Shang, 2008).

با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی مدل‌های رضایت بخشی در سیستم‌های تصفیه فاضلاب رشد معلق توسعه داده شده است. علت استفاده از صافی‌های تحت فشار برای انجام این تحقیق، عدم انجام تحقیقات زیاد بر روی این صافی‌ها در گذشته و لزوم بررسی عملکرد آنها براساس متغیرهای مختلف به‌صورت همزمان بوده است که در این تحقیق علاوه بر آنها و برای کاربردی کردن نتایج تحقیق، از شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز در مدل‌سازی نتایج و ارائهٔ الگوی مناسب استفاده شد که به‌عنوان یکی از بخش‌های مهم تحقیق به آن پرداخته خواهد شد.

مواد و روشها

در این بخش از تحقیق ضمن ارائهٔ مطالبی در مورد صافی مورد استفاده و مشخصات آن، مشخصات نمونه‌های آب ورودی به صافی و خروجی از آن ارائه شده و برنامهٔ شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌عنوان یکی از بخش‌های مهم و چگونگی استفاده از آن در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت بهترین میزان کدورت از لحاظ حذف باکتری‌ها بررسی شده است.

صافی مورد استفاده

برای انجام تحقیق حاضر از یک پایلوت تحت فشار با سطح دایره و با جنس فلزی و به ضخامت ۴ میلیمتر استفاده شد. قبل از استفاده از صافی، سطح داخلی آن با دو لایهٔ اپوکسی، رنگ آمیزی و سپس کلیهٔ لوازم مکانیکی از جمله لوله های ورودی و خروجی، شیرآلات، فشارسنج، نازل‌ها و غیره در محل مناسب نصب گردید.

در جدول شماره (۱) مشخصات صافی مورد مطالعه نشان داده شده است. هم چنین در جدول شماره (۲) مشخصات لایه‌های سیلیس مورد استفاده در صافی درج شده است (رستمیان، ۱۳۸۴).

جدول شمارهٔ (۱): مشخصات صافی مورد استفاده در تحقیق

آیتم	واحد	مقدار
قطر صافی	سانتیمتر	۶۰
جنس صافی	–	فولادی
ارتفاع بستر	سانتیمتر	۱۰۵
جنس بستر	–	سیلیس
ارتفاع کل صافی	سانتیمتر	۱۴۰
ماکزیمم فشار	متر	۳۰
افت فشار مجاز	متر	۲-۴
تعداد نازل در هر مترمربع	عدد	۵۰

مشخصات نمونه‌ها

متغیرهای اصلی این تحقیق، کدورت ورودی به صافی، نرخ فیلتراسیون و فشار ورودی به صافیست. آب ورودی به صافی با کدورت‌های مختلف و دبی‌های متفاوت.و تحت فشارهای کاربردی مورد بررسی قرار گرفت. مشخصات متغیرهای مورد آزمایش صافی در جدول شماره (۳) درج شده است (رستمیان، ۱۳۸۴).

جدول شمارهٔ (۲): مشخصات لایه‌های مورد استفاده در صافی

شمارهٔ لایه	ضخامت لایه (سانتیمتر)	محدوده قطر دانه ها (میلیمتر)
۱	۶۰	۰/۴-۰/۵
۲	۱۵	۰/۸-۱/۲
۳	۱۰	۳-۱۰
۴	۱۰	۱۰-۲۵
۵	۱۰	۲۵-۳۹

جدول شمارهٔ (۳): مشخصات پارامترهای ورودی

کدورت (NTU)	نرخ فیلتراسیون ($m^3/m^2.d$)	فشار (m)	کدورت (NTU)	نرخ فیلتراسیون ($m^3/m^2.d$)	فشار (m)
۱۰	۸/۵	۰/۲	۱۰۰	۷۶/۵	۱/۵
۱۱	۱۳	۰/۲	۱۲۵	۸۵	۲
۱۲	۱۷	۰/۲	۱۶۵	۱۰۲	۲/۸
۱۳	۲۴	۰/۲	۲۸۵	۱۴۳	۴/۵
۱۵/۷	۲۵/۵	۰/۲۵	۳۹۰	۱۵۳	۵/۵
۳۳/۳	۴۲/۵	۰/۵	۶۰۰	۱۹۸	۸/۵
۵۰	۵۶	۰/۸	۷۹۰	۲۲۱	۱۰
۹۰	۶۳	۱	–	۳۰۶	۱۵/۵

