



## مدل سازی پخش آلودگی در رودخانه‌ها با استفاده از سیستم شبکه عصبی مصنوعی

اکبر شیرزاد<sup>۱</sup>، پیمان بدیعی<sup>۲</sup>، فواد سلطانی<sup>۳</sup>  
۱- کارشناس ارشد عمران آب، تلفن: ۰۹۱۴۳۸۹۲۰۹۱  
۲- دکترای مهندسی عمران، تلفن: ۰۹۱۴۴۱۴۰۳۸۱  
۳- کارشناس ارشد عمران آب، تلفن: ۰۹۱۲۵۳۷۳۹۹۵

Email: [a\\_shirzad\\_civil@yahoo.com](mailto:a_shirzad_civil@yahoo.com)

### خلاصه

تعیین میزان آلودگی بدنه‌های آبی ناشی از ورود آلاینده‌های شهری، صنعتی، کشاورزی و ... به دلیل استفاده مستقیم از آنها، پیشگیری از آلوده شدن آنها و یا تأمین هزینه‌های لازم در پالایش بدنه‌های آبی به شکلی روز افزون مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به کمبود مدل‌های مناسب و توانا در در داخل کشور ارائه مدل مناسب در این زمینه امری ضروری است. در این تحقیق یک مدل شبکه عصبی بر مبنای داده‌های حاصل از مدل مقیاس طولی CORMIX برای شبیه‌سازی پخش آلودگی در رودخانه‌ها ارائه گردیده است. برای این منظور از یک سیستم شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (multilayer perceptron network)، الگوریتم پسرو در انتشار خطا (back propagation algorithm) و تابع تحریک غیرخطی (logsig) استفاده شده است. همچنین روش گام به گام آموزش مدل و نتایج حاصل از صحت سنجی آن ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی، پخش آلودگی، CORMIX، شبکه‌های عصبی مصنوعی، رودخانه

### مقدمه

همراه با رشد و توسعه قابلیت‌ها و سرعت پردازش رایانه‌ها، استفاده از مدل‌های محاسباتی در انجام مطالعات گوناگون از جمله مطالعات مربوط به انتشار آلودگی در پیکره‌های آبی اهمیت و لزوم روزافزونی یافته است. مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی پخش آلودگی در احجام آبی ارائه شده است که در یک طبقه‌بندی کلی می‌توان به مدل‌های مقیاس طولی، مدل‌های انتگرالی و مدل‌های حاصل از حل عددی معادلات انتقال-انتشار اشاره نمود. متداول‌ترین مدل‌های مورد استفاده در این زمینه مبتنی بر مقیاس-های طولی و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و محلی می‌باشند [۵]. از مسائل قابل توجه در عملکرد صحیح مدل‌های انتشار آلودگی اتکاء آنها به اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات آزمایشگاهی و محلی می‌باشد. لذا ارائه مدل‌های مناسب و توانا مبتنی بر داده‌ها و مشاهدات آزمایشگاهی و محلی برای شبیه‌سازی پخش آلودگی در محیط‌های آبی امری ضروری است. هدف از این تحقیق ارائه یک مدل شبکه عصبی مناسب و قابل اطمینان برای پیش‌بینی مشخصات آلودگی پخش شده در رودخانه‌ها می‌باشد. برای این منظور از مدل مقیاس طولی CORMIX جهت تولید داده‌های لازم استفاده شده است.

