

پیش‌بینی ضریب پخش آلودگی در رودخانه ها با استفاده از مدل ترکیبی شبکه عصبی و

الگوریتم ژنتیک

عباس پارسائی^{۱*}، امیرحمزه حقی آبی^۲ و امیر مردای نژاد^۳

(1) دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

(2) دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

(3) دانشجوی دکتری، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات: Abbas_Parsaie@yahoo.com

تاریخ پذیرش: 91/9/5

تاریخ دریافت: 91/6/28

چکیده

فرایند پخشیدگی آلودگی در رودخانه‌ها بسیار پیچیده است. مدیریت صحیح کیفیت آب رودخانه نیازمند داشتن اطلاع دقیقی از ضریب پخشیدگی آلودگی است. توسعه مدل‌های تجاری جهت شبیه سازی عددی انتقال آلودگی در مجاری روباز مستلزم محاسبه ضریب پخشیدگی می‌باشد. هرچقدر دقت پیش بینی و محاسبه این پارامتر بیشتر باشد دقت و صحت مدل‌های مدل سازی نیز بیشتر می‌شود و در نهایت برنامه ریزی و تصمیم گیری های مدیریتی متناسب، با دقت و اطمینان بیشتری انجام خواهد شد. روش‌های فراوانی برای محاسبه ضریب پخشیدگی وجود دارد از جمله روش‌های تجربی، تحلیلی و ریاضی. روش‌های تجربی به علت خطای زیاد، مورد توجه قرار نگرفته‌اند. روش‌های تحلیلی و ریاضی با منظور کردن فرضیات ساده سازی در مراحل مدل سازی، نیز علی رقم پیچیدگی محاسبات، نتایج قابل قبولی را ارائه نداده اند. بنابراین ارزیابی روابط تجربی به توسعه مدل شبکه عصبی چند لایه پرداخته شده است. معادلات تجربی در بهترین حالت دارای دقتی برابر با $(R^2 = 0.77)$ که مربوط به فرمول ارائه شده توسط کاشفی پور و توکلی زاده است. برای تخمین دقیق تر ضریب پخشیدگی مدل شبکه عصبی چند لایه توسعه داده شده است. دقت مدل شبکه عصبی در مراحل آموزش و آزمایش به ترتیب برابر با $R^2 = 0.80, R^2 = 0.90$ بوده است. در ادامه برای افزایش دقت و کارایی مدل شبکه عصبی، بهینه سازی ضرایب وزنی مورد نیاز شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شده است که عملکرد آن در مراحل آموزش و آزمایش به ترتیب برابر با $R^2 = 0.95, R^2 = 0.98$ می‌باشد. نتیجه نهایی نشان می‌دهد که می‌توان دقت مدل شبکه عصبی توسعه داده شده را بدون افزایش تعداد سلول و یا تعداد لایه ها، تا حدود 19 درصد افزایش داد.

واژه های کلیدی: ضریب پخش آلودگی، شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک، انتقال آلودگی.

مقدمه

آلودگی و کاهش کیفیت آب‌های سطحی از مهم‌ترین مسائل و مشکلات موجود در محیط زیست می‌باشد به همین منظور مطالعه بر روی کیفیت آب‌های سطحی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این موضوع زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که قسمت عمده‌ای از آب آشامیدنی انسان‌ها، آب لازم برای صنایع و کشاورزی از رودخانه‌ها تأمین می‌شود و از طرفی متأسفانه رودخانه‌ها مکانی برای تخلیه فاضلاب‌ها و پساب‌ها شده است (یزدی نیا و عابدی کوپایی، ۱۳۸۹). اگر مکانیسم انتشار آلودگی در رودخانه‌ها با ژئومتری‌های مختلف مشخص شده باشد می‌توان برای کاهش اثرات آلودگی بر سلامت عموم جامعه انسان‌ها با طرح مسئله اختلاط آبها و تقویت قدرت خود پالایندگی رودخانه‌ها برنامه ریزی نمود (ریاحی مدوار و ایوب زاده، ۱۳۸۷). هنگامی که یک منبع آلودگی به داخل آب رها می‌شود به علت حرکت مولکولی، تلاطم و غیر یکنواختی سرعت در سطح مقطع جریان سریعاً در آب پخش شده و همراه با جریان آب به پایین دست انتقال می‌یابد. مکانیسم انتشار و حرکت آلاینده‌ها در آب بخش مهمی از دانش محیط زیست است که تاکنون پژوهش‌های زیادی در موضوع‌های مرتبط با آن صورت گرفته است (محمودیان شوشتری، ۱۳۸۹). ضریب پخشیدگی آلودگی در رودخانه‌ها پارامتری بسیار پیچیده، متغیر و حساس می‌باشد و با اندک تغییری در فرم بستر، تغییر الگوی جریان مانند وجود (جریان‌های ثانویه، ناحیه ماندابی، توزیع ناهمگون) تغییر می‌نماید (Seo and Bake; ۲۰۰۴, Cheong, ۱۹۹۸, Deng, et al. ۲۰۰۱). پور آباده ای و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از یک کانال مستطیلی و رها سازی ماده ردیاب به صورت پیوسته و پایدار از یک منبع نقطه ای ثابت اقدام به اندازه گیری غلظت در مقاطع مختلف نمودند در این حالت ضریب اختلاط عرضی با محاسبه غلظت در هر مقطع محاسبه شد. شن و همکاران (۲۰۱۰) به محاسبه مستقیم ضریب پخشیدگی با استفاده از روش (ADCP) پرداختند ایشان همچنین در تحقیقات خود تاثیر ناحیه ماندابی نگر داشت موقت را در ضریب پخشیدگی بررسی نمودند و در نهایت نتیجه گرفتند که استفاده از روش ADCP می‌تواند به عنوان روش بسیار مناسبی جهت محاسبه ضریب پخشیدگی استفاده شده و دقت سایر روابط تجربی با این روش سنجیده شود. چئونگ و همکاران (۲۰۰۱) به مطالعه مکانیسم انتقال شوری در رودخانه‌ها پرداختند مطالعات ایشان بر اساس پیگیری و مطالعه بر روی تغییرات پروفیل غلظت انجام شد ایشان تحقیقات خود را در رودخانه شینگوبی انجام دادند ایشان همچنین در تحقیقات خود به تاثیر مهم ناحیه ماندابی و همچنین معرفی عوامل جدیدی در تعیین تاثیر ناحیه ماندابی در مکانیسم انتقال شوری اشاره نمودند. آتکینسون و همکاران (۲۰۰۰) به مطالعه بر روی ضریب پخشیدگی رودخانه سورن انگلستان با استفاده از تجزیه و تحلیل پروفیل غلظت مشاهداتی پرداختند و پیشنهاد دادند که مطالعات و اندازه گیری آنها می‌تواند مبنای خوبی برای ارزیابی روابط تجربی و ریاضی در این رابطه باشد. معادله حاکم بر روی انتشار آلودگی در رودخانه‌ها معادله انتقال پخش می‌باشد اگر به فرم این معادله (معادله یک) توجه شود متوجه اهمیت ضریب پخش خواهیم شد زیرا تخمین دقیق این ضریب در محاسبه مقدار و پیش بینی پروفیل غلظت بسیار اهمیت دارد هم چنین دقت در تخمین این پارامتر به افزایش دقت مدل‌های عددی که از حل عددی معادله انتقال پخش توسعه داده می‌شود، می‌انجامد (پارسائی و همکاران، ۱۳۹۱). پور مقدم و کوچک زاده (۱۳۸۹)، با استفاده از مدل آزمایشگاه، اثر عوامل مختلف بر ضرایب انتشار و پخشیدگی مواد محلول زوال پذیر و زوال ناپذیر را بررسی نمودند. ایشان مطالعات آزمایشگاهی خود را در یک مقطع مرکب انجام داده و تاثیر مقاطع مرکب را بر مقدار ضریب