روشهای نمونه‌برداری و تست

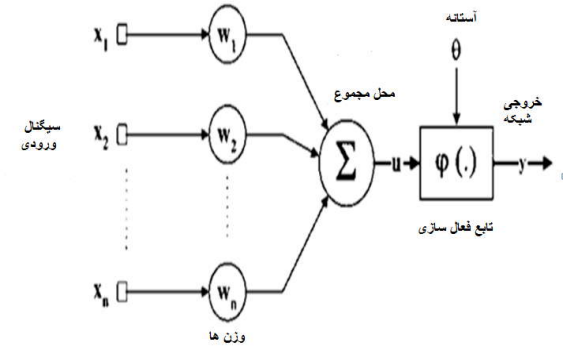
نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های لازم براساس روشهای استاندارد ذکر شده در استاندارد متد و با استفاده از دستگاه کدورت سنج قابل حمل مدل HACH-2100 در مدت هفت ماه و تحت شرایط مختلف براساس متغیرهای ورودی انجام شد (Greenberg, et al., 1992). نمونه‌برداری بعد از شست‌وشوی معکوس صافی و راهبری مجدد در طول مرحله بهره‌برداری صافی در محدودهٔ زمانی ۱۰ تا ۶۳۰ دقیقه انجام پذیرفت.

میزان افت مجاز تعریف شده برای شروع شست‌وشوی معکوس صافی در محدودهٔ ۲-۴ متر قرار داشت که کمتر از ۰/۲ متر آن مربوط به افت ثابت سیستم و بقیه در طول مدت بهره برداری از صافی حادث می‌شد. کدورت‌های خروجی از صافی که بالغ بر ۱۳۰۰ نمونه بودند، پس از محاسبات و تجزیه‌وتحلیل‌های آماری به‌صورت حداقل و حداکثر مقدار محتمل مورد استفادهٔ شبکهٔ عصبی مصنوعی قرار گرفتند (رستمیان، ۱۳۸۴). میزان کلیفرم‌ها و کل باکتری‌ها با استفاده از روشهای استاندارد اندازه‌گیری می‌شد.

شبکه‌های عصبی مصنوعی

مقدمه‌ای بر شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکهٔ عصبی مصنوعی مدلی مصنوعی از هوش یادگیرنده بوده و دارای اتصالات داخلی بسیار زیادی مانند سلول‌های شبکهٔ عصبی مغز انسان است به‌طوری‌که دارای تعداد بسیار زیادی از عناصر پردازش‌گر ساده به نام نرون است که در لایه‌های مختلف درون شبکه قرار دارند. در شکل شمارهٔ (۱) عنصر پردازشگر ساده‌ای از شبکهٔ عصبی مصنوعی نشان داده شده است. هر شبکه شامل یک لایهٔ ورودی و یک لایهٔ خروجی است که در بین این دو لایه یک یا چند لایهٔ مخفی وجود دارد. یکی از مزایای شناخته شدهٔ شبکه‌های عصبی مصنوعی توانایی یادگیری آنها از یک گروه از داده‌ها به صورت نظارت شده، یا غیر نظارتی است که به گروه آموزش معروف هستند. هنگامی که شبکه ساخته می‌شود، در حین فرایند آموزش، وزن‌ها برای دست‌یابی به داده‌های خروجی مطلوب، محاسبه خواهند شد. پس از تنظیم یا همان آموزش شبکه عصبی، اعمال یک ورودی خاص به آن منجر به دریافت پاسخ خاص می‌شود. شبکه بر مبنای تطابق و هم‌سنجی بین ورودی و هدف، سازگار می‌شود تا این‌که خروجی شبکه و هدف بر هم منطبق شوند. عموماً تعداد زیادی از این زوج‌های ورودی و خروجی استفاده می‌شوند تا در این روند که از آن با عنوان یادگیری نظارت شده یاد می‌شود آموزش داده شود (مصطفی کیا، ۱۳۸۷).