### مواد و روشها

<sup>۱</sup> عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد شبستر

<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران



## معرفی اجمالی نرم افزار CORMIX

نرم افزار CORMIX جهت آنالیز و بررسی تخلیه مواد سمی و فاضلاب به محیط‌های آبی تهیه شده است [۶]. تحلیل رفتار هیدرودینامیک جریان در شرایط مختلف تحت بار آلاینده‌های خانگی، صنعتی و حرارتی از جمله قابلیت‌های اجرایی این نرم‌افزار می‌باشد. علاوه بر آن در نظر گرفتن اثرات زبری بستر و اثرات باد در تحلیل رفتار آلاینده در فواصل دور از محل تخلیه از جمله مزایای برنامه CORMIX می‌باشد. مدل‌های مقیاس طولی از آنالیز ابعادی که مقدار ترقیق و ارتفاع صعود پلوم یا جت را به یک یا چند مقیاس طولی مرتبط می‌سازد حاصل می‌شوند. ضرایب روابط نیز از مطالعات آزمایشگاهی به دست می‌آید. مقیاس‌های طولی، اهمیت نسبی شار مومنتم و شار شناوری جریان خروجی، جریان محیطی و لایه‌بندی چگالی را در کنترل رفتار جریان بیان می‌کنند. جریان ورودی آلاینده به محیط پذیرنده را می‌توان به دو منطقه آمیختگی تفکیک نمود:

(۱) در منطقه اول، خصوصیات اولیه آلودگی ورودی شامل اندازه حرکت، شناوری و مشخصات هندسی آن، مسیر آلودگی ورودی در محیط و اختلاط آن با محتویات محیط را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این حالت میدان نزدیک<sup>۱</sup> (NFR) نامیده می‌شود.

(۲) در منطقه دوم، شرایط موجود در محیط، مسیر و میزان پخش آلودگی را از طریق حرکات شناوری و جریان محیطی کنترل می‌نماید و از اثرات اولیه جریان کاسته می‌شود. این حالت میدان دور<sup>۲</sup> نامیده می‌شود.

در مدل CORMIX فرض می‌شود که توزیع غلظت ناشی از ورود یک جریان آلاینده در نزدیکی بستر در مقاطع عرضی به صورت زیر می‌باشد [۱]:

(الف) توزیع گوسی (۳۷٪) متقارن که معمولاً در مرحله پخش آلودگی در ابتدای میدان نزدیک حاکم است.

(ب) توزیع یکنواخت که در انتهای میدان نزدیک و ابتدای میدان دور در مرحله انتشار شناور<sup>۳</sup> در سطح آب حاکم است.

(ج) توزیع گوسی (۴۶٪) که در میدان دور در مرحله انتشار غیر فعال<sup>۴</sup> حاکم است.

## طبقه‌بندی هیدرودینامیکی جریان ورودی منفرد

طبقه‌بندی رفتار آلاینده به خصوصیات هندسی منبع آب، خصوصیات هیدرودینامیکی محیط پذیرنده و جریان تخلیه شده ارتباط دارد. بر اساس روش مقیاس‌های طولی جریان آلاینده به ۳۵ حالت مختلف طبقه‌بندی می‌شود [۶]. این طبقه‌بندی بر اساس شرایط مختلف تخلیه، لایه‌بندی چگالی محیط، زاویه تخلیه و اختلاف چگالی بین محیط و آلاینده صورت می‌گیرد.

عوامل موثر در طبقه‌بندی هیدرودینامیکی جریان عبارتند از:

$$(۱) \text{ دبی جریان } (Q_0 = U_0 a_0)$$

$$(۲) \text{ مومنتم یا اندازه حرکت دینامیکی جریان } (M_0 = U_0 Q_0)$$

$$(۳) \text{ شناوری دینامیکی جریان } (j_0 = g_0' Q_0)$$

در روابط بالا  $U_0$  و  $a_0$  به ترتیب سرعت و سطح مقطع جریان ورودی،  $g_0'$  شناوری جریان ورودی ( $g_0' = \frac{g(\rho_a - \rho_0)}{\rho_a}$ )،  $\rho_a$  چگالی جریان محیطی و  $\rho_0$  چگالی جریان ورودی می‌باشد. آنالیز ابعادی این سه مشخصه همراه پارامترهای جریان محیطی نظیر سرعت آن ( $U_a$ ) منتهی به تعریف چند مقیاس طولی می‌گردد (جدول ۱).

## کلاس جریان H1 و H2

اگر چگالی محیط یکنواخت بوده و آلاینده دارای شناوری مثبت باشد و تخلیه به صورت افقی صورت بگیرد ( $-45 < \theta_0 < +45$ ) و شرط ( $L_m/H_s < 1$ )، اگر چگالی محیط یکنواخت نباشد، کلاس H1 حاکم خواهد بود و اگر شرط ( $L_m/H_s < 1$  و  $L_b/H_s < 1$ ) برقرار باشد، کلاس H2 حاکم خواهد بود.

