

## پیش بینی درصد متان موجود در گاز مراکز دفن زباله با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

محمد جواد ذوقی<sup>۱</sup>، آریامن قویدل<sup>۲</sup>

نویسنده مسئول: رشت، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، [mj\\_zoqi@civilEng.iust.ac.ir](mailto:mj_zoqi@civilEng.iust.ac.ir)

پذیرش: ۸۸/۴/۳۱

دریافت: ۸۸/۱/۲۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** تکنیک های مختلفی برای استفاده بهینه از گاز تولیدی در دفنگاه زباله مورد مطالعه قرار گرفته است. اما برای استفاده از هر یک از این تکنیک ها و همچنین تضمین کارایی سیستم های استحصال انرژی، باید درصد متان موجود در بیوگاز سنجش و پیش بینی شود. در این مطالعه برای پیش بینی درصد متان موجود در گاز دفنگاه زباله در مقیاس آزمایشگاهی، از شبکه عصبی استفاده شده است.

**روش بررسی:** در این مطالعه راکتورهای شبیه ساز مرکز دفن زباله، در دو سیستم متفاوت عمل می کنند، جهت تخمین درصد متان موجود در گاز مرکز دفن به وسیله شبکه عصبی مصنوعی، از مشخصات فاضلاب این راکتورها به عنوان داده های ورودی استفاده شده است. سیستم یک ( $C_1$ )، در این سیستم، فاضلاب پس از تولید بر روی زباله تازه بازگردانده می شود. سیستم دو ( $C_2$ )، در این سیستم، فاضلاب پس از خروج از زباله تازه بر روی راکتور حاوی زباله خوب تجزیه شده تخلیه و سپس بر روی زباله تازه بازگردانده می شود.

**یافته ها:** شبکه عصبی دارای کارایی بالایی در پیش بینی درصد متان موجود در بیوگاز است، به طوری که مقدار ضریب همبستگی در شبکه عصبی بهینه، برای داده های آموزش و تست، به ترتیب برابر ۰/۹۹۹ و ۰/۹۹۷ می باشد و ضریب انحراف معیار به ترتیب برابر ۱/۰۹۸ و ۲/۳۸۷ است.

**نتیجه گیری:** با توجه به کارایی بالای شبکه عصبی در پیش بینی درصد متان موجود در بیوگاز، می توان از این مدل جهت طراحی بهینه سیستم های جمع آوری و تصفیه گاز مراکز دفن زباله و همچنین برای حصول اطمینان از نتایج پایش و کاهش هزینه پایش استفاده کرد.

**واژگان کلیدی:** فاضلاب مراکز دفن زباله، گاز مراکز دفن زباله، شبکه عصبی مصنوعی، درصد متان، تجزیه بی هوازی

۱- کارشناس ارشد عمران محیط زیست، عضو شورای علمی پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی  
۲- کارشناس ارشد بهداشت محیط، عضو هیئت علمی پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی

## مقدمه

مراکز دفن زباله محل نهایی انبار زباله های تجزیه پذیر یا بی استفاده است (۱). برای مثال در کشور انگلیس در هر سال حدود ۷۵ میلیون تن زباله در مراکز دفن زباله دفع می شود و در آمریکا ۶۷٪ از زباله جامد تولیدی در سال ۱۹۹۱ به مراکز دفن زباله منتقل شده است (۲). فاضلاب و گاز خروجی از دفنگاه زباله، مهم ترین پارامترهای زیست محیطی مراکز دفن زباله است. گاز مراکز دفن از محصولات تجزیه بی هوازی، مواد آلی موجود در دفنگاه زباله است. طی هضم بی هوازی، مواد آلی با ساختار پیچیده، به مواد آلی ساده تر تجزیه شده و سپس به وسیله باکتری های اسید ساز به اسیدهای فرار تخمیر می شوند. اسیدهای فرار با بیش از دو کربن به استات و گاز  $H_2$  تبدیل می شوند، سپس به وسیله باکتری های متان ساز، استات و گاز  $H_2$  به  $CH_4$  تبدیل می شود (۳).