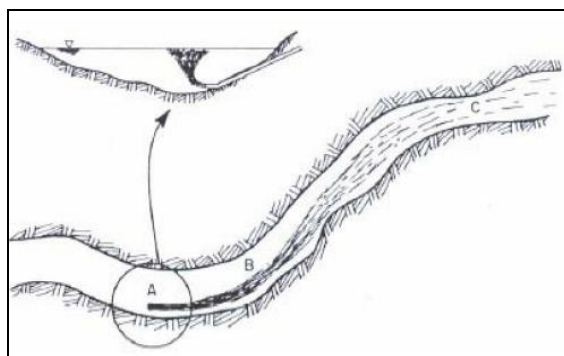
پخشیدگی نیز بررسی نمودند. پور مقدم و کوچک زاده (1389)، در تحقیق دیگری، با استفاده از محاسبه طول اختلاط کامل روش جدیدی برای محاسبه ضریب اختلاط عرضی ارائه دادند. ریاحی و ایوب زاده (2009) با استفاده از ترکیب شبکه عصبی و منطق فازی ضریب آلودگی طولی را تخمین زدند اطلاع از مقدار دقیق ضریب پخش در رودخانه‌ها برای طراحی آبگیر و مدیریت بهتر کیفیت آب رودخانه‌ها و همچنین استفاده از طرح اختلاط آب برای بهبود کیفیت آب رودخانه بسیار مهم می‌باشد. ضریب پخش به وسیله روابط تئوری و مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی قابل اندازه گیری می‌باشد. توپارک و سیگزینگولو (2008) به ارائه مدل نو فازی برای تخمین ضریب پخش پرداخته و در نهایت مدل خود را با داده‌های صحرایی کالیبره و اعتبار سنجی نمود. آنها همچنین دقت مدل خود را با روابط تجربی که توسط سایر محققان نظیر کاشفی پور، چئونگ، فیش و کاسیس ارائه شده است مقایسه نموده و در نهایت نشان دادند که دقت و کارایی مدل نو فازی که توسط ایشان ارائه شده است از همه روابط تجربی ذکر شده بالاتر می‌باشد. تیغور و همکاران (2005)، عظمت ... و همکاران (2011)، اعتماد شهیدی و تقی پور (2012) و راجیو و دوتا (2009) به ارائه مدل های ANFIS, MLP, SVM, GP برای محاسبه و تخمین ضریب پخش آلودگی پرداختند ایشان مدل های خود را با داده‌های مشاهداتی واسنجی و کالیبره نمودند و در نهایت دقت بالای این مدل ها را ثابت نمودند. با توجه به سابقه تحقیق ارائه شده نتیجه می شود که محاسبه ضریب پخشیدگی از مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی شروع شده که منتج به پیشنهاد معادلات تجربی شده است. از طرفی در بعضی از موارد عدم دقت مناسب این معادلات گزارش شده است. این کمبود دقت، به این دلیل است که محققین در پروسه مدل سازی از عواملی که به طور غیر مستقیم در پدیده انتشار آلودگی تأثیر دارند و در معادلات قابل بیان نیستند صرفه نظر می نمایند. هزینه زیاد مطالعات صحرایی و دردسترس نبودن امکانات اندازه گیری و آزمایشگاهی و از طرفی دقت بسیار مناسب مدل های هوش مصنوعی محققان را به توسعه و استفاده از این مدل ها وا داشته است. اما خود این مدل ها نیز نیاز بهینه شدن و کامل تر شدن دارند به همین منظور در این مقاله از شبکه عصبی چند لایه به عنوان رهیافتی همه گیر برای پیش بینی ضریب پخشیدگی استفاده شده است و برای افزایش دقت و کارایی این مدل، آموزش آن از طریق الگوریتم ژنتیک صورت گرفته است.

مواد و روش ها

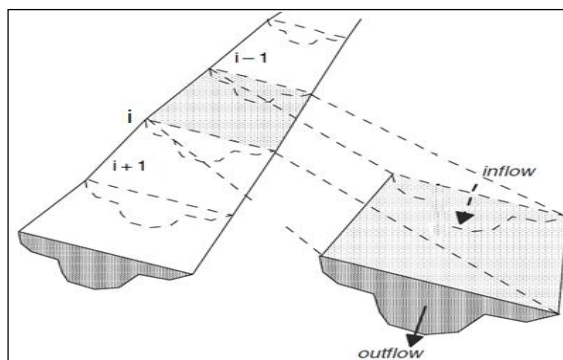
در این تحقیق ابتدا اشاره ای کوتاه به نحوه استخراج معادله حاکم بر انتشار آلودگی در رودخانه می شود. در ادامه با استفاده از روش آنالیز ابعادی به استخراج پارامترهای بی بعد موثر در محاسبه این ضریب پرداخته شده است. برای تخمین دقیق این ضریب شبکه های عصبی چندلایه توسعه داده شده است. برای توسعه این مدل داده هایی که توسط محققین در رابطه با اندازه گیری ضریب پخش آلودگی در رودخانه ها در مجلات معتبر منتشر شده است جمع آوری گردیده است. تعداد این داده ها حدود 150 عدد می باشد که محدوده تغییرات آنها در جدول (2) آورده شده است. لازم به ذکر است که ارزیابی روابط تجربی با استفاده از همان داده ها صورت گرفته است. برای افزایش قابلیت اطمینان و همچنین افزایش دقت مدل شبکه عصبی، بهینه سازی ضرایب و ثابت های مورد استفاده در ساختار این شبکه از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. تمام مراحل توسعه مدل اعم از آموزش، صحت سنجی و هم چنین بهینه سازی ضرایب و ثابت های مورد استفاده در ساختار شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، در محیط نرم افزار MATLAB انجام شده است.