## شبکه‌های عصبی مصنوعی

هدف از این تحقیق، مدل‌سازی پخش آلودگی در احجام آبی می‌باشد. برای این منظور از شبکه‌های پرسپترون چند لایه استفاده شده است، چرا که این شبکه‌ها در شناخت الگو و تابع حاکم بر مسائل غیرخطی بسیار متبحر هستند [۶]. همچنین الگوریتم پس انتشار خطا که از مطرح‌ترین روش‌های آموزش

<sup>1</sup> Near Field

<sup>2</sup> Far Field

<sup>3</sup> Buoyant Spreading

<sup>4</sup> Passive Ambient Mixing



جدول ۱- مقیاس های طولی

$L_v = \frac{Q_0}{M_0^{1/2}} = a_0^{1/2}$	مقیاس طولی جریان ورودی که می توان آن را به صورت جذر سطح مقطع ورودی نشان داد.
$L_M = \frac{M_0^{3/4}}{j_a^{1/2}}$	مقیاس طولی تبدیل جت به پلوم که نشان دهنده محدوده ای است که در آن جریان به صورت جت بوده و در خارج آن محدوده جریان به صورت پلوم خواهد بود.
$L_m = \frac{M_0^{1/2}}{U_a}$	مقیاس طولی جت نسبت به جریان محیطی که نشان دهنده محدوده ای است که در آن جریان بیشتر تحت تأثیر شار مومنتم قرار دارد و در خارج آن محدوده جت تحت تأثیر سرعت محیطی منحرف خواهد شد.
$L_b = \frac{j_0}{U_a^3}$	مقیاس طولی پلوم نسبت به جریان محیطی که نشان دهنده محدوده ای است که در آن جریان بیشتر تحت تأثیر شار شناوری قرار دارد و در خارج آن محدوده پلوم تحت تأثیر سرعت محیطی منحرف خواهد شد.

این نوع شبکه ها می باشد، مورد استفاده قرار گرفته است. شبکه عصبی پرسپترون، یک شبکه پیشرو چند لایه است که شامل یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی است. گره های ورودی اطلاعات را از بیرون دریافت می کنند و نتایج از طریق نرون های لایه خروجی شبکه حاصل می گردد. شبکه پیشرو از مجموعه اطلاعات ورودی، یک پاسخ در مسیر رو به جلو تولید می کند. به عبارت دیگر هیچ پس خوری ندارد. همچنین اتصالات این شبکه کامل است یعنی هر نرون در هر لایه به تمام نرون های لایه بعدی اتصال دارد. بر اساس پیشنهاد ساجی کومار و همکاران [۷] از ورودی های نرمال شده در شبکه های عصبی استفاده شد و رابطه زیر بدین منظور مورد استفاده قرار گرفت:

$$N_i = 0.8 \left[ \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right] + 0.1 \quad (1)$$

که در این رابطه  $N_i$  مقادیر نرمال شده،  $x_i$  مقادیر واقعی،  $x_{\max}$  حداکثر مقدار واقعی و  $x_{\min}$  حداقل مقدار واقعی است. در این تحقیق از تابع تحریک غیر خطی (logsig) استفاده شده است. این انتخاب بر پایه دو عامل بود، اول آنکه این تابع با پدیده غیر خطی پخش آلودگی تطابق بهتری دارد و ثانیاً در بازه  $[-1,0]$  عمل می نماید که برای اطلاعات نرمال شده ایده آل است. توابع هدفی که جهت ارزیابی عملکرد شبکه های عصبی با ساختارهای متفاوت مورد استفاده قرار گرفته اند عبارتند از: میانگین در صد خطای مطلق<sup>۲</sup> (MAPE)، جذر میانگین مجذورات خطای نرمال<sup>۳</sup> (NRMSE)، ضریب نکویی برازش<sup>۴</sup>،  $R^2$ ، ضریب همبستگی<sup>۴</sup> که روابط مربوطه عبارتند از:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_{actual_i} - y_{forecast_i}|}{y_{actual_i}} \quad (2)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{actual_i} - y_{forecast_i})^2}}{\text{var}(y_{actual})} \quad (3)$$