در چندین مطالعه مدل های مختلف، برای تشریح فرایند تولید متان در مراکز دفن زباله بررسی شده است. در مطالعه ای از قانون دارسی جهت توصیف تولید متان در دفنگاه زباله، استفاده شده است (۴). در چند مطالعه از مشخصات فیزیکی نظیر شرایط آب و هوایی، جرم و سن زباله و فاکتورهای زیست محیطی نظیر رطوبت، سولفات و pH جهت شرح فرایند تولید متان استفاده شده است (۵و۶). اگرچه کوشش زیادی برای استفاده از شبکه عصبی در پیش بینی میزان متان موجود در بیوگاز با توجه به مشخصات فاضلاب دفنگاه زباله، صورت نگرفته است. اما از این وسیله در مدل سازی سیستم های زیست محیطی استفاده شده است (۷). برخی از کاربردهای شبکه عصبی شامل پیش بینی مقدار غلظت کلر در سیستم آب شهری (۸)، تعیین رابطه بوی فاضلاب و اکسیژن بیولوژیکی مورد نیاز (BOD) (۹) و پیش بینی کیفیت هوا می باشد (۱۰). کارایی مدل های شبکه عصبی در مدل سازی لجن های فاضلاب اثبات شده است (۱۱). همچنین میزان  $NH_3$  و  $H_2S$  موجود در بیوگاز ناشی از هضم بی هوازی، توسط شبکه عصبی با کارایی بالا مدل شده است (۱۲). این کاربردها نشان دهنده پتانسیل بالای این مدل در

مدیریت زیست محیطی است.

یکی از انواع رایج مراکز دفن زباله، آنهایی هستند که فاضلاب تولیدی مجدد بر روی سطح مراکز دفن زباله تخلیه می شود. (۱۴). مزایای بازچرخش فاضلاب در مراکز دفن زباله به طور گسترده بررسی شده است (۱۵). لذا در این مطالعه پیش بینی درصد متان موجود در گاز دفنگاه زباله، برای حالت همراه با باز چرخش فاضلاب بررسی می گردد.

به علت میزان تاثیر گاز متان بر گرمایش جهانی، گاز خروجی از مراکز دفن زباله باید کنترل شود (۱۶). سیستم های مختلفی برای کاهش اثرات مخرب گاز خروجی از دفنگاه زباله مورد مطالعه قرار گرفته است، اما جهت انتخاب سیستم مناسب و استفاده بهینه از سیستم انتخابی باید درصد متان موجود در بیوگاز پایش و پیش بینی گردد. همچنین یک مدل پیش بینی می تواند کارایی سیستم های استحصال انرژی، در مراکز دفن زباله را تضمین کند. پیش بینی دقیق درصد متان خروجی از مراکز دفن، مستلزم مدلی است که روابط بین پارامترهای زیست محیطی و تولید متان را درک و شبیه سازی کند. در این مطالعه درصد متان موجود در بیوگاز به عنوان محصول نهایی هضم بی هوازی، به وسیله شبکه عصبی مصنوعی برآورد می شود. از مشخصات فاضلاب دفنگاه جهت ارزیابی عملکرد مراکز دفن استفاده می شود. پارامترهایی نظیر COD، BOD، آمونیم، pH جهت توصیف شرایط فاضلاب مراکز دفن استفاده می شود (۱۳). لذا در این مطالعه پارامترهای عمومی فاضلاب مانند COD، آمونیم، pH و سن مرکز دفن به عنوان داده های ورودی شبکه عصبی انتخاب شده است.

## مواد و روش ها

داده های استفاده شده در این مطالعه، از مطالعه ای که شائو-لیانگ در سال ۲۰۰۸ انجام داده، اخذ شده است (۱۷). در این مطالعه، زباله ای که توسط کامیون های جمع آوری در محل مرکز دفن زباله تخلیه می شود، بلافاصله به عنوان زباله

در این سیستم، فاضلاب تولیدی در راکتوری که از زباله تازه پر شده (راکتور B) بر روی راکتور حاوی زباله خوب تجزیه شده (راکتور C) پاشش و همزمان فاضلاب تولیدی در راکتور C بر روی راکتور B تخلیه می شود، این عمل هر دو روز و با استفاده از پمپ پرستالتیک صورت می گیرد. سپس نمونه های فاضلاب، هر شش روز از قسمت خروجی راکتورها جمع آوری می گردد و غلظت COD،  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  و pH اندازه گیری می شود. میزان pH به وسیله pH متر شرکت HACH اندازه گیری شده است. اندازه گیری غلظت COD،  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  و درصد متان موجود در بیوگاز مطابق استاندارد انجام شده است (۱۷). از این پارامترها به عنوان داده های شبکه عصبی استفاده می شود. همچنین راکتورهای مدل شده در این مطالعه در محفظه عایق حرارت و در دمای  $32 \pm 2$  درجه سانتیگراد نگهداری می شود. لذا با توجه به ثابت بودن دما از این پارامتر در داده های ورودی شبکه عصبی استفاده نمی شود. علاوه بر پارامترهای مربوط به فاضلاب، از زمان نمونه گیری که نشان دهنده عمر راکتورها می باشد، به عنوان یکی از داده های ورودی مدل استفاده می شود. پارامتر هدف مدل شبکه عصبی، درصد متان موجود در بیوگاز است که در مطالعه انجام شده توسط شائو- لیانگ مانند پارامترهای فاضلاب هر شش روز اندازه گیری شده است.