شکل شمارهٔ (۱): مدل ریاضی از یک نرون

در موقع مدل‌سازی با شبکهٔ عصبی مصنوعی، جفت داده‌های ورودی- خروجی به شبکه داده می‌شوند و وزن‌ها برای به حداقل رساندن خطای شبکه بین مقادیر خروجی و واقعی تنظیم می‌شوند. در میان انواع الگوریتم‌های موجود در شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم پرسپترون چند لایه[1]، با الگوریتم آموزش انتشار برگشتی[2]، در کاربردهای مهندسی بسیار رایج است. در تحقیق حاضر از این الگوریتم که در بسیاری از مقالات متداول است برای بروز رسانی مشخصه‌ها در شبکهٔ عصبی مصنوعی استفاده شده است. اساس کار این روش در به حداقل رساندن خطا همراه با تنظیم مشخصه‌های شبکه است. در این روش از میانگین توان دوم خطاها به عنوان مقیاسی برای اندازه‌گیری داده‌های آموزش استفاده می‌شود و مشخصه‌هایی که خطا را به حداقل می‌رسانند، اندازه‌گیری می‌شوند (Krose, et al., 1996).

در شبکه‌های عصبی و در مرحلهٔ آموزش شبکه از متوسط توان دوم خطاها و ضریب تعیین که به ترتیب براساس روابط ۱ و۲ تعریف

می شوند و در مرحله تست از متوسط درصد خطاها بر طبق رابطهٔ ۳ استفاده می‌شود (کیا، ۱۳۸۷).

$$MSE = (\frac{1}{p}\sum_j (t_j - o_j)^2) \quad (۱)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \quad (۲)$$

$$MPE = \frac{1}{p}\sum_j (\frac{t_j - o_j}{t_j} \times 100) \quad (۳)$$

متغیرهای مختلف در آنها به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

MSE= متوسط توان دوم خطاها

R^2= ضریب تعیین

MPE= متوسط درصد خطاها

p= تعداد داده‌های ورودی

t= خروجی واقعی

o= خروجی پیش بینی شده

j= شماره داده مورد بررسی

مجموعهٔ داده‌ها و پردازش آنها با شبکهٔ عصبی مصنوعی

داده‌هایی که به عنوان ورودی به شبکهٔ عصبی مصنوعی داده می‌شوند می‌باید عددی و در یک محدودهٔ بستهٔ خاصی مانند [۰،۱] یا [۱،۱-] قرار داده شوند (Johari, et al., 2007). به همین دلیل از روش نرمال کردن داده‌ها برای شبکهٔ عصبی مصنوعی مطابق با روابط ۴و ۵ به ترتیب برای محدوده‌های فوق استفاده می‌شود.

در صورت استفاده از این روابط، مقدار خروجی شبکهٔ عصبی نیز در محدودهٔ [۰،۱] یا [۱،۱-] قرار خواهد داشت که با استفاده از معکوس روابط ۴ یا ۵، معادل آن بر مبنای اطلاعات اولیه به‌دست خواهد آمد. در روابط ۴و ۵ متغیرها به‌صورت زیر تعریف می شوند.

x_N= مقدار نرمال شده داده

x= مقدار دادهٔ غیر نرمال

x_{min}= حداقل مقدار درکل داده‌ها

x_{max}= حداکثر مقدار در کل داده‌ها.

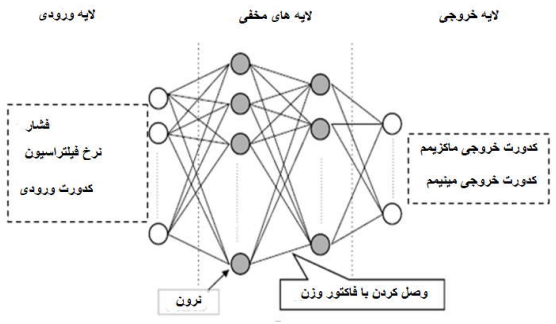
باید یادآوری کرد که استفاده از توابع نرمال‌سازی (رابطه ۴ یا ۵) بستگی به تابع انتقال[۳] مورد استفاده در آموزش شبکه دارد که در تحقیق حاضر و به علت استفاده از تابع انتقال تن- سیگموید[۴]، برای نرمال سازی از رابطهٔ ۵ استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در الگوی شبکه عصبی شامل کدورت ورودی، کدورت خروجی شامل حداقل و حداکثر محتمل، فشار ورودی و نرخ فیلتراسیون و خروجی‌های شبکه شامل حداقل و حداکثر کدورت محتمل خروجی از صافی است.

$$x_N = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (۴)$$

$$x_N = 2\frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} - 1 \quad (۵)$$

معماری شبکه عصبی مورد استفاده

شبکهٔ عصبی مورد استفاده در این مطالعه دارای یک لایهٔ ورودی و دولایهٔ مخفی و یک لایهٔ خروجی است. اطلاعات ورودی در حین عبور از لایهٔ مخفی اول پردازش شده و خروجی این لایه به عنوان ورودی لایهٔ مخفی بعد عمل می‌کند و پس از تحلیل برای پردازش نهایی به لایهٔ خروجی داده می‌شود. داده‌هایی که از لایهٔ آخر بیرون می‌آیند به عنوان خروجی شبکه شناخته میشوند. شمایی از معماری شبکه مورد استفاده در شکل شمارهٔ (۲) نشان داده شده است.



