



دانشکده مهندسی عمران

پایاننامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازههای هیدرولیکی

# مدل استنتاج هوشمند ترکیبی برای افزایش دقت عمق آبشستگی در اطراف پایههای پل

نگارنده: محمدرضا زهفروش

اساتيد راهنما

دكتر احمد احمدى

دكتر اميرعباس عابديني

مهر ۱۳۹۸

			1.544		
			<i>6.</i>		
an/rat	1				
	Ee				
٩	تاريخ: ١٨/٠٧/٢	باسمه تعالى		(M)	
	,			دارتما مسترية سرود	
			ى	مديريت تحصيلات تكميا	

#### فرم شماره (۳) صورتجاسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمدرضا زهفروش با شماره دانشجویی ۹۵۰۷۶۲۴ رشته مهندسی عمران گرایش آب و سازههای هیدرولیکی تحت عنوان مدل استناج هوشمند ترکیبی برای افزایش دقت عمق آبشستگی در اطراف پایه های پل که در تاریخ ۹۸/۰۷/۲۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

		nen lagaran	مردود 🗌 عملی 🗌	ول (با درجه: <u>حوس</u> ) 🖸 ع تحقيق: نظري 🗹
I	امضاد	مرثبة علمى	تام ونام خانوادگی	عضو هيأت داوران - م
	- e	دانشيار (	دکٹر احمد احمدی	۱۔ استادراہنمای اول
_	-f+	استاديار	دكتر أميرعباس عابديني	۲- اُستادراهنمای دوم
			-	۳- استاد مشاور
	There	استاديار	دکتر عماد محجوبی	۴- نماینده تحصیاات تکمیلی
	Til	دانشیار 	دکتر رامین امینی	۵- استاد ممتحن اول
	Carlin	استاديار	دکتر مهدی عجمی	9 استاد ممتحن دوم
		نر زضا نادری نشکدم	المعالم المعالم مسلم عمال المعالم المعال معالات المعالم ا	نام وناد دانشگده م آموزش قامه
• •	ن نامه خود دفاع نماید (دفاع م	سیل) می تواند از پایار	کثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحم	ه: در صورتی که کسی مردود شود حداً؟ ه: در اودتر از ۴ ماه برگزار شود).



مادر

يد ا ج

وبمسرعونهم

سمر وقدرداني

سایس آفرینده بی هم را که زندگی ام بخشد تا سر سلیم و بندگی بر آسان مهرآ فرین او فرود آورم. وباژرف ترین ساس : - از اساد ار جمندم جناب آقای دکتر امیر عباس عارینی به پاس دانش فراوان و لطف بی پایانشان. - از اساد بزرگوارم جناب آقای دکتر احد احدی برای را بنائی؛ و زحات بی دریغشان. وسایں فراوان: از پدر وماد م که هرآنچه دارم به پشوانه آنهاست و بمسرعزیز م که پایای کنارم بود

تعهدنامه

اینجانب محمدرضا زهفروش دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب و سازههای هیدرولیکی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایاننامه مدل استنتاج هوشمند ترکیبی برای افزایش دقت عمق آبشستگی در اطراف پایههای پل تحت راهنمائی دکتر احمد احمدی و امیرعباس عابدینی متعهد میشوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
  - در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایاننامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
  - کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود میباشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
    - حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایح اصلی پایاننامه تأثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایاننامه رعایت می گردد.
  - در کلیه مراحل انجام این پایاننامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و
     اصول اخلاقی رعایت شده است .
  - در کلیه مراحل انجام این پایاننامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده
     است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

#### تاريخ

امضاي دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود میباشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایاننامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیدہ

آبشستگی پایههای پل، یکی از دلایل اصلی شکست پل میباشد. بنابراین، دقت پیشبینی عمق آبشستگی در اطراف پایههای پل، هم برای تعیین عمق کافی برای اجرای فونداسیون پایههای پل-های جدید و هم بهجهت ارزیابی و نظارت بر ایمنی پلهای موجود، امری مهم تلقی میشود. در این تحقیق، یک مدل هوشمصنوعی (AI) جدید، با نام شبکه فازی \_ عصبی شعاع مبنای استنتاجی هوشمند (IFRIM) ارائه شده است. این مدل ترکیبی از شبکه عصبی شعاع مبنی (RBFNN)، منطق فازی (FL) و الگوریتمهای بهینهسازی است؛ که در آن دادههای ورودی با استفاده از منطق فازی، به-صورت فازی تبدیل شده، سپس بهینه ترین پارامترهای شبکه فازی \_ عصبی حاصله با استفاده از الگوریتم بهینهساز، اخذ شده و در نهایت خروجیهای فازی اخذ شده توسط توابع دفازیسازی به خروجیهای عددی تبدیل میشوند. در تحقیق پیشرو از الگوریتمهای بهینهساز کلنی زنبور عسل (ABC)، الگوریتم ژنتیک (GA) و توزیع جمعیت (PSO) بررروی دو سری داده آزمایشگاهی و دادههای صحرائی که توسط سازمان نقشهبرداری امریکا جمعاوری گشتهاند استفاده شده و در نهایت امر با یکسری دادههای صحرائی دیگری که توسط فروهلیچ جمع آوری شده شبکه فازی\_ عصبی مذکور صحتسنجی شده است. در این تحقیق برای توصیف تحلیلها از جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب همبستگی (CC) بین مقادیر پیشبینی شده و مقادير واقعى استفاده گشته است. اين مقادير براي الگوريتم بهينهسازي كلني زنبور عسل به ترتيب برای دادههای آزمایشگاهی 0.1، 0.019 و 0.81، برای دادههای صحرائی 0.089، 0.018 و 0.93 و در مرحله صحتسنجی برای دادههای فروهلیچ برابر با 0.085، 0.019 و 0.94 میباشد که نسبت به سایر الگوریتمها در کل عملکرد بهتری داشته است. در مقایسه عملکرد این تحقیق با سایر تحقیقات مشابه با این موضوع می توان به این نتیجه رسید که خطای کار در این تحقیق پایین آمده که بهصورت تفضیلی در متن این تحقیق بحث شدهاست.

**کلمات کلیدی:** آبشستگی، هوش مصنوعی، شبکه فازی \_ عصبی، بهینهسازی، الگوریتم کلنی زنبور عسل، الگوریتم ازدحام جمعیت، الگوریتم ژنتیک

. فهرست مطالب

ు	فهرست جداول
٥	فهرست اشكال
١	فصل۱ : مقدمه
۲	۱–۱ مقدمه
۳	۲–۱ اهمیت بررسی پدیده آبشستگی
۴	۱-۳ هدف از انجام مطالعه تحقیق حاضر
۶	۴–۱ ساختار پایان نامه
٩	فصل۲ : پدیده آبشستگی در محل پایههای پل و مروری بر تحقیقات گذشته
۱۰	۲–۱ مقدمه
۱۱	۲-۲ آبشستگی پایه پل
۱۲	۲-۲-۱ آبشستگی عمومی
۱۳	۲-۲-۲ آبشستگی ناشی از تنگشدگی
۱۵	۲-۲-۳ آبشستگی پایه کناری پل
۱۶	۲-۲-۴ آبشستگی موضعی پایههای پل
۱۷	۲-۳ مکانیزم آبشستگی
۱۸	۲-۴ عمق آبشستگی متعادل
۲۱	۲-۵ بررسی متغیرهای موثر بر آبشستگی محلی پایه پل
74	۲-۶ مروری بر تحقیقات گذشته أ

74.	۱-۶-۲ روابط تجربی آبشستگی
41.	۲-۶-۲ مدلهای عددی آبشستگی
۵١	فصل۳ : روش تحقیق و معرفی شبکه فازی_عصبی شعاع مبنا و الگوریتمهای بهینهسازی
۵۲.	۱-۳ مقدمه
۵۳.	۲-۳ معماری شبکههای عصبی
۵۴.	۳-۲-۱ شبکههای عصبی شعاع مبنا
۵۶	۳–۲–۲ منطق فازی
۵۷.	۳-۲-۳ الگوریتم بهینهسازی ژنتیک
۵۸.	شكل٣-٥:مدل الگوريتم ژنتيک
۶۰	۳-۲-۴ الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات
۶۷	۳–۲–۵ الگوریتم بهینهسازی کلنی زنبور عسل
۷۰.	۳-۳ معماری شبکه استنتاج فازی
۷۱.	۴-۳ جمعبندی
۷۲ .	۳-۴-۳ دلیل آماری
۷۳ .	۳-۴-۳ دلیل محاسباتی
۷۴.	۳–۴–۳ دلیل نمایشی
۷۷	فصل۴ : دادهها، ساخت مدل شبکههای فازی-عصبی و مقایسه نتایج آنها
۷۸ .	۴–۱ مشخصات دادههای آزمایشگاهی
۷۹.	۴-۲ آمار و اطلاعات صحرایی
λ۰.	۴-۳ ساخت مدل، پیشبینی عمق آبشستگی و مقایسه نتایج
λ۰.	۴–۳–۱ نحوه انتخاب دادههای آموزش
۸۱.	۴-۳-۲ نحوه اعمال پارامترهای ورودی به شبکه