#### مدل سازی در شبکه عصبی مصنوعی

آموزش در شبکه عصبی مصنوعی بر اساس الگوریتم های مختلف صورت می گیرد، یکی از انواع الگوریتم ها الگوریتم پس انتشار (Back propagation) است. الگوریتم پس انتشار از بردارهای ورودی و بردارهای هدف متناظر با بردارهای ورودی برای آموزش شبکه عصبی استفاده می کند. در الگوریتم پس انتشار، پس از مقایسه خروجی شبکه عصبی با مقدار هدف، مقدار خطا محاسبه شده و جهت تصحیح ضرایب وزنی، خطای محاسبه شده به لایه های پیشین انتقال می یابد (۱۸). شبکه عصبی، با استفاده از تابع سیگموئید

تازه جمع آوری شده است. پس از جمع آوری زباله کیسه های پلاستیکی و مواد غیر آلی حجیم از زباله جدا شده و زباله سرند شده به آزمایشگاه منتقل می شود. تمام زباله ها پس از خرد شدن و مخلوط شدن، در ستون های شبیه ساز دفنگاه زباله قرار داده می شود. اجزای تشکیل دهنده زباله به شرح ذیل است (بر طبق وزن): مواد زاید آشپزخانه ۶۵٪، کاغذ ۹٪، پلاستیک ۱۲٪، پارچه ۲٪، فلز ۵٪ و مواد دیگر ۱۱/۵٪. زباله خوب تجزیه شده از قسمت هایی از مرکز دفن زباله که دارای عمر بیش از ۱۲ سال بود، به وسیله حفاری برداشت شده است. زباله خوب تجزیه شده دارای مواد آلی کمتر از ۵٪ و نیتروژن موجود در آن کمتر از ۳٪ می باشد. سپس این زباله مخلوط و به تکه های ۵-۲ سانتی متر خرد می شود.

راکتورهای شبیه ساز مرکز دفن زباله، که در این تحقیق استفاده شده است، دارای مقطع مربع و مساحت داخلی ۴۰۰ سانتی متر مربع می باشد. ارتفاع این راکتورهای ۱۳۰ سانتی متر است که حجم موثر ۴۰ لیتر را به وجود می آورد. برای ساخت راکتورها از پلکسی گلاس استفاده شده و برای جلوگیری از تبادل حرارتی با محیط از فوم پلی یورتان جهت عایق بندی راکتورها استفاده شده است. برای جلوگیری از ایجاد مانع در خروج آب، انتهای تمام راکتورها به ضخامت ۱۵ سانتی متر به وسیله شن پر شده است. دو راکتور شبیه ساز مرکز دفن زباله (راکتورهای B، A) به وسیله ۲۴ کیلوگرم زباله تازه پر شده است. راکتور شبیه ساز دیگر (راکتور C) به وسیله ۴۴ کیلوگرم از زباله خوب تجزیه شده پر شده است.

در این مطالعه دو سیستم مختلف در آزمایشگاه مدل شده است. در سیستم یک (C<sub>۱</sub>)، فاضلاب تولیدی در راکتور حاوی زباله تازه (راکتور A) به سمت مخزن جمع آوری هدایت و هر دو روز با استفاده از پمپ پرستالتیک بر روی راکتور A پمپ می شود. در سیستم دو (C<sub>۲</sub>)، راکتوری که از زباله تازه پر شده (راکتور B)، به وسیله بازچرخش فاضلاب به راکتور حاوی زباله خوب تجزیه شده (راکتور C) متصل می گردد.

جدول ۱: پارامترهای ورودی و خروجی مدل

پارامترهای ورودی [P]	
pH	[P <sub>1</sub> ]
COD (mg/l)	[P <sub>2</sub> ]
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/l)	[P <sub>3</sub> ]
مدت زمان بازچرخش (روز)	[P <sub>4</sub> ]
پارامتر خروجی [T]	
درصد متان موجود در گاز دفنگاه زباله	[T]

**درصد متان بیوگاز (T):** در صد متان موجود در گاز دفنگاه زباله که به عنوان پارامتر خروجی شبکه عصبی انتخاب شده، یکی از مهم ترین محصولات هضم بی هوازی در مراکز دفن زباله است. گاز مراکز دفن تحت شرایط هوازی و بی هوازی تولید می شود. شرایط هوازی بلافاصله پس از تخریب پسماند و به علت به دام افتادن هوا رخ می دهد. فاز هوازی دارای عمر کوتاهی بوده و مهم ترین گاز تولیدی در آن دی اکسید کربن است. پس از مصرف شدن اکسیژن به دام افتاده فرایند تجزیه بی هوازی تا پایان عمر دفنگاه زباله، ادامه خواهد داشت. هضم بی هوازی، گازی که معمولاً شامل ۵۵٪ متان و ۴۵٪ دی اکسید کربن است، تولید می کند. این گاز به علت وجود متان، دارای ارزش گرمایی بالایی می باشد. تولید متان و دی اکسید کربن از مواد آلی، طی فرایند بی هوازی در چند مرحله اصلی تقسیم بندی شده است (۲۰).