شکل شمارهٔ (۲): شماتیکی از معماری شبکهٔ عصبی مصنوعی مورد استفاده

در حین بسط مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی داده‌های موجود به دو قسمت تقسیم میشوند که یکی برای آموزش شبکه و باقیمانده برای بررسی توانایی عمومیت شبکه استفاده می‌شوند. در این تحقیق از تابع آموزش TRAINGDM موجود در نرم افزار Matlab استفاده شده است. در جدول شمارهٔ (۴) مشخصات شبکهٔ مورد استفاده به‌صورت خلاصه ذکر شده است

دستاوردها و بحث

پس از راه‌اندازی موفق صافی و نمونه‌گیری از خروجی صافی تحت شرایط مختلف ورودی از جمله تغییرات کدورت، نرخ فیلتراسیون ورودی و فشار صافی، نتایج خروجی مورد تجزیه‌وتحلیل‌های آماری قرار گرفت که نتیجهٔ آن به همراه متغیرهای ورودی در مرجع ۱ درج شده است. این نتایج که بر اساس

۱۳۰۰نمونه تحت شرایط مختلف تعیین شده، به‌صورت تصادفی و به‌عنوان ورودی در شبکهٔ عصبی مصنوعی و البته پس از نرمال‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول شمارهٔ (۴): مشخصات شبکه مصنوعی مورد استفاده

آیتم	مشخصات
تعداد لایه‌های مخفی	۲ لایه
تعداد کل لایه‌ها	۴ لایه
الگوریتم شبکه	پرسپترون چند لایه
الگوریتم آموزش	انتشار برگشتی
تابع انتقال	تن- سیگموید
تابع آموزش	TRAINGDM

هدف از به خدمت گرفتن شبکهٔ عصبی مصنوعی برای این تحقیق، ارائهٔ الگویی برای پیش‌بینی حداقل و حداکثر کدورت محتمل خروجی سیستم‌های فیلتراسیون تحت فشار است. شبکه مورد استفاده برای این الگو دارای سه مشخصهٔ ورودی شامل نرخ فیلتراسیون، کدورت ورودی و فشار صافی و نیز دو مشخصهٔ خروجی شامل حداقل و حداکثر کدورت محتمل هستند. در تحقیق حاضر از نرم‌افزارMatlab برای آموزش و تست داده‌ها در شبکهٔ عصبی مصنوعی استفاده شد.

در آموزش و به منظور ایجاد حالت‌های مختلف و تعیین حالت بهینه، تعداد نرون‌ها در لایهٔ آموزش بین ۸ تا ۱۵ افزایش داده شد تا دقیق‌ترین خروجی به‌دست آید. بعد از این‌که آموزش شبکه با بخشی از داده‌ها بخوبی انجام گرفت، با استفاده از سایر داده‌ها، شبکه تست شد و در نهایت از محاسبات آماری برای مقایسهٔ نتایج بدست آمده از شبکه استفاده شد.

براساس بررسی‌های مختلف و کنترل حالت‌های مختلف شبکه عصبی از جمله تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌های هریک، بهترین ساختار شبکهٔ ۲-۱۱-۱۱-۳ تعیین شد که ۳ و۲ به ترتیب مبین متغیرهای لایهٔ ورودی و خروجی و ۱۱-۱۱ نیز تعداد نرون‌های دولایهٔ مخفی است.

از بین داده‌های آزمایشگاهی که پس از تجزیه‌وتحلیل‌های آماری شامل ۶۸ داده شد، ۵۹ مورد به‌صورت تصادفی برای آموزش وصحت‌یابی و از بقیه برای تست میزان خطای شبکهٔ آموزش دیده شده، استفاده شد. علاوه بر این موارد، حدود بهینه ضریب مومنتوم و ضریب سرعت آموزش پس از بررسی حالت‌های مختلف تعیین شد که بهترین مقادیر برای آنها به ترتیب، ۰/۵و ۰/۲ تعیین شد. از این مقادیر در ساختارهای مختلف از جمله ساختار نهایی استفاده شد.