معادله انتقال و پخش

هنگامی که یک منبع آلودگی به داخل آب رها می‌شود به علت حرکت مولکولی، تلاطم و غیر یکنواختی سرعت در سطح مقطع جریان، سریعاً در آب پخش و همراه با جریان آب جابجا می‌شود (شکل (1)). برای استخراج معادله حکم بر انتشار آلودگی در آبراهه‌ها المانی از رودخانه را مانند شکل (2) در نظر گرفته و مقدار جرم ورودی و خروجی را در این المان را طبق قانون بقای جرم محاسبه می‌شود. با کمک از قانون اول و دوم فیک معادله انتقال و پخش به صورت (معادله (1)) بیان می‌شود.



شکل 1: نمایی شماتیک از انتشار آلودگی در رودخانه‌ها



شکل 2: المانی از رودخانه برای استخراج معادله حرکت

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

در این معادله C: غلظت آلاینده در طول رودخانه، u: سرعت متوسط جریان رودخانه، D_L : ضریب پخشیدگی، t: مدت زمان سپری شده بعد از تزریق آلودگی و x:فاصله از نقطه تزریق آلودگی می باشد. در معادله حرکت ضریب پخشیدگی یکی از مهمترین پارامترها در مدل سازی کامپیوتری انتشار آلودگی در آبراهه‌ها می باشد. مهم‌ترین عواملی که در پدیده پخشیدگی مؤثر به سه دسته قابل تقسیم هستند.

۱- مشخصات سیال، ۲- مشخصات هیدرولیکی جریان و ۳- در نهایت ژئومتری رودخانه یا شکل سطح مقطع و مسیر رودخانه، از مشخصات سیال می توان به چگالی سیال، ویسکوزیته، از مشخصات هیدرولیکی جریان می توان به سرعت متوسط در رودخانه، سرعت برشی و پهنای سطح مقطع و عمق جریان را نام برد و برای مشخصات هندسی علاوه بر شکل سطح مقطع به فرم بستر و شکل مسیر جریان مانند سینوسی بودن مسیر رودخانه اشاره کرد که می توان ارتباط عوامل هندسی و هیدرولیکی مؤثر در فرایند پخشیدگی را با رابطه (2) نشان داد.

$$D_L = f_1(\rho, \mu, u, u_*, h, w, s_f, s_n) \quad (2)$$

در این رابطه D_L : ضریب پخشیدگی، ρ : چگالی سیال، μ : ویسکوزیته سیال، s_f : فاکتور فرم بستر و u_* : سرعت برشی، w : عرض سطح مقطع جریان می باشد. با استفاده از آنالیز ابعادی می توان به رابطه (3) برای پیش بینی ضریب پخش رسید.

$$\frac{D_L}{hu_*} = f_2\left(\rho \frac{uh}{\mu}, \frac{u}{u_*}, \frac{w}{h}, s_f, s_n\right) \quad (3)$$

همان طور که مشخص است $\frac{D_L}{hu_*}$ پارامتر بی بعد پخشیدگی و پارامتر $\rho \frac{uh}{\mu}$ معرف عدد رینولدز، $\frac{w}{h}$: نسبت عرض جریان به عمق و $\frac{u}{u_*}$: مربوط به ترم مقاومت جریان می باشد. در این رابطه s_f و s_n پارامترهای مربوط به شیب آبراهه، فرم بستر و مقدار سینوسی (مئاندر) بودن مسیر رودخانه می باشند که به آسانی قابل اندازه گیری نمی باشد. بنابراین از آوردن تأثیر مستقیم آنها صرفه نظر کرده و تأثیر آنها را به طور غیر مستقیم در ترم مقاومت جریان دیده می شود. از ترم مربوط به عددی رینولدز هم به خاطر آشفته بودن و زیر بودن جریان صرفه نظر می گردد و در نهایت فرم نهایی معادله (3) به صورت زیر در خواهد آمد (سنو و همکاران، 1998).

$$\frac{D_L}{hu_*} = f_2\left(\frac{u}{u_*}, \frac{w}{h}\right) \quad (4)$$

در جدول (1) تعدادی از روابط تجربی که برای محاسبه ضریب پخش ارائه شده اند گردآوری شده است.

جدول ۱: روابط تجربی پیشنهاد شده برای محاسبه ضریب پخشیدگی

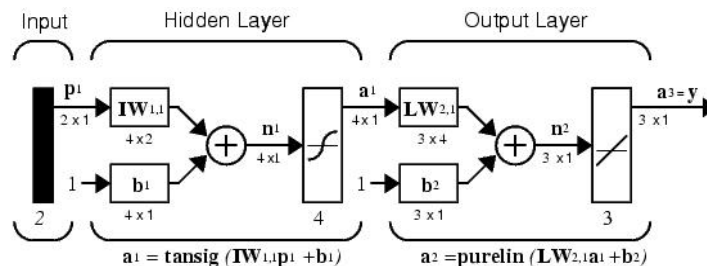
ردیف	نام نویسنده	معادله
1	الدر (1959)	$D_L = 5.93hu_*$
2	مک کویوی و کیفر (1979)	$D_L = 0.58 \left(\frac{h}{u_*} \right)^2 uw$
3	فیشر (1976)	$D_L = 0.011 \frac{u^2 w^2}{hu_*}$
4	لیو و چن (1980)	$D_L = 0.55 \frac{wu_*}{h^2}$
5	لیو (1980)	$D_L = 0.18 \left(\frac{u}{u_*} \right)^{0.5} \left(\frac{w}{h} \right)^2 hu_*$
6	ایوسا و اتاوا (1991)	$D_L = 2 \left(\frac{w}{h} \right)^{1.5} hu_*$
7	سئو و چانگ (1998)	$D_L = 5.92 \left(\frac{u}{u_*} \right)^{1.43} \left(\frac{w}{h} \right)^{0.62} hu_*$
8	کاسیس و همکاران (1998)	$D_L = 0.6 \left(\frac{w}{h} \right)^2 hu_*$
9	لی و هانگ (1998)	$D_L = 5.92 \left(\frac{u}{u_*} \right)^{1.2} \left(\frac{w}{h} \right)^{1.3} hu_*$
10	راجیو و دوتا (2009)	$D_L = 2 \left(\frac{u}{u_*} \right)^{0.96} \left(\frac{w}{h} \right)^{1.25} hu_*$
11	توکلی زاده و کاشفی پور (2007)	$D_L = 7.428 + 1.775 \left(\frac{u}{u_*} \right)^{1.752} \left(\frac{w}{h} \right)^{0.62} hu$
12	کاشفی پور و فاکونر (2001)	$D_L = 10.612 \left(\frac{u}{u_*} \right) hu$