$$R = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad (4)$$

<sup>1</sup> Feed Back

<sup>2</sup> Mean Absolute Percentage Error

<sup>3</sup> Normal Root Mean Squared Error

<sup>4</sup> Correlation Coefficient



در روابط بالا (  $Y_{actual}$  )  $var$  واریانس داده‌های واقعی، مقدار واقعی متغیر،  $Y_{forecast}$  مقدار پیش‌بینی شده متغیر، از بسته نرم افزاری مطلب<sup>۱</sup> (ویرایش ۶/۱) استفاده شده است.

### استخراج داده‌های لازم برای آموزش و آزمون مدل‌های شبکه عصبی

برای به دست آوردن این داده‌ها از نرم افزار CORMIX استفاده شد. بدین صورت که بیش از ۴۰۰ حالت با شرایط متفاوت برای کلاس H1 و H2 با استفاده از نرم افزار CORMIX مدل‌سازی شد و ۷۰ درصد خروجی‌های این نرم‌افزار پس از اعمال عملیات آماده‌سازی به عنوان داده‌های آموزش و ۳۰ درصد آن به عنوان داده‌های آزمون به کار گرفته شد. با استفاده از تحلیل همبستگی، متغیرهای زیر به عنوان متغیرهای ورودی در نظر گرفته شدند. در اینجا ذکر این نکته ضروری است که پارامترهایی که با توجه به فیزیک مسأله تأثیرشان در این پدیده مسلم بود ولی تحلیل همبستگی این رابطه را نشان نمی‌داد، با آزمایش و خطا به ورودی‌های مدل شبکه عصبی اضافه شدند.

جدول ۲- متغیرهای ورودی مدل‌های مختلف

نام مدل	متغیرهای ورودی
H1-X1	$H_a \theta_0 \sigma_0 L_Q L_M L_m L_b$
H2-X1	$H_a \theta_0 \sigma_0 L_Q L_M L_m L_b L_T$
H1-X2	$H_a \theta_0 \sigma_0 L_Q L_M L_m L_b$
H2-X2	$H_a \theta_0 \sigma_0 L_Q L_M L_m L_b L_T$
H1-y(N), H2-y(N)	$x H_a H_0 \sigma_0 L_M L_m L_b L_T$
H1-Z(N)	$x H_a H_0 \theta_0 L_Q L_M L_m L_b L_T X1$
H2-Z(N)	$x H_a H_0 B \theta_0 L_Q L_m L_b L_T Q_0/Q_a X1$
H1-BV(N), H2-BV(N)	$x H_a H_0 \theta_0 \sigma_0 u_w/u_a L_Q L_M L_m L_b L_T$
H1-BH(N)	$x H_a H_0 \theta_0 \sigma_0 u_w/u_a L_Q L_M L_m L_b L_T$
H2-BH(N)	$x H_a H_0 \theta_0 \sigma_0 L_Q L_M L_m L_b L_T X1$
H1-S(N), H2-S(N)	$x H_a H_0 \theta_0 \sigma_0 L_Q L_M L_m L_b BV(N) BH(N)$
H1-BV(F)	$x H_a H_0 n B \theta_0 L_Q L_M L_m L_b Q_0$
H2-BV(F)	$x H_a H_0 n B b \theta_0 L_Q L_M L_m L_b L_T Q_0$
H1-BH(F)	$x B b \theta_0 L_Q L_m L_b$
H2-BH(F)	$x u_w n B b \theta_0 \sigma_0 L_Q L_m L_b$
H1-S(F)	$x u_w n \sigma_0 L_Q L_m L_b BV(F) BH(F)$
H2-S(F)	$x u_w n B \sigma_0 L_Q L_m L_b BV(F) BH(F)$