برای تعیین حد بهینه هر یک از این ضرایب، محدوده ۰/۱ تا ۰/۹ برای هر یک، مورد سنجش قرار گرفت. شایان ذکر است که محدودهٔ ممکن برای تعیین حد بهینه بین ۰ و ۱ است.

در جدول شمارهٔ (۵) نتایج حاصل از بررسی برخی ازساختارهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی و در جدول شمارهٔ (۶) نتایج بهترین حالت آن درج شده است. در جداول شمارهٔ (۷ و ۸) وزن‌های مربوط به لایهٔ مخفی اول و دوم آورده شده است.

پس از بررسی ساختارهای مختلف و تعیین الگوی مناسب برای نتایج موجود این تحقیق، نمودارهای مختلف حاصل از این الگو رسم شد که در اشکال شمارهٔ (۳ تا ۷) نشان داده شده‌اند. در شکل شمارهٔ (۳)، تغییرات کارایی (میزان خطا) در مرحلهٔ آموزش و صحت‌یابی شبکهٔ عصبی مصنوعی به خوبی دیده می‌شود.

نمودارهای همبستگی برای مراحل آموزش، صحت یابی و تست شبکه نیز در اشکال شمارهٔ (۴ تا ۷) به نمایش گذاشته شده به‌طوری‌که در این نمودارها، نتایج حاصل از آزمایش با نتایج پیش‌بینی شده با الگوی شبکهٔ عصبی مصنوعی برای هر مرحله مقایسه می‌شود.

براساس این نتایج که به‌صورت نمودار پراکندگی ارائه شده، می‌توان دید که شیب و محل تقاطع معادلات درون‌یابی برای خروجی‌ها به ترتیب بسیار نزدیک به ۱ و ۰ هستند. نمودارهای پراکندگی نشان می‌دهند که مدل شبکهٔ عصبی بخوبی آموزش دیده و دقت بالایی در پیش‌بینی حداکثر و حداقل کدورت محتمل خروجی دارد.

جدول شمارهٔ (۵): نتایج حاصل از بررسی برخی از ساختارهای مختلف شبکهٔ عصبی مصنوعی در تست

ساختار شبکه	ضریب تعیین (R^2)	متوسط درصد خطاها برای حداکثر کدورت خروجی(MPE)	متوسط درصد خطاها برای حداقل کدورت خروجی(MPE)
۳-۱۱-۱۱-۲	۰/۹۸۴	٪۴/۲	٪۵/۳
۳-۱۰-۱۰-۲	۰/۹۷۴	٪۶/۱	٪۷/۲
۳-۹-۹-۲	۰/۹۳	٪۶/۲	٪۸/۱
۳-۸-۶-۲	۰/۹۰	٪۹/۳	٪۱۱/۲
۳-۸-۸-۲	۰/۶۵	٪۲۲/۳	٪۲۹/۲

جدول شمارهٔ (۶): نتایج بهترین الگوی حاصل از بررسی ساختارهای مختلف شبکهٔ عصبی

آیتم	مشخصات
ساختار شبکه	۳-۱۱-۱۱-۲
سرعت آموزش	۰/۲
ضریب مومنتوم	۰/۵
تعداد چرخه آموزش	۲۰۰۰
تابع انتقال	تن-سیگموید
زمان آموزش	۴۱ ثانیه
مقدار خطای هدف	۰/۰۰۰۱
مقدار خطای واقعی	۰/۰۰۱۲۹