۸۳	۴-۳-۳ نرمافزار مورد استفاده
ن	۴–۳–۴ ورود دادههای آزمایشگاهی و آموزش و آزمایش آر
ىنجى آن٩٢	۴-۳-۵ ورود دادههای صحرائی، آموزش، آزمایش و صحت
۱۰۷	فصل۵: جمعبندی، نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۸	۵-۱ جمعبندی
۱۰۹	۵-۲ نتیجهگیری
۱۰۹	۳-۵ پیشنهادات
111	مراجع
118	پيوست۱
١٢٣	پيوست٢

فهرست جداول

۳۲.	جدول۲-۱:ضریب تصحیح نوع پایه پل K1 K1 جدول۲-۲:ضریب تصحیح نوع پایه پل
۳۳.	جدول۲-۲:ضریب تصحیح زاویه جریان k2 (a عرض پایه پل و L طول پایه پل)
۳۶.	جدول۲-۳:ضریب تصحیح برای شرایط بسترK3
γ٩٠	جدول۴-۱:محدوده پارمترهای دادههای آزمایشگاهی
γ٩٠	جدول۴-۲:محدوده پارمترهای دادههای میدانی
۸۲۰	جدول۴-۳:مقادیر اولیه پارامترهای به کار گرفته شده در شبکه استنتاج فازی-عصبی
	جدول۴–۴:نتایج حاصل از آموزش و آزمایش شبکه استنتاج فازی با سه الگوریتم بهینه سازی با داده های
٨۵	آزمایشگاهی
	جدول۴–۵:نتایج حاصل از آموزش و آزمایش شبکه استنتاج فازی با سه الگوریتم بهینه سازی با داده های
94.	صحرائی
ئى	جدول۴-۶:نتایج حاصل از صحتسنجی شبکه استنتاج فازی با سه الگوریتم بهینه سازی با داده های صحرا
٩۵	
١٠	جدول۴–۷:نتایج حاصل از آموزش و آزمایش توسط چنگ و چااو ۵

فهرست اشكال

۲-	شکل۱-۱:عملکرد جریان در اطراف پایه پل [۷]
١١	شکل۲–۱:گذر پل [۶]
۱١	شکل۲-۲:آبشستگی ناشی تنگشدگی [۶]
۱۵	شکل۲-۳:آبشستگی پایه کناری پل [۶]
۱۱	شکل۲–۴:سیستم گردابی در محل پایه پل [۶]
۲۰	شکل۲-۵:تغییرات عمق آبشستگی با سرعت جریان بالادست [۶]
۲۰	شکل۲-۶:آستانه حرکت ذرات بستر [۶]
٣١	شکل۲–۷:شکل پایه های پل[۶]
۵١	شکل۳-۱:نحوه عملکرد شبکه های عصبی [۶]
۵١	شکل۳–۲:یک شبکه تک لایه[۶]
۵١	شکل۳-۳:نمایش خلاصه از یک شبکه تک لایه[۶]
۵۵	شکل۳-۴:ساختار شبکه عصبی شعاع مبنا [۷]
۵١	شكل٣-۵:مدل الگوريتم ژنتيکشكل٣-۵
۶١	شكل٣-6:شكل كلى الگوريتم ازدحام جمعيت
91	شكل٣-٢:مدل الگوريتم كلنى زنبور عسل [٧]
۷۷	شکل۳–۸:شمای شبکه استنتاج فازی [۷]
۷١	شکل۳-۹:دلیل آماری برای کارایی ترکیب یادگیرها [۶]
۲۷	شکل۳-۱۰:دلیل محاسباتی برای کارایی ترکیب یادگیرها [۶]،
۷١	شکل۳-۱۱:دلیل نمایشی برای کارایی ترکیب یادگیرها [۶]۲۰۰۰
٧J	شكل۴-۱:نمایش عمق آبشستگی پایه پل[۷]، میکل۴-۱:نمایش عمق آبشستگی پایه پل
٨١	شکل۴-۲:شمای تابع عضویت گوسی[۷]۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰
	شکل۴–۳:نمونهای از نمودار همگرائی شبکه فازی عصبی در مرحله آموزش مربوط به الگوریتم ژنتیک برای
٨۶	ﺩﺍﺩﻩﮬﺎﯼ ﺁﺯﻣﺎﯾﺸﮕﺎﮬﯽ