**میزان pH [P<sub>1</sub>]:** تغییرات pH ناشی از نوع باکتری های تجزیه کننده پسماند است. pH کم به علت وجود اسیدهای آلی است و در این حالت، مرحله اول هضم بی هوازی غالب است. مقدار pH یکی از پارامترهای مهم در میزان تولید متان، در مراکز دفن زباله است. مقدار pH در فاضلاب تثبیت شده در حدود ۸ است، در فاز تثبیت نرخ تولید متان افزایش می یابد. همچنین مطالعات نشان می دهد مقدار pH، هر چه با سرعت بیشتری افزایش یابد، نشان دهنده تجزیه سریع زباله در مراکز دفن زباله است، زیرا با کاهش ترکیبات مواد آلی در فاضلاب، میزان pH افزایش می یابد (۲۱).

**اکسیژن شیمیایی مورد نیاز (COD) [P<sub>۲</sub>]:** میزان غلظت

(Sigmoid) در لایه های پنهان و تابع خطی در لایه خروجی قادر به تقریب هر تابع پیچیده می باشد (۱۹). در این مطالعه شبکه عصبی با بیشترین کارایی انتخاب می شود، برای رسیدن به این هدف، شبکه عصبی با ساختمان های مختلف مورد بررسی قرار می گیرد. شبکه های عصبی مدل شده در این مطالعه، از تابع سیگموئید در لایه پنهان و تابع خطی در لایه خروجی استفاده می کنند. تعداد نرون هر لایه با توجه به نتایج شبکه های عصبی مختلف باید تعیین گردد.

### پارامترهای ورودی و خروجی شبکه عصبی مصنوعی

همان طور که گفته شد، پارامترهای نظیر اکسیژن بیولوژیکی مورد نیاز (BOD)، اکسیژن شیمیایی مورد نیاز (COD)، غلظت آمونیوم، سولفات، کلراید و میزان pH به طور معمول برای توصیف وضعیت فاضلاب مراکز دفن زباله استفاده می شود (۱۳). در این مقاله جهت پیش بینی درصد متان موجود در بیوگاز از غلظت COD در فاضلاب دفنگاه زباله، میزان pH، میزان غلظت NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N و زمان به عنوان داده های ورودی شبکه عصبی استفاده شده است. داده های ورودی و خروجی شبکه عصبی در جدول (۱) نمایش داده شده است. دمای زباله به علت ثابت بودن در طول مدت آزمایش از داده های ورودی حذف شده است.

در مطالعه انجام شده توسط شائو- لیانگ، پارامترهای کیفی فاضلاب و درصد متان تولیدی سه راکتور (C,B,A)، در طول مدت آزمایش (۱۳۲ روز)، هر ۶ روز یکبار اندازه گیری شده است. در طول مدت آزمایش، از فاضلاب هر راکتور ۲۲ نمونه تهیه و پایش شده است، و همزمان درصد متان بیوگاز اندازه گیری می شود (۱۷). جهت تهیه داده های تست و آموزش در شبکه عصبی، اطلاعات مربوط به هر سه راکتور با هم تلفیق شده است. بنابراین تعداد کل نمونه های مورد استفاده در شبکه عصبی ۶۶ عدد است. داده های به دست آمده از این سه راکتور به دو زیر مجموعه آموزش و تست تقسیم می شود که ۴۴ عدد از آنها جهت آموزش و ۲۲ نمونه باقی مانده جهت تست شبکه عصبی استفاده می شود.

ورودی شبکه عصبی انتخاب شده است.

### انتخاب شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی با الگوریتم پس انتشار به یک وسیله مناسب جهت مدل سازی سیستم های زیست محیطی، تبدیل شده است (۲۴). شبکه عصبی استفاده شده در این مطالعه دارای الگوریتم پس انتشار، تابع انتقال سیگموئید در لایه پنهان و تابع انتقال خطی در لایه خروجی می باشد. جهت انتخاب ساختمان شبکه عصبی از آزمون و خطا استفاده شده است. نرخ یادگیری یکی از پارامترهای مهم در همگرایی شبکه عصبی است. از پارامتر نرخ یادگیری می توان برای جلوگیری از ایجاد کمینه محلی در شبکه عصبی و دستیابی به کمینه مطلق استفاده کرد (۲۵).

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 محلی کم عمق، گرفتار می شود (۱۹). در این مطالعه نرخ یادگیری و مومنتوم به ترتیب ۰/۱ و ۰/۹ انتخاب شده است.