جدول 2: محدوده پارامترهای مؤثر در ضریب پخشیدگی

محدوده	W(m)	H(m)	U(m/s)	U*(m/s)	$D_L(m^2/s)$
حداقل	11/9	0/2	0/0	0/0	1/9
حداکثر	711/2	19/9	1/7	0/6	1486/5
میانگین	73/2	1/5	0/5	0/1	115/3
واریانس	106/9	2/3	0/4	0/1	218/7

شبکه های عصبی مصنوعی

شبکه عصبی یک مدل غیرخطی پیشرفته ریاضی می باشد که برای شبیه سازی و پیش بینی فرایندهای پیچیده که مبنی بر تبیین ارتباط بین ورودی ها و خروجی ها است توسعه داده شده است در بیشتر مسائل پیچیده یاضی که به حل یک معادله پیچیده غیرخطی منجر می شود استفاده از یک شبکه عصبی می تواند جایگزین گردد ولی نکته مورد توجه این است که ساختار، توابع انتقال و فعال سازی مناسبی برای مدل شبکه عصبی در نظر شود (جورابیان و هوشمند، 1384). در این نوع شبکه ها از یک لایه ورودی جهت اعمال ورودی های مسئله یک لایه پنهان و یک لایه خروجی که نهایتاً پاسخ های مسئله را ارائه می نمایند، استفاده می شود. گره هایی که در لایه ورودی هستند، نرون های حسی و گره های لایه خروجی، نرون های پاسخ هستند. در لایه پنهان نیز، نرون های پنهان وجود دارند. آموزش این گونه شبکه ها معمولاً با روش پس انتشار خطا انجام می شود. نمونه ای از یک شبکه پرسپترون چند لایه در زیر نمایش داده شده است (شکل (3)).

شکل 3: ساختار پرسپترون چندلایه با نرون های پنهان **tansig** و نرون های خروجی با تابع خطی (مصطفی کیا، 1391).

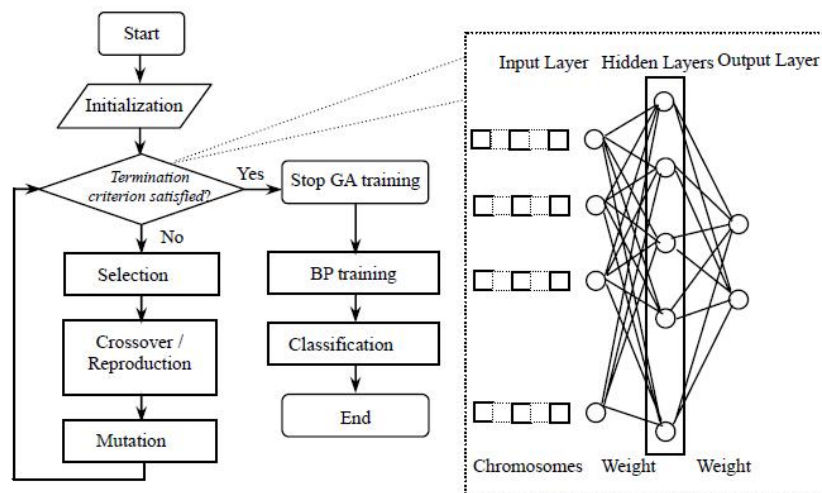
شبکه‌های پرسپترون چند لایه می‌توانند با هر تعداد لایه ساخته و به کار گرفته شوند، ولی قضیه‌ای که ما در این جا بدون اثبات می‌پذیریم بیان می‌کند که یک شبکه پرسپترون سه لایه قادر است هر نوع فضایی را تفکیک کند.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک بر پایه نظریه تکامل در طبیعت بنا شده است. الگوریتم ژنتیک که گونه‌ای از الگوریتم‌های تکاملی است. نخستین بار توسط جان هلند در دانشگاه میشیگان هلند در رساله‌ای با عنوان "تطابق در طبیعت و سیستم‌های مصنوعی"، معرفی شد. مبانی ریاضی و مفاهیم اصلی روش الگوریتم ژنتیک، شامل عملگرهای سه گانه انتخاب، ادغام و جهش پرداخت. استوار است. اولین مرحله در الگوریتم تولید یک نسل یا همان تولید مثل می‌باشد. بعد از تولید مثل، کروموزوم‌هایی که دارای شایستگی بیشتری هستند انتخاب می‌گردند. برای انتخاب کروموزوم‌های با شایستگی بالا روشهای مختلفی وجود دارد. پس از مرحله انتخاب، نوبت به مرحله ادغام میرسد. عملگر انتخاب مقداری از دو کروموزوم بطور تصادفی انتخاب کرده، در نقاطی که بطور اتفاقی از دو رشته انتخاب می‌شود جابجا می‌کند. احتمال ادغام دو کروموزوم در این مرحله توسط نرخ ادغام کنترل می‌شود. آخرین مرحله در تولید نسل جدید، عمل جهش می‌باشد. این عمل برای حفظ اطلاعات قبلی و اجتناب از نقاط بهینه موضعی می‌باشد. امکان جهش هر جزء از یک کروموزوم، مستقل از سایر جزءهای یک رشته از کروموزوم‌ها می‌باشد، بدین معنی که برای هر یک از جزءها یک عدد تصادفی تولید شده و چنانچه این عدد از نرخ جهش کوچکتر باشد آن جزء تغییر می‌کند و در غیر این صورت دست نخورده باقی می‌ماند. این فرآیند بطور متناوب تکرار می‌شود تا بهترین نتیجه عاید گردد.