$H_a$ : عمق محیط آبی  
 $\theta_0$ : زاویه ورودی نسبت به خط افق  
 $X1$ : مرز بین توزیع گوسی و توزیع یکنواخت top-hat  
 $BV(N)$ : ضخامت قائم پلوم در نقطه x  
 $n$ : ضریب زبری مانینگ  
 $x$ : فاصله از مبدأ (منبع آلودگی)  
 $H_0$ : ارتفاع خروجی از کف  
 $\sigma_0$ : زاویه افقی ورودی نسبت به جهت جریان  
 $u_w/u_a$ : نسبت سرعت باد به سرعت محیطی  
 $BH(N)$ : ضخامت افقی پلوم در نقطه x

<sup>1</sup> - Matlab



B : عرض محیط آبی  
 $Q_0$  : دبی ورودی  
 $u_w$  : سرعت باد  
 BH(F) : ضخامت افقی پلوم در نقطه X  
 b : فاصله ورودی از نزدیک‌ترین کناره  
 $Q_0/Q_a$  : نسبت دبی ورودی به دبی محیطی  
 BV(F) : ضخامت قائم پلوم در نقطه X

### پارامترهای پلوم آلودگی که از مدل شبکه عصبی به دست می‌آیند

خروجی‌های مدل شبکه عصبی عبارتند از :  $X_1$  ،  $X_2$  ،  $y(N)$  ،  $Z(N)$  ،  $BV(N)$  ،  $BH(N)$  ،  $S(N)$  ،  $BV(F)$  ،  $BH(F)$  و  $S(F)$  که در ادامه شرح آنها آمده است:

- (۱)  $X_1$ : معرف نقطه‌ای است که در محدوده بین مبدأ تا آن نقطه توزیع گوسی ۳۷٪ حاکم خواهد بود.
- (۲)  $X_2$ : معرف نقطه‌ای است که در محدوده بین  $X_1$  تا آن نقطه توزیع یکنواخت top-hat حاکم خواهد بود.
- (۳)  $Z(N)$  و  $y(N)$ : معرف مختصه عرض و ارتفاع خط مرکزی پلوم آلودگی در هر نقطه در میدان نزدیک است.
- (۴)  $BH(N)$  و  $BV(N)$ : معرف ضخامت قائم و افقی پلوم آلودگی در هر نقطه در میدان نزدیک است.
- (۵)  $BH(F)$  و  $BV(F)$ : معرف ضخامت قائم و افقی پلوم آلودگی در هر نقطه در میدان دور است.
- (۶)  $S(F)$  و  $S(N)$ : معرف مقدار ترقیق در هر نقطه در میدان نزدیک و دور است.

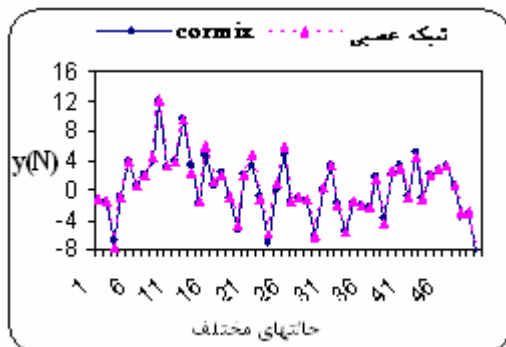
### آموزش و آزمون مدل های شبکه عصبی

برای تعیین مدل های بهینه، بیش از ۱۰۰۰ مدل مختلف با تعداد لایه های نهان و تعداد نرون های نهان متفاوت بررسی شد که مدل های زیر به عنوان مدل های بهینه انتخاب شدند.

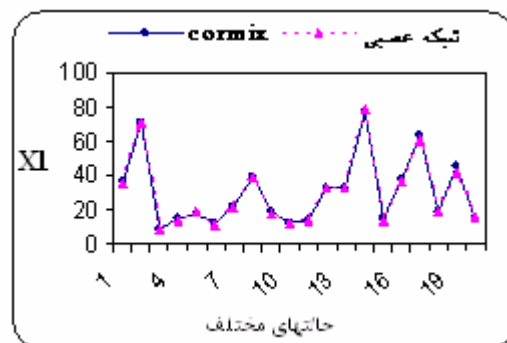
جدول ۳- توابع هدف مدل های منتخب برای داده های جدید