### نتایج

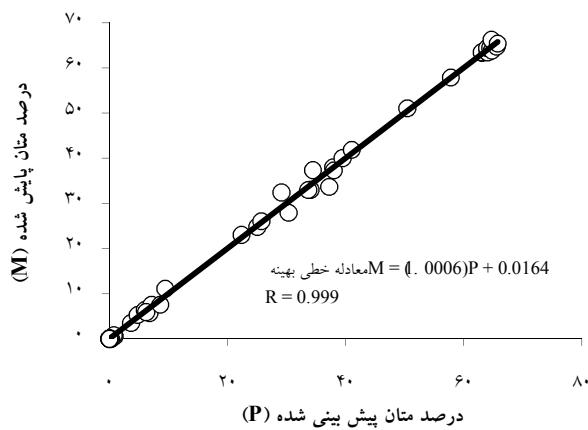
یکی از مهم ترین وظایف محققان بهینه سازی شبکه عصبی است که با آزمون روش های مختلف به دست می آید (۲۶). بهینه سازی تعداد نرون ها برای الگوریتم پس انتشار در این مطالعه انجام شده است، در این مطالعه از شبکه عصبی با یک لایه پنهان استفاده شده است. در داده های آموزش با افزایش نرون در لایه پنهان، ضریب انحراف معیار کاهش می یابد. در حالی که اگر تعداد نرون ها لایه پنهان بیش از ۶ عدد باشد، ضریب انحراف معیار در داده های تست افزایش می یابد. تغییرات ضریب انحراف معیار در شکل ۱ نشان داده شده است.

COD در فاضلاب، پس از تخلیه پسماند در دفنگاه زباله به شدت افزایش می یابد. پس از شروع تجزیه مواد آلی، غلظت COD در فاضلاب دفنگاه زباله، به طور پیوسته کاهش می یابد. این کاهش تا رسیدن به حالت تثبیت ادامه دارد. پارامتر COD وابسته به فعالیت میکروارگانیزم ها در مراکز دفن زباله است و تغییرات این پارامتر، مهم ترین شاخص تثبیت، در مراکز دفن زباله است. غلظت بالای COD، نشان دهنده افزایش سرعت تجزیه در مرحله اول هضم بی هوازی است، در این مرحله مواد آلی با ساختار پیچیده به اسیدهای آلی قابل حل در آب تبدیل می شوند. کاهش غلظت COD، نشان دهنده شروع مرحله دوم هضم بی هوازی و تثبیت پسماند جامد است. همزمان با افزایش تولید بیوگاز و درصد متان، غلظت COD کاهش می یابد. این نتایج در مطالعه انجام شده توسط شائو-لیانگ نیز تایید شده است (۱۷).

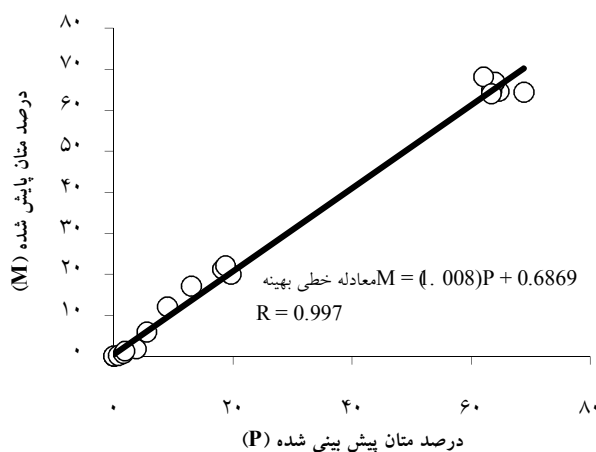
آمونیم  $(\text{NH}_4^+-\text{N})$ : غلظت  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  در فاضلاب خروجی از مراکز دفن در روزهای اول، دارای افزایش سریعی است، این افزایش به علت تجزیه مواد آلی نیتروژن دار موجود در مراکز دفن زباله رخ می دهد. غلظت  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  در فاضلاب مراکز دفن زباله در سطح بالایی باقی می ماند و آمونیم به وجود آمده در فاضلاب تجمع می یابد. چرا که میکروارگانیزم های نیتریفیکاسیون (Nitrification) که در محیط هوازی به خوبی عمل می کند، در فرایندهای بی هوازی وجود ندارند (۲۲). تنها روش حذف  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  در مراکز دفن زباله جذب سطحی آمونیم فاضلاب توسط زباله های خوب تجزیه شده است که از آن برای رشد باکتری های بی هوازی استفاده می شود (۲۳). لذا کاهش غلظت  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  در فاضلاب دفنگاه زباله نشان دهنده افزایش فعالیت باکتری های متان ساز و افزایش تولید متان است.