فلوچارت مدل

یک شبکه عصبی مصنوعی چند لایه که به صورت مخفف با MLP نمایش داده می‌شود از ترکیب واحدهایی به نام نرون که در شکل (3) نشان داده شده است، تشکیل می‌گردد. ورودی این نرون در ضرایب وزنی ضرب شده و سپس با یک عدد ثابت که بایاس نامیده می‌شود جمع می‌گردد. نتیجه نیز از یک تابع خطی (یا غیرخطی) عبور میکند تا خروجی ساخته شود. این ضرایب وزنی و بایاس‌ها که اعداد ثابتی هستند که در فرایند توسعه شبکه و با استفاده از الگوریتم‌های کلاسیکی مانند پس انتشار و یا گرادینت کاهشی محاسبه می‌شوند. لذا می‌توان تعیین کردن مقدار بهینه این ضرایب را یک مسئله بهینه سازی دانست. از روش‌های پرقدرتی مانند الگوریتم ژنتیک برای حل این مسائل می‌توان کمک گرفت. شکل (4) فلوچارت پروسه بهینه سازی ضرایب وزنی و بایاسهای شبکه عصبی چندلایه را با الگوریتم بهینه سازی نشان می‌دهد.

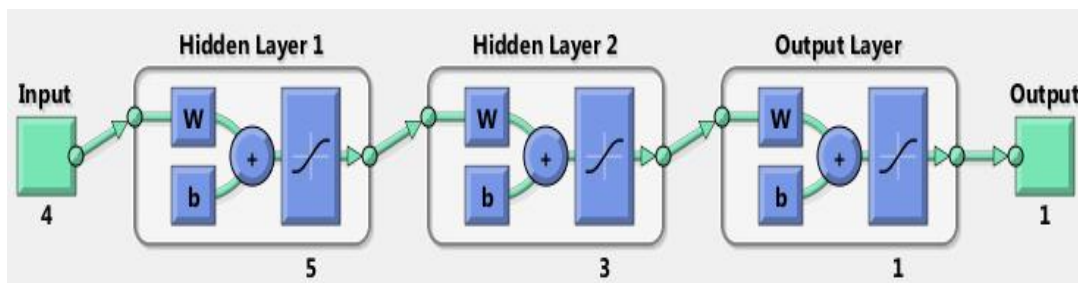


شکل 4: بهینه سازی شبکه عصبی با الگوریتم ژنتیک

بحث و نتایج

ابتدا به ارزیابی روابط تجربی کلاسیکی که برای محاسبه ضریب پخش ارائه شده پرداخته شده است. برای ارزیابی این روابط از داده هایی که در مقالات مرتبط منتشر شده در مجلات معتبر استفاده شده است تعداد داده ها حدود 150 عدد بوده است. نتایج حاصل از ارزیابی فرمول های تجربی در شکل های (5 و 6) و مشخصات آماری (شاخص های خطا-معادله (5)) مربوط به دقت آنها آن در جدول (3) آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود در بهترین حالت رابطه کاشفی پور و توکلی زاده دقتی برابر $R^2 = 0.77$ و بقیه روابط نیز دارای دقتی به مراتب کمتر می باشد. کمترین دقت مربوط به رابطه شماره (2) می باشد. نتایج این رابطه به علت بسیار پرت بودن فقط در جدول (3) آورده شده است. برای پیش بینی با دقت بیشتر ضریب پخشیدگی شبکه عصبی چند لایه با پنج نرون در لایه اول و سه نرون در لایه دوم توسعه داده شده است (شکل (5)). ورودی های این مدل همان پارامترهای بی بعدی است که در مرحله آنالیز ابعادی استخراج شده و در معادله شماره (4) آورده شده است. توابع فعال سازی برای هر نرون *tansig* در نظر گرفته شده است به دو دلیل یکی براساس گزارشات و مقالات ذکر شده در قسمت مروری بر تحقیقات این تابع عملکرد بسیار مناسبی در پیش بینی فرایند های هیدرولوژیکی داشته است و دیگری بر اساس سعی و خطایی که در مرحله توسعه و معماری شبکه انجام شد از بین توابع موجود در نرم افزار *Matlab* این تابع دارای بهترین دقت بوده است. توسعه این مدل (مقدارگیری ضرایب وزنی و بایاس ها) با استفاده از همان داده های جمع آوری شده انجام شده است. از تعداد 150 داده مورد استفاده 80 درصد برای آموزش شبکه و 20 درصد بقیه نیز برای صحت سنجی و آزمایش استفاده شده است. این شبکه با استفاده از روش کلاسیک مارکوات لونبرگ آموزش دیده که نتایج و عملکرد آن در شکل های (9 و 8) و محاسبات مربوط به مشخصات آماری (شاخص های خطا) آن در جدول (4) آورده شده است. از مقایسه نتایج این مدل با نتایج روابط تجربی مشخص می گردد که مدل توسعه داده شده دارای دقتی به مراتب بهتری می باشد ($R_{Train}^2 = 0.9$, $R_{Test}^2 = 0.8$). برای افزایش دقت و کارایی مدل

شبکه عصبی توسعه دو رهیافت می تواند مد نظر قرار گیرد که عبارتند از افزایش ساختار مدل (افزایش تعداد لایه ها و افزایش تعداد نرون ها در هر لایه) و یا تعیین مقدار بهینه ضرایب مورد استفاده در ساختار مدل توسعه داده شده. رهیافت اول همراه با افزایش حجم محاسبات و افزایش پیچیدگی مدل همراه است ولی رهیافت دوم منطقی تر به نظر می رسد. مدل داده شده را بجای آموزش با الگوریتم های کلاسیک لوبنرگ مارکوات با الگوریتم ژنتیک آموزش داده و نتایج مدل توسعه داده شده را دوباره بررسی نموده. منظور از آموزش شبکه عصبی با الگوریتم ژنتیک تعیین دوباره همان ضرایب وزنی و بایاس های مورد استفاده در هر نرون می باشد. تعداد ضرایب وزنی نرون ها همراه با تعداد بایاس های مربوطه در ساختار شبکه عصبی توسعه داده شده برابر 37 می باشد. این تعداد برابر با تعداد بعد مسئله بهینه سازی می باشد که باید با الگوریتم ژنتیک حل شود. بنابراین در توسعه این مدل حل یک مسئله بهینه سازی که تعداد بعد آن برابر 37 می باشد مد نظر قرار گرفت. پرواضح است که حل این مسائل با الگوریتم های کلاسیک بسیار مشکل می باشد. تابع هدف مطرح شده در حل این مسئله بهینه سازی کاهش خطای بین نتایج مدل و دادهای مشاهداتی (معیار کاهش خطا شاخص خطای MSE) می باشد. شکل (10) روند آموزش مدل شبکه عصبی و کاهش خطا بین داده های مشاهداتی و مدل شبکه عصبی را نشان می دهد. نتایج مدل شبکه عصبی بهینه شده در شکل های (11 و 12) و محاسبه شاخص های خطا در جدول (5) آورده شده است ($R_{Train}^2 = 0.98, R_{Test}^2 = 0.95$). مقایسه دو جدول (4 و 5) مربوط به نتایج مدل شبکه عصبی کلاسیک و بهینه شده نشان می دهد که آموزش این مدل شبکه عصبی بدون تغییری در تعداد نرون و یا تعداد لایه ها می تواند حدود 19 درصد دقت مدل شبکه عصبی را افزایش دهد.