جدول شمارهٔ (۷): وزن‌های لایه مخفی اول

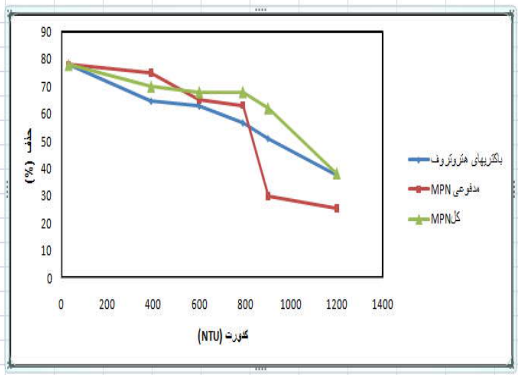
۰/۹۲۷۲۶۵	۲/۴۴۵۸۲	-۱/۰۱۳۶۳
۲/۱۹۳۲۸۴	۰/۵۹۵۳۵۱	-۲/۰۵۸۸۴
۲/۵۲۲۱۴۴	۰/۴۳۵۷۶۸	۲/۰۲۷۹۳۴
-۱/۷۳۳۷۱	۱/۸۷۱۲۸۷	-۱/۲۷۱۰۶
۰/۵۵۹۳۳	-۱/۴۹۱۰۶	۲/۷۰۳۶۲۲
-۰/۷۰۶۳	۲/۵۸۰۱۸۲	-۱/۴۳۶۸۷
-۲/۲۸۲۶۱	۱/۴۱۹۶۵۹	-۱/۵۳۶۱۸
-۱/۸۷۰۳۶	-۱/۰۱۳۶۳	-۲/۳۰۰۵۵
-۲/۶۹۷۴۵	۰/۸۹۴۰۳۴	۰/۹۳۷۳۸
۱/۷۵۳۵۹۱	-۲/۴۴۵۸۲	-۰/۰۳۲۵۳
-۰/۸۹۳۴	-۲/۷۷۸۳۹	-۱/۰۱۵۴۳

جدول شمارهٔ (۸): وزن‌های لایه مخفی دوم

۲/۰۱۰۱	۱/۲۹۶۲۲۸	۱/۱۱۶۰۴۲
۱/۹۱۰۸۲۳	۱/۷۵۲۵۲۷	۲/۲۰۰۷۵۷
۱/۲۱۰۰۱۳	-۰/۰۴۰۹	-۲/۹۹۷۹۲
۱/۵۴۳۸۴۸	۱/۶۸۴۶۰۲	۲/۲۶۰۶۷۲
۲/۳۹۱۶۲۱	-۱/۹۰۶۳۳	۱/۲۷۹۳۷
-۰/۷۷۶۴۷	-۰/۴۲۰۰۶	-۲/۸۸۸۷۶
۰/۹۲۷۲۶۵	۲/۲۸۵۰۷۲	-۱/۵۴۱۰۲
-۲/۱۸۶۱۲	۱/۸۰۰۹۹۵	-۰/۰۷۱۹۸
۰/۲۷۱۹۱۳	۲/۰۸۲۲۳۵	۱/۶۲۰۳۸۷
-۱/۹۴۴۵	۰/۲۷۲۴۱	۲/۰۹۹۰۷۵
-۱/۸۰۱۰۸	-۲/۳۴۳۴۴	-۲/۳۲۹۰۸

کارایی سیستم در حذف کلیفرم‌ها و کل باکتری‌ها

پس از این‌که بار سطحی بهینه از لحاظ حذف کدورت تعیین شد، برای تعیین میزان کدورت از لحاظ حداکثر حذف باکتری‌ها، تأثیر کدورت‌های ۳۰، ۳۹۰، ۶۰۰، ۷۹۰، ۹۰۰ و ۱۲۰۰ در بار سطحی بهینه ۸۲ m/d روی حذف کلیفرم‌ها و کل باکتری‌های هتروتروف با شاخص HPC بررسی شد. در جدول شمارهٔ (۹) مقادیر ورودی و خروجی باکتری‌ها و کلیفرم‌ها در کدورت‌های ذکر شده آورده، و در نمودارشمارهٔ (۱) درصد حذف باکتری‌ها و کلیفرم‌ها در همین کدورت‌ها ارائه شده است. نمودار شمارهٔ (۱) نشان‌دهندهٔ این است که در شرایط بار سطحی بهینه ۸۲ m/d و کدورت ۳۰ NTU بیشترین حذف میکروبی ۷۸ ٪ و بیشترین میانگین حذف کلیفرم‌ها حاصل می‌شود. در بار سطحی بهینه و کدورت بالا کمترین حذف کلنی میکربی و کلیفرم مشاهده می‌شود.