مدت زمان بازچرخش  $[\text{P}_p]$ : درصد متان و میزان بیوگاز تولیدی با عمر مراکز دفن افزایش می یابد، همچنین پارامترهای فاضلاب با گذشت زمان تغییرات قابل توجهی می کنند (۱۷) (۲۲). لذا مدت زمان سپری شده به عنوان یکی از داده های

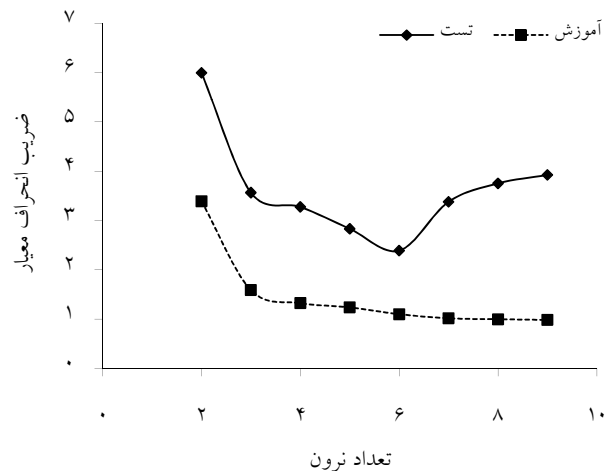
جهت ارزیابی شبکه عصبی انتخاب شده، یک تحلیل رگرسیون بین داده های خروجی و داده های پایش شده، انجام شده است. شکل (۳) و (۴) رگرسیون خطی بین نتایج خروجی از شبکه عصبی و نتایج پایش شده را به ترتیب در داده های آموزش و تست نشان می دهد. مقدار ضریب همبستگی (R) در شبکه عصبی بهینه برای داده های آموزش و تست به ترتیب برابر ۰/۹۹۹ و ۰/۹۹۷ می باشد و ضریب انحراف معیار به ترتیب برابر ۱/۰۹۸ و ۲/۳۸۷ است.



شکل ۳: رگرسیون خطی بین نتایج حاصل از پایش و پیش بینی در داده های آموزشی

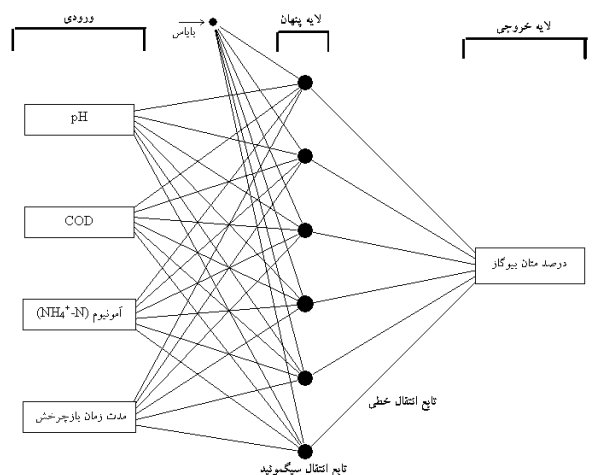


شکل ۴: رگرسیون خطی بین نتایج حاصل از پایش و پیش بینی در داده های تست



شکل ۱: ضریب انحراف معیار بین مقادیر پایش شده و مقادیر پیش بینی شده به وسیله شبکه های عصبی مختلف

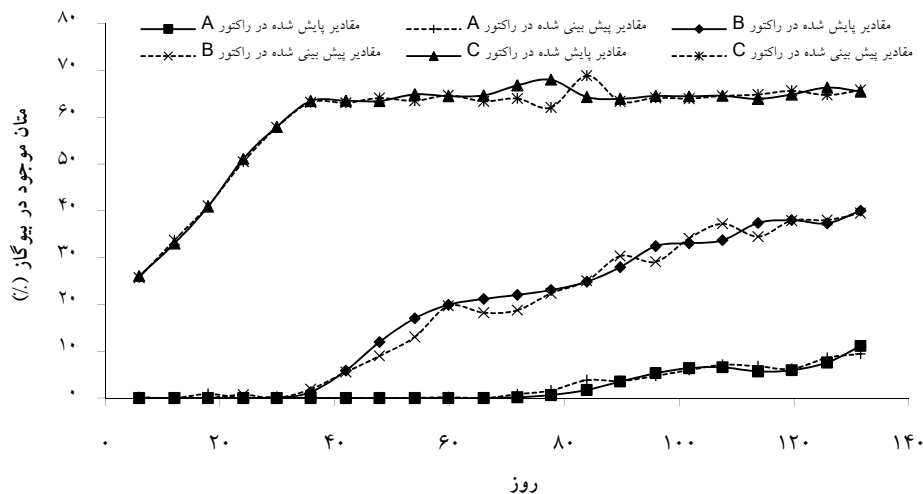
این افزایش نشان دهنده آموزش بیش اندازه شبکه عصبی است. چنانچه تعداد نرون ها از حد مشخصی افزایش یابد، شبکه عصبی به جای آموزش اقدام به حفظ داده ها می کند، لذا ضریب انحراف معیار در داده های آموزش کاهش و در داده های تست افزایش می یابد. با توجه به نکات بالا، تعداد نرون بهینه در این مطالعه، شش عدد انتخاب می شود. شبکه عصبی بهینه در این مطالعه، دارای الگوریتم پس انتشار، یک لایه پنهان دارای ۶ نرون و تابع انتقال سیگموئید و یک لایه خروجی همراه با تابع انتقال خطی می باشد. ساختار شبکه عصبی بهینه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: ساختار شبکه عصبی بهینه جهت پیش بینی درصد متان موجود در بیوگاز