نام مدل	ساختار مدل	MAPE	NRMSE	$R^2$	نام مدل	ساختار مدل	MAPE	NRMSE	$R^2$
H1-X1	7.11.1	0.0242	0.0024	0.998	H2-X1	8.15.1	0.0605	0.0024	0.997
H1-X2	7.12.1	0.0288	0.0021	0.998	H2-X2	8.12.1	0.0825	0.0026	0.995
H1-y(N)	8.35.1	0.0135	0.02666	0.986	H2-y(N)	8.19.1	0.0099	0.0363	0.967
H1-Z(N)	10.11.22.1	0.0239	0.0177	0.986	H2-Z(N)	11.15.11.13.1	0.0850	0.0202	0.99
H1-BV(N)	11.15.21.1	0.0475	0.0121	0.999	H2-BV(N)	11.15.17.1	0.0655	0.0194	0.997
H1-BH(N)	11.15.11.15.1	0.0600	0.0191	0.991	H2-BH(N)	11.13.15.19.1	0.0475	0.0115	0.998
H1-s(N)	11.30.1	0.0375	0.0001	1	H2-s(N)	11.27.1	0.0419	0.0006	1
H1-BV(F)	13.15.22.1	0.0596	0.0302	0.987	H2-BV(F)	13.15.28.1	0.0791	0.0024	0.99
H1-BH(F)	7.13.25.1	0.0515	0.0011	0.994	H2-BH(F)	10.15.15.7	0.0775	0.0026	0.995
H1-S(F)	9.28.1	0.0242	0.0024	0.998	H2-S(F)	10.37.1	0.0605	0.0363	0.997

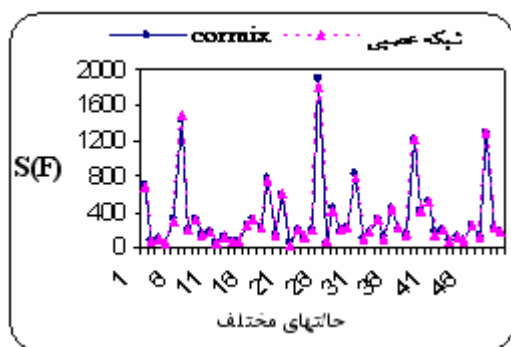
در ادامه به عنوان نمونه به مقایسه نتایج بعضی از مدل های شبکه عصبی منتخب و نرم افزار cormix برای داده های جدید می‌پردازیم. داده هایی که در این مرحله مورد استفاده قرار گرفته اند طوری انتخاب شده اند که شامل تمام محدوده قابل قبول برای نرم افزار cormix باشند.



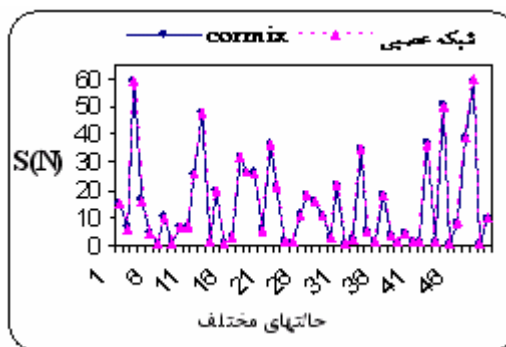
شکل ۲- مقایسه عملکرد H1-y(N) و نرم افزار cormix



شکل ۱- مقایسه عملکرد H1-X1 و نرم افزار cormix



شکل ۴- مقایسه عملکرد H1-S(F) و نرم افزار cormix



شکل ۳- مقایسه عملکرد H2-S(N) و نرم افزار cormix

ملاحظه می‌شود که نتایج مدل‌های شبکه عصبی مطابقت بالایی با نتایج نرم‌افزار CORMIX دارند.