نمودار شمارهٔ (۱): درصد حذف باکتری‌ها و کلیفرم‌ها با کدورت

جدول شمارهٔ (۹): مقادیر ورودی و خروجی باکتری‌ها و کلیفرم‌ها در کدورت‌های مختلف

کدورت	۳۰NTU		
باکتری و کلیفرم	HPC (CFU/ml)	MPN مدفوعی (MPN/100ml)	MPN کل (MPN/100ml)
ورودی	۱۰۰۰	۳۸/۷۴	۳۸/۷۴
خروجی	۲۵۰	۸/۵	۸/۵
کدورت	۳۹۰ NTU		
ورودی	۸۵۰۰	۶۰/۷۹	۶۰/۷۹
خروجی	۳۰۰۰	۱۵	۲۸/۶۲
کدورت	۶۰۰ NTU		
ورودی	۱۴۰۰	۱۸۹/۸۳	۱۸۹/۸۳
خروجی	۵۲۰	۶۶/۴۴	۶۰/۷
کدورت	۷۹۰ NTU		
ورودی	۴۱۶۰	۲۶/۹۹	۱۸۹/۸۳
خروجی	۱۸۰۰	۹/۵	۶۵/۷۷
کدورت	۱۲۲۴ NTU		
ورودی	۳۰۰۰	۴۵/۷	۴۵/۷
خروجی	۸۰۰	۲۸/۶	۲۸/۶

نتیجه‌گیری

در این تحقیق که به بررسی کارایی صافی‌های تحت فشار و ارائهٔ الگویی برای نشان دادن این کارایی بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداخته بود، نتایج زیر به‌دست آمد:

۱- از آنجایی‌که مهمترین خصوصیتی که نشان‌دهندهٔ یک شبکهٔ عصبی با توانایی عمومیت بالا است، آن است که بتواند خروجی‌های اعدادی نادیده را بدقت پیش‌بینی کند، بنابراین ما در این تحقیق بخوبی از این خصوصیت شبکهٔ عصبی مصنوعی سود بردیم.

۲- نشان داده شد که ساختار پرسپترون چند لایه با الگوریتم آموزش انتشار برگشتی می‌تواند به عنوان ابزاری برای پیش‌بینی کدورت خروجی در صافی‌های تحت فشار مورد استفاده قرار گیرد.

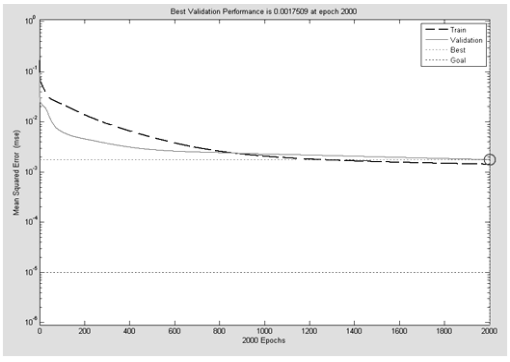
۳-در این تحقیق مشخصه‌های مختلف معماری شبکه از جمله ضریب مومنتوم و سرعت آموزش در حالت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت که بهترین حالت آنها به ترتیب ۰/۵ و ۰/۲ بود.

۴- ساختارهای مختلف شبکهٔ عصبی با تعداد نرون‌های متفاوت برای تعیین حالت بهینه مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت ساختار شبکهٔ عصبی مصنوعی به‌صورت ۲-۱۱-۱۱-۳ به‌عنوان بهترین الگو برای این تحقیق تعیین شد.

۵- با توجه به نمودارهای پراکندگی آموزش و تست، کدورت های خروجی با دقت بسیار بالایی پیش‌بینی شدند و شیب نمودارها و تقاطع معادلات درون‌یابی به ترتیب بسیارنزدیک به ۱ و ۰ بودند که نشان دهندهٔ الگویی مناسب برای پیش بینی عملکرد صافی‌های تحت فشار است.

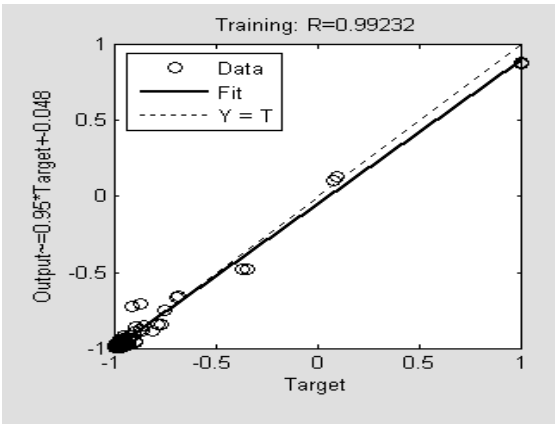
۶- از نمودارهای پراکندگی الگوی بهینه چنین استنباط می‌شود که الگوی شبکهٔ عصبی ارائه شده، بخوبی آموزش دیده و دقت بالایی در پیش‌بینی حداکثر و حداقل کدورت محتمل خروجی دارد.