به شکل (۵) و شاخص های آماری، شبکه عصبی انتخاب شده دارای کارایی بالایی در پیش بینی درصد متان موجود در بیوگاز است.

در شکل (۵) درصد متان موجود در بیوگاز که توسط شبکه عصبی برآورد شده و درصد متان پایش شده برای تمام راکتورها (A, B, C)، نسبت به زمان رسم شده است. با توجه



شکل ۵: داده های پایش شده و پیش بینی شده در راکتورهای A, B, C

بررسی شده است. در این مطالعه از شبکه عصبی مصنوعی برای در نظر گرفتن تاثیر همزمان پارامترهای زیست محیطی بر تولید متان، استفاده شده است. شاخص های آماری به دست آمده، نشان داد شبکه عصبی در پیش بینی درصد متان موجود در بیوگاز و درک روابط بین پارامترهای زیست محیطی و میزان متان تولیدی، کارایی بالایی دارد. از این مدل می توان برای حصول اطمینان از نتایج پایش و کاهش هزینه پایش استفاده کرد. همچنین مدل پیش بینی می تواند جهت طراحی بهینه سیستم های جمع آوری و تصفیه گاز مراکز دفن زباله استفاده شود.

## بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه درصد متان موجود در بیوگاز دو سیستم متفاوت ( $C_1$ ،  $C_2$ ) پیش بینی شد. رابطه بین مدت زمان بازچرخش و مشخصات فاضلاب دفنگاه زباله، با درصد متان موجود در گاز مراکز دفن زباله به وسیله شبکه عصبی مصنوعی مدل شده است. با وجود اهمیت تجزیه پسماند جامد در مراکز دفن، اطلاعات کمی در زمینه شبیه سازی تاثیر پارامترهای زیست محیطی بر تجزیه پسماندهای جامد وجود دارد. در مطالعات انجام شده بیشتر، تاثیر فاکتورهای زیست محیطی بر تجزیه پسماند جامد و تولید متان، به صورت کلی و جداگانه