برای استفاده از این مدل‌ها به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

- ۱- تعیین محدوده توزیع گوسی ۰.۳۷٪، توزیع یکنواخت top-hat و مرز بین میدان نزدیک و دور: از مدل H1-X1 محدوده توزیع گوسی ۰.۳۷٪، از مدل H1-X2 مرز بین میدان نزدیک و دور به دست می‌آید و در محدوده بین X1 و X2 توزیع یکنواخت top-hat حاکم خواهد بود.
  - ۲- تعیین مختصات خط مرکزی پلوم آلودگی: از مدل H1-y(N) و H1-Z(N)، عرض و ارتفاع خط مرکزی پلوم در میدان نزدیک به دست می‌آید. عرض خط مرکزی پلوم در میدان دور تازمانی که پلوم به مرزهای کناری برخورد کند برابر با عرض آن در مرز میدان نزدیک و دور خواهد بود و بعد از آن خط مرکزی پلوم به نزدیک‌ترین مرز کناری منتقل می‌شود و مقدار مختصه ارتفاع خط مرکزی در میدان دور برابر با عمق آب محیط خواهد بود. در واقع در میدان دور خط مرکزی به سطح آزاد آب منتقل می‌شود.
  - ۳- تعیین ضخامت قائم و افقی در میدان نزدیک و دور: از مدل های H1-BV(N), H1-BH(N), H1-BV(F), H1-BH(F) به ترتیب عرض قائم و افقی پلوم در میدان نزدیک و دور به دست می‌آید.
  - ۴- تعیین مقدار ترقیق در خط مرکزی پلوم در میدان نزدیک و دور: از مدل H1-S(N) و H1-S(F) به ترتیب مقدار ترقیق در خط مرکزی پلوم در میدان نزدیک و دور به دست می‌آید.
- میدان دور معمولاً با انتشار شناور در لایه مرزی شروع می‌شود که در آن ضخامت قائم پلوم کاهش می‌یابد. سپس با شروع اختلاط محیطی غیرفعال ضخامت قائم پلوم دوباره افزایش می‌یابد پس چنانچه ضخامت قائم پلوم در میدان دور کاهش نیابد نشان دهنده این است که آلاینده شناوری بسیار کمی دارد و انتشار شناور در لایه مرزی وجود نخواهد داشت.

### نتیجه گیری

در این تحقیق یک مدل شبکه عصبی جهت شبیه سازی انتشار آلودگی در شرایط یک جت شناور تک خروجی در آب رودخانه توسعه یافته است. نتایجی که از این تحقیق حاصل شد به قرار زیر است:

- ۱- شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس انتشار خطا در مدل سازی پدیده غیر خطی پخش آلودگی در رودخانه ها عملکرد مطلوبی دارد.
- ۲- در مدل سازی پخش آلودگی بهتر است که برای تخمین هر یک از پارامترهای مربوطه از یک شبکه عصبی جداگانه استفاده شود. به عبارت دیگر به جای یک شبکه با چند خروجی بهتر است چندین شبکه با یک خروجی مورد استفاده قرار گیرد.
- ۳- در مدل سازی پخش آلودگی به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، میدان نزدیک و دور باید به صورت جداگانه مورد آموزش و تست قرار گیرند.
- ۴- با استفاده از نتایج تحلیل همبستگی و حذف پارامترهایی که تاثیر کمتری بر این پدیده داشتند، از میزان خطای مدل کاسته می‌شود و عملکرد مدل شبکه عصبی بهبود می‌یابد.

### مراجع

- 1) Doneker, R. L., (1989), "Cormix1: An Expert System for Hydrodynamic Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Submerged Single Port Discharges", PhD Thesis, Cornell University, U.S.A..
- 2) "Neural Network Toolbox User's Guide", (2002), Published by Math Work, Inc.
- 3) Fausett L., (1994), "Fundamental of Neural Networks", Florida Institute of Technology, 461 p.
- ۴) منهای، م. ب.، (۱۳۷۹)، "مبانی شبکه های عصبی مصنوعی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۷۱۵ صفحه.



- 5) Tzanis, I.K., Valeo, C., (1994), "Mixing Zone Models for Submerged Discharges", Computational Mechanics Publications, Southampton, U.K., 168 p.
- 6) Jirka, G.H., Doneker, R.L., Hinston, S.W., (1996), "User's Manual for Cormix: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharge into Surface Waters", Office of Science and Technology US-EPA, Washington, DC 20460.
- 7) Sajikumar, N. and Thandaveswara, B.S., (1999), "A non- linear rainfall-runoff modeling using an artificial neural network", Journal of Hydrology, Vol.36, No.4, 32-35.