۷- کم بودن خطاهای مختلف الگو از جمله در مراحل آموزش، تست و صحت یابی، حاکی از دقت نتایج آزمایشگاهی و انتخاب متغیرهای مناسبی است که می‌تواند در هر کجا و با لحاظ شرایط این الگو، مورد استفاده دیگر محققان نیز قرار گیرد.

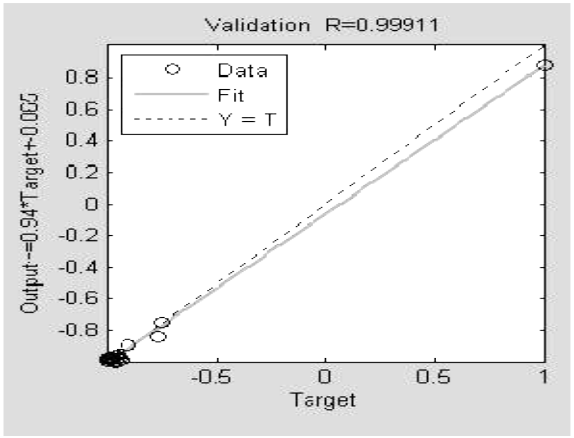


شکل شمارهٔ (۳): تغییرات کارایی در مرحلهٔ آموزش و صحت یابی

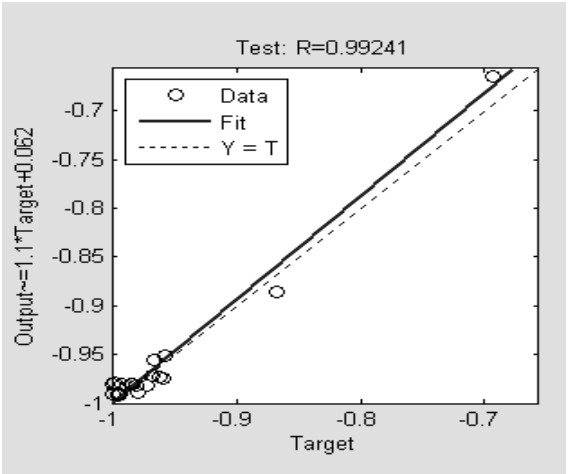
۸-در بار سطحی بهینه، هرچه میزان کدورت کمتر باشد بیشترین درصد حذف باکتری و کلیفرم حاصل می‌شود.



شکل شمارهٔ (۴): نمودار همبستگی برای مرحلهٔ آموزش



شکل شمارهٔ (۵): نمودار همبستگی برای مرحلهٔ صحت یابی



شکل شمارهٔ (۶): نمودار همبستگی برای مرحلهٔ تست

یادداشت‌ها

1-Multi Layer Perceptron
2-Back propagation
3-Transfer function
4-Tan- Sigmoid

منابع مورد استفاده

رستمیان، ه. ۱۳۸۴. ارزیابی فیلترهای شنی تحت فشار تصفیه‌خانهٔ آب گرمسار در کاهش کدورت آب و بررسی روشهای بهسازی آن. پایان نامهٔ کارشناسی ارشد رشتهٔ مهندسی محیط زیست دانشگاه شهید عباسپور.۱۱۰ صفحه

کیا، م. ۱۳۸۷. شبکه‌های عصبی در Matlab . انتشارات شرکت تعاونی خدمات نشر کیان رایانهٔ سبز. ۲۳۲

Bartex,C.W., et al. 2001. Developing artificial neural network model of water treatment processes: a guide for utilities. The institution of electrical engineering.

Greenberg,A.E., et al. 1992. Standard methods for examination of water and wastewater. American public health association, 18th edition, Washington.

Guan,D., L.,Shang .2008. Predicting real-time coagulant dosage in water treatment by artificial neural networks and adaptive network-based fuzzy inference system. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 21, 1189– 1195.

Huisman,L. 1986. Rapid filtration. Word Health Organization, Geneva.

Johari,D., et al. 2007. Artificial neural network based technique for lightning prediction. The 5th Student Conference on Research and Development.

Krishnaiah,D. 2007. Prediction of clarified water turbidity of moyog water treatment plant using artificial neural network. Applied Sciences 7.

Krose,B., et al. 1996. An introduction to neural networks. The University of Amsterdam, Eighth edition.

Schweiker,M., et al. 2001. Drinking water treatment technologies for groundwater systems under the direct influence of surface water. Commonwealth of Pennsylvania, Department of Environmental Protection (DOP).