## منابع

- Daniel D. Geotechnical Practices for Waste Disposal. USA: Chapman and Hall; 1993. P. 95-98.
- Lober, J. Municipal solid waste policy and public participation in household source reduction. Waste management and research. 1996; 14: 125-143.
- Speece RE. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters. Nashville, Tennessee: Archae Press; 1996.
- Young A. Mathematical modeling of landfill degradation. Journal of Environmental Engineering. 1989; 115 (6): 1073-1087.
- Peer RL, Darcy DL, Campbell DL. Development of an Empirical Model of Methane Emissions from Landfills. EPA/600/SR-92/037. 1992.
- Gurijala KR, Sa P, Robinson JA. Statistical modeling of methane production from landfill samples. Applied and Environmental Microbiology. 1997; 63 (10): 3797-3803.
- Bestamin O, Ahmet D. Neural network prediction model for the methane fraction in biogas from field-scale landfill bioreactors. Environmental Modelling & Software. 2007; 22: 15-822.
- Rodriguez MJ, Se´rodes JB. Assessing empirical linear and non-linear modelling of residual chlorine in urban drinking water systems. Environmental Modelling & Software. 1999; 14 (1): 93-102.
- Onkal-Engin G, Demir I., Engin SN. Determination of the relationship between sewage odour and BOD by neural networks. Environmental Modelling & Software. 2005; 20 (7): 843-850.
- Kolehmainen M, Martikainen H, Ruuskanen J. Neural networks and periodic components used in air quality forecasting. Atmospheric Environment. 2001; 35: 815-825.
- Holubar P, Zani L, Hager M, Froschl W, Radak Z, Braun R. Advanced controlling of anaerobic digestion by means of hierarchical neural networks. Water Research. 2002; 36: 2582-2588.
- Strik D, Domnanovich AM, Zani L, Braun R, Holubar P. Prediction of trace compounds in biogas from anaerobic digestion using the MATLAB neural network toolbox. Environmental Modelling & Software. 2005; 20 : 803-810.
- Reinhart DR, Grosh CJ. Analysis of Florida MSW Landfill Leachate Quality. Florida Center For Solid and Hazardous Waste Management. 1998; Final Report: 97-3.
- Reinhart DR, Al-Yousfi B. The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics. Waste Management and Research. 1996; 14: 337-346.
- Pohland FG, Al-Yousfi B. Design and operation of landfills for optimum stabilization and biogas production. Water Science and Technology. 1994; 30 (12): 117-124.
- Perera LAK, Achari G, Hettiaratchi JPA. Determination of source strength of landfill gas: a numerical modeling approach. Journal of Environmental Engineering. 2002; 128(5): 461-471.
- Shou-liang H, Bei-dou X. In situ simultaneous organics and nitrogen removal from recycled landfill leachate using an anaerobic-aerobic process. Bioresource Technology. 2008; 99: 6456-6463.
- Abdi H, Valentin D, Edelman B, O'Toole AJ. A Widrow-Hoff learning rule for a generalization of the linear auto-associator. Journal of Mathematical Psychology. 1996; 40(2); 175-182.
- Hagan MT, Demuth HB, Beale MH. Neural Network Design. Boston: PWS Publishing; 1996. p. 151-159
- Gurijala KR, Suflita JM. Environmental factors influencing methanogenesis from refuse in landfill samples. Environmental Science & Technology. 1993; 27: 1176-1181.
- Reinhart D R, Townsend TG. Landfill Bioreactor Design & Operation. New York: Lewis Publishers; 1997. p. 85-102.
- Benson CH, Barlaz MA, Lane DT, Rawe JM. Practice review of five bioreactor/recirculation landfills. Waste Management. 2007; 27: 13-29.
- Kettunen RH, Hoilijoki TH, Rintala JA. Anaerobic and sequential anaerobic-aerobic treatments of municipal landfill leachate at low temperatures. Bioresour Technol. 1996; 58: 31-40.
- Maier HR, Dandy GC. Understanding the behaviour and optimizing the performance of back-propagation neural networks: an empirical study. Environmental



- Modelling & Software. 1998; 13 (2): 179-191.
25. Hamed MM, Khalafallah MG, Hassanien EA. Prediction of wastewater treatment plant performance using artificial neural networks. Environmental Modelling & Software. 2004; 19 (10): 919-928.
26. Almasri MN, Kaluarachchi JJ. Modular neural networks to predict the nitrate distribution in ground water using the onground nitrogen loading and recharge data. Environmental Modelling & Software. 2005; 20 (7): 851-871.

## **Neural Network Modeling and Prediction of Methane Fraction in Biogas from Landfill Bioreactors**

**\*Zoqi M.<sup>1</sup>, Ghavidel A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Senior Expert, of Environmental research institute of Jahad Daneshgahi, Rasht, Gilan, Iran

<sup>2</sup> Member of Scientific Board of Environmental Research Institute of Jahad Daneshgahi Rasht, Gilan, Iran

Received 11 April 2009; Accepted 21 June 2009

### **ABSTRACT**

**Backgrounds and Objectives:** A number of different technologies have recently been studied to determine the best use of biogas, however, to choose optimize technologies of using biogas for energy recovery it is necessary to monitor and predict the methane percentage of biogas. In this study, a method is proposed for predicting the methane fraction in landfill gas originating from Lab-scale landfill bioreactors, based on neural network.

**Materials and Methods:** In this study, two different systems were applied, to predict the methane fraction in landfill gas as a final product of anaerobic digestion, we used the leachate specifications as input parameters. In system I ( $C_1$ ), the leachate generated from a fresh-waste reactor was drained to recirculation tank, and recycled. In System II ( $C_2$ ), the leachate generated from a fresh waste landfill reactor was fed through a well-decomposed refuse landfill reactor, and at the same time, the leachate generated from a well-decomposed refuse landfill reactor recycled to a fresh waste landfill reactor.

**Results:** There is very good agreement in the trends between forecasted and measured data. R values are 0.999 and 0.997, and the obtained Root mean square error values are 1.098 and 2.387 for training and test data, respectively

**Conclusion:** The proposed method can significantly predict the methane fraction in landfill gas originating and, consequently, neural network can be use to optimize the dimensions of a plant using biogas for energy (i.e. heat and/or electricity) recovery and monitoring system.

**Keywords:** Leachate, Landfill gas, Artificial neural network, Methane fraction, Anaerobic digestion

---

\*Corresponding Author: [mj\\_zoqi@civilEng.iust.ac.ir](mailto:mj_zoqi@civilEng.iust.ac.ir)

Tel: +98 935 4889259 Fax: +98 131 3232407