شکل 5: ساختار شبکه عصبی توسعه داده شده

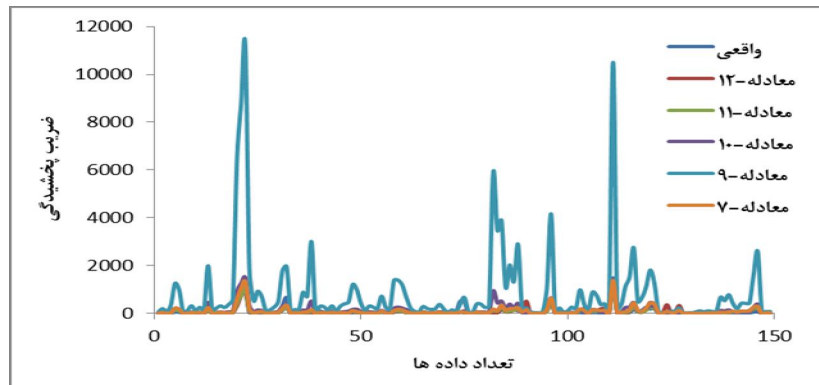
$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (D_{L_i(\text{model})} - D_{L_i(\text{Actual})})^2}{\sum_{i=1}^N (D_{L_i(\text{Actual})})^2} \right] \quad (5)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (D_{L_i(\text{model})} - D_{L_i(\text{Actual})})^2}{N} \right]^{1/2}$$

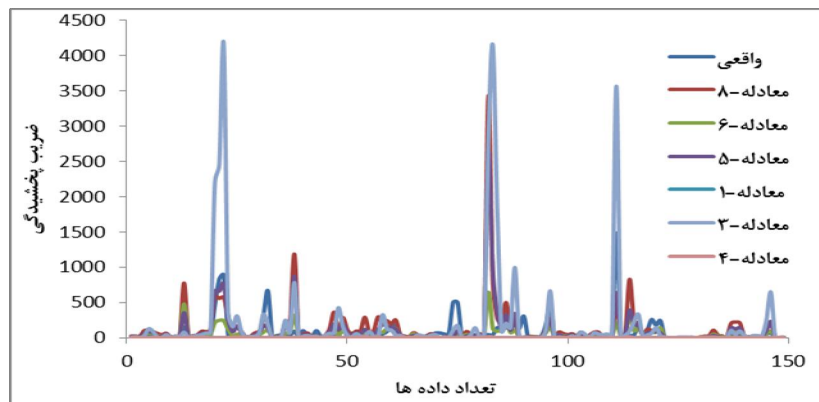
جدول 3: نتایج محاسبه شاخص های خطا برای فرمولهای تجربی

معادلات	معادله 1-	معادله 2-	معادله 3-	معادله 4-	معادله 5-	معادله 6-
R^2	0/05	0/00	0/4	0/03	0/11	0/15
RMSE	672	3565969	1976	672	904	574

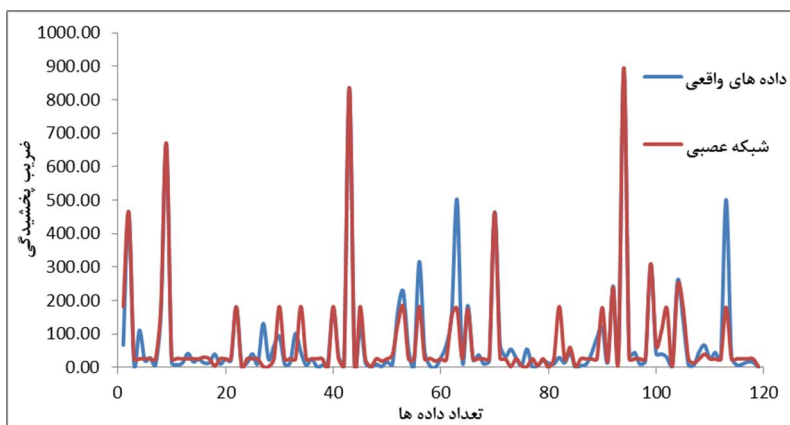
معادلات	معادله 7-	معادله 8-	معادله 9-	معادله 10-	معادله 11-	معادله 12-
R^2	0/76	0/04	0/65	0/62	0/77	0/69
RMSE	336	1152	5801	528	298	345



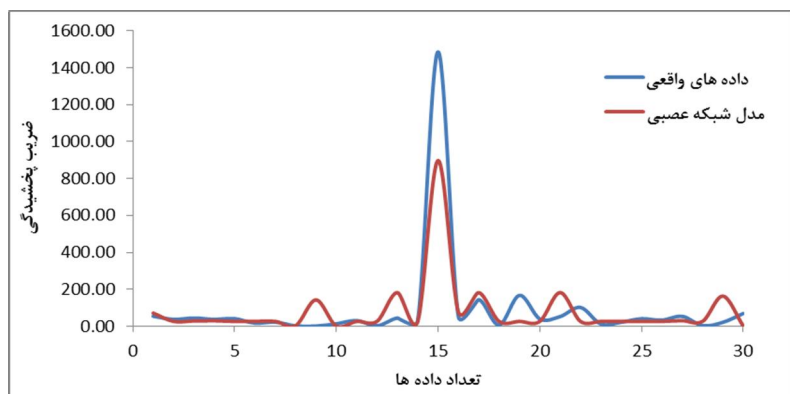
شکل 6: نتایج فرمولهای تجربی محاسبه ضریب پخش



شکل 7: نتایج فرمولهای تجربی محاسبه ضریب پخش



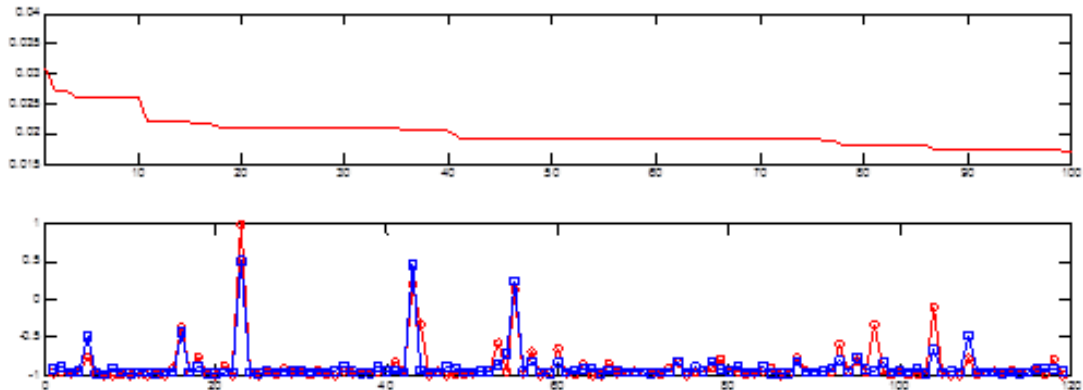
شکل 8: عملکرد شبکه عصبی در مرحله آموزش



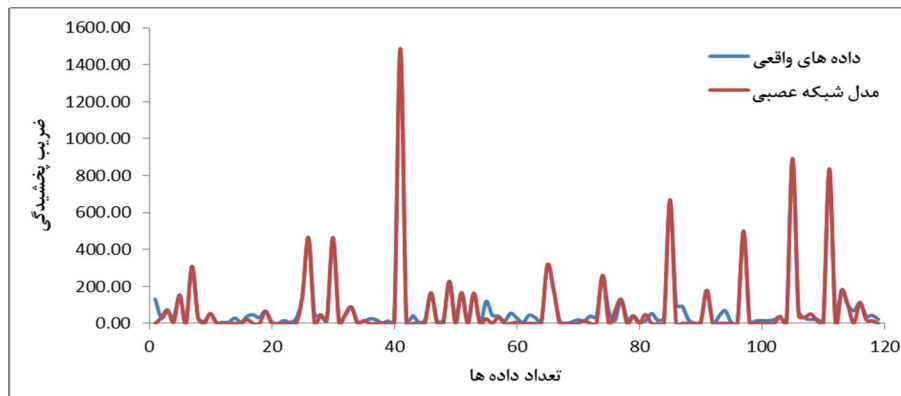
شکل 9: عملکرد شبکه عصبی در مرحله سحت سنجی و آزمایش

جدول 4: محاسبه پارامترهای نتیجه شبکه عصبی کلاسیک

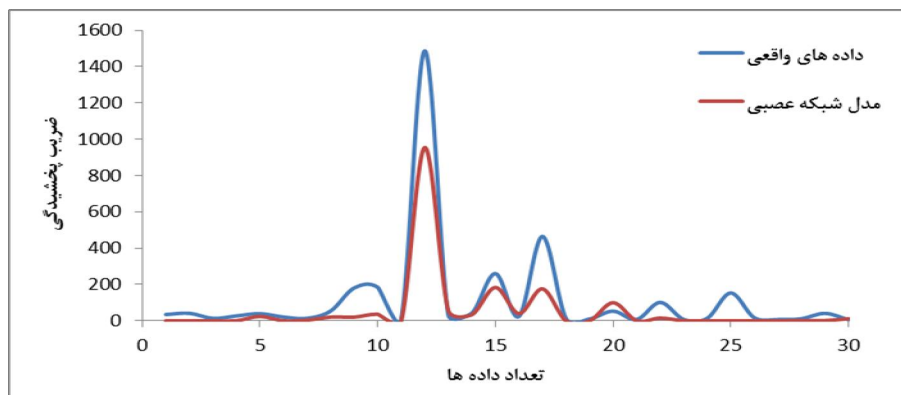
مرحله	R^2	RMSE
آموزش	90/8	56
ارزیابی	80/8	123/8



شکل 10: کاهش خطای مدل سازی با استفاده از مدل الگوریتم ژنتیک



شکل 11: عملکرد شبکه عصبی بهینه شده در مرحله آموزش



شکل 12: عملکرد شبکه عصبی بهینه شده در مرحله سحت سنجی و آزمایش

جداول 5: محاسبه پارامترهای نتیج شبکه عصبی کلاسیک

مرحله	R^2	$RMSE$
آموزش	98	29/16
ارزیابی	95	124

نتیجه گیری کلی

فرایند پخشیدگی آلودگی در رودخانه‌ها بسیار پیچیده است و اندازه گیری این ضریب مستلزم صرف هزینه زیاد می باشد. فرمولهای تجربی نیز به علت عدم دقت مناسب آنها در محاسبه این ضریب کارایی مناسبی نداشته و در تصمیم های مدیریتی مربوط به کیفیت آب رودخانه ها نمی توان به نتایج آن ها اعتماد نمود. به همین دلیل استفاده از مدل های هوش مصنوعی مانند انواع شبکه های عصبی در جهت پیش بینی این ضریب مناسب می باشد. از نکته های مورد توجه در بکارگیری شبکه عصبی می توان به تعداد مناسب عوامل ورودی و خروجی، نوع مناسب شبکه عصبی مصنوعی و هم چنین آموزش مناسب و بهینه آن می توان اشاره نمود. رهیافت این پژوهش توسعه شبکه عصبی با ساختار چند لایه به عنوان پردکاربرد ترین نوع از انواع مدل های شبکه عصبی بوده است. در مورد تعداد نرون های لایه پنهان نمی توان قانون مشخصی را ارائه داد و تعداد مناسب آن ها با آزمون و خطا و تجربه شخص طراح این شبکه مشخص می شود. کارایی و دقت مدل های هوش مصنوعی را می توان افزایش داد به این صورت که بجای گسترش ابعاد شبکه عصبی (تعداد نرون و یا تعداد لایه) و آموزش آن با الگوریتم کلاسیکی مانند لونیبرگ مارکوات، آموزش این مدل را با الگوریتم های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک انجام داده و بدون افزایش در ساختار مدل دقت آن را افزایش داد. در این تحقیق برای تخمین دقیق ضریب پخشیدگی آلودگی از مدل شبکه عصبی استفاده شده است که دارای دو لایه بوده و در لایه اول پنج نرون و در لایه دوم سه نرون در نظر گرفته شده است آموزش این شبکه با استفاده از دو مدل لونیبرگ مارکوات و الگوریتم ژنتیک انجام شده؛ که مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی مدل شبکه عصبی بهینه شده نشان می دهد که استفاده از الگوریتم ژنتیک در مراحل آموزش، می تواند دقت مدل را تا حدود 19 درصد افزایش یابد.

منابع

- اکبر زاده، ع.، نوری، ر.، فرخ نیا، ا.، خاکپور، ا.، و صباحی، م. س. (1389). تحلیل دقت و عدم قطعیت مدل‌های هوشمند در پیش بینی ضریب انتشار طولی رودخانه‌ها. مجله آب و فاضلاب، ص. 99-107.
- ایزدی نیا، ا. و عابدی کویابی، ج. (1389). تعیین ضریب پراکندگی طولی در رودخانه‌ها. مجله تحقیقات منابع آب، 7(1)، ص. 59-66.
- البرزی، م. (1380). آشنایی با شبکه های عصبی مصنوعی. مؤسسه انتشارات علمی. تهران.
- پارسائی، ع.، احمدی، م. م. و قادری، ک. (1392). شبیه سازی عددی انتشار آلودگی در رودخانه ها بوسیله توسعه همزمان روش عددی حجم محدود و مدل شبکه عصبی تطبیقی مجله علوم ومهندسی آب، شماره(4)، ص 97-119.
- پور آباده‌ای، م.، امیری تکلدانی، ا.؛ و لیاقت، ع. (1386). بررسی تأثیر پارامترهای جریان بر ضریب پخش عرضی آلودگی در یک کانال مستطیلی، ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، شهرکرد، ص. 78-87.
- پور آباده‌ای، م.، تکدانی، ا. م. و لیاقت، ع. (1384). بررسی پارامترهای جریان بر ضریب آلودگی در کانال‌های مستطیلی. پنجمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران. مشهد. 13 تا 16 اردیبهشت ماه. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد، ایران. ص. 45-65.
- پور مقدم، م. و کوچک زاده، ص. (1388). بررسی تأثیر شیب طولی بر ضریب اختلاط عرضی با روش جدید عکس برداری هوایی. هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران، ص. 67-69.
- پور مقدم، م. و کوچک زاده، ص. (1389). مطالعه اثر زبری بستر بر ضرایب انتشار و پخشیدگی مواد محلول در مقاطع مرکب، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد، ص. 45-56.
- حسینی، ج.، ابریشمی، س. م. (1384). اصول جریان در مجاری روباز. انتشارات استان قدس رضوی. ص. 56-59.
- رضائی، ع. ر. و رنجبران، س. (1386). آموزش کاربردی الگوریتم ژنتیک در نرم افزار Matlab. انتشارات آذر-کتاب پدیده، تهران، ص. 34-47.
- ریاحی مدوار، ح.، و ایوب زاده، س. ع. (1387). تخمین ضریب پراکندگی طولی آلودگی با استفاده از سیستم استنتاج فازی-عصبی انطباقی، نشریه آب و فاضلاب، 34، ص. 34-46.
- جورابیان، م. و هوشمند، ر. (1380). منطق فازی و شبکه های عصبی (مفاهیم و کاربرد انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز، ص. 34-65.
- کیا، س. م. (1391). محاسبات نرم در نرم افزار Matlab. انتشارات کیان رایانه سبز، ص 621.
- محمودیان شوشتری، م. (1388). اصول جریان در مجاری روباز. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. دو جلد.
- نظام آبادی، ح. (1389). الگوریتم وراثتی مفاهیم پایه و مباحث پیشرفته. انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ص. 34-45.
- Atkinson, T. C. and Davis, P. M. (1999). Longitudinal dispersion in natural channels: 1. Experimental results from the River Severn, U.K. Hydrol. Earth Syst. Sci., 4(3):pp. 345-353.

- Azamathulla, H. and Ghani ,A. (2011).** Genetic Programming for Predicting Longitudinal Dispersion Coefficients in Streams. *Water Resources Management* ,25(6): pp.1537-1544.
- Davis, P. M. and Atkinson ,T. C. (1999).** Longitudinal dispersion in natural channels: 3. An aggregated dead zone model applied to the River Severn, U.K. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 4(3) pp.373-381.
- Davis, P. M., Atkinson ,T. C. and Wigley ,T. M. L. (1999).** Longitudinal dispersion in natural channels: 2. The roles of shear flow dispersion and dead zones in the River Severn, U.K.. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 4(3):pp. 355-371.
- Deng, Z., Bengtsson, L., Singh V. and Adrian, D. (2002).** Longitudinal Dispersion Coefficient in Single-Channel Streams. *Journal of Hydraulic Engineering* 128(10),pp. 901-916.
- Deng, Z., Singh, V. and Bengtsson, L. (2001).** Longitudinal Dispersion Coefficient in Straight Rivers. *Journal of Hydraulic Engineering* 127(11),pp. 919-927.
- Etemad-Shahidi, A. and Taghipour, M. (2012).** "Predicting Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Streams Using M5' Model Tree." *Journal of Hydraulic Engineering* 138(6),pp. 542-554.
- Fuat Toprak, Z. and Emin savci, M. (2004).** Predicting Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Streams using Fuzzy logic. *conference of Hydrology Istanbul Turkey*,pp.54-78.
- Kashefipour, S. M. and A. Falconer, R. (2002).** Longitudinal dispersion coefficients in natural channels. *Water Research* 36(6),pp. 1596-1608.
- Riahi-Madvar, H., Ayyoubzadeh, S. Khadangi ,A. E. and Ebadzadeh ,M. M. (2009).** An expert system for predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams by using ANFIS. *Expert Systems with Applications*, 36(4),pp. 8589-8596.
- Sahay, R. (2011).** Prediction of longitudinal dispersion coefficients in natural rivers using artificial neural network. *Environmental Fluid Mechanics* ,11(3),pp. 247-261.
- Seo, I. and Baek, K. (2004).** Estimation of the Longitudinal Dispersion Coefficient Using the Velocity Profile in Natural Streams. *Journal of Hydraulic Engineering* ,130(3),pp. 227-236.
- Seo, I. and Cheong, T. (1998).** "Predicting Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Streams." *Journal of Hydraulic Engineering* ,124(1): 25-32.
- Seo, I. and Cheong ,T. (2001).** Moment-Based Calculation of Parameters for the Storage Zone Model for River Dispersion. *Journal of Hydraulic Engineering* ,127(6),pp. 453-465.
- Shen, C., J., Niu, E. Anderson ,J. and Phanikumar ,M. S. (2010).** Estimating longitudinal dispersion in rivers using Acoustic Doppler Current Profilers. *Advances in Water Resources*, 33(6),pp. 615-623.

Tayfur, G. and Singh ,V. (2005). Predicting Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Streams by Artificial Neural Network. *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(11),pp. 991-1000.

Toprak, Z. F. and H. K. Cigizoglu (2008). Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams by artificial intelligence methods. *Hydrological Processes*, 22(20),pp. 4106-4129.