شکل۴-۴:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مرحله آموزش) ۸۶
شکل۴–۵:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مرحله آزمایش)۸۷
شکل۴-۶:نمونهای نمودار مربوط به ضریب همبستگی مرحله آزمایش الگوریتم ژنتیک۸۷
شکل۴–۷:نمونهای از نمودار همگرائی شبکه فازی عصبی در مرحله آموزش مربوط به الگوریتم ازدحام جمعیت برای دادههای آزمایشگاهی
شکل۴-۸:نمونهای گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات (مرحله آموزش)
شکل۴–۹:نمونهای گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات (مرحله آزمایش)۸۹
شکل۴-۱۰:نمونهای نمودار مربوط به ضریب همبستگی مرحله آزمایش الگوریتم ازدحام ذرات۸۹
شکل۴–۱۱:نمونهای نمونهای از نمودار همگرائی شبکه فازی عصبی در مرحله آموزش مربوط به الگوریتم کلنی زنبور عسل برای دادههای آزمایشگاهی
شکل۴–۱۲:نمونهای گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم کلنی زنبور عسل (مرحله آموزش)
شکل۴–۱۳:نمونهای گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم کلنی زنبور عسل (مرحله آزمایش)
شکل۴-۱۴:نمونهای نمودار مربوط به ضریب همبستگی مرحله آزمایش الگوریتم کلنی زنبور عسل۹۱
شکل۴–۱۵:نمونهای از نمودار همگرائی شبکه فازی عصبی در مرحله آموزش مربوط به الگوریتم ژنتیک برای دادههای صحرائی
شکل۴–۱۶:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مرحله آموزش) ۹۶
شکل۴–۱۷:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مرحله آزمایش) ۹۷
شکل۴–۱۸:نمونهای از نمودار مربوط به ضریب همبستگی مرحله آزمایش الگوریتم ژنتیک۹۷ شکل۴–۱۹:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مرحله
صحتسنجی)۹۸ شکل۴-۲۰:نمونهای از نمودار مربوط به ضریب همبستگی مرحله صحتسنجی الگوریتم ژنتیک۹۸

شکل۴–۲۱:نمونهای از نمودار همگرائی شبکه فازی عصبی در مرحله آموزش مربوط به الگوریتم ازدحام
جمعیت برای دادههای صحرائی ۹۹
شکل۴–۲۲:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ازدحام جمعیت (مرحله
آموزش) ٩٩
شکل۴–۲۳:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ازدحام جمعیت (مرحله -
ازمایش)
شکل۴-۲۴:نمونهای از نمودار مربوط به ضریب همبستگی مرحله آزمایش الگوریتم ازدحام جمعیت۱۰۰
شکل۴–۲۵:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ازدحام جمعیت (مرحله
صحتسنجی)
شکل۴-۲۶:نمونهای از نمودار مربوط به ضریب همبستگی مرحله صحتسنجی الگوریتم ازدحام جمعیت۱۰۱
شکل۴–۲۷:نمونهای از نمودار همگرائی شبکه فازی عصبی در مرحله آموزش مربوط به الگوریتم کلنی زنبور
عسل برای دادههای صحرائی
شکل۴–۲۸:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم کلنی زنبور عسل (مرحله
آموزش)
شکل۴-۲۹:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم کلنی زنبور عسل (مرحله
آزمایش)
شکل۴-۳۰:نمونهای از نمودار مربوط به ضریب همبستگی مرحله آزمایش الگوریتم کلنی زنبورعسل۱۰۳
شکل۴–۳۱:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم کلنی زنبور عسل (مرحله
صحتسنجی)
شکل۴-۳۲:نمونهای از نمودار مربوط به ضریب همبستگی مرحله صحتسنجی الگوریتم کلنی زنبورعسل ۱۰۴۰

. فصل ۱ : مقدمه

۱–۱ مقدمه

آبشستگی پایههای پل در مسیر رودخانه، پدیدهای پیچیده میباشد؛ که همه مهندسان پل در جهان را به چالش میکشد [۷]. پایههای پل در تقاطع با مسیر رودخانه، سطح مقطع جریان رودخانه را کم کرده و به تبع آن جریان طبیعی آب مختل میشود. این پدیده، بهطور ناگهانی سرعت جریان رودخانه را تغییر داده و باعث ایجاد موجهایی در بالادست پایههای پل شده که سبب انقباض بستر رودخانه میشود. این فرآیند تنشهای برشی روی بستر را افزایش داده و باعث شسته شدن رسوب و از بین رفتن سنگ بستر در اطراف پایههای پل شده و در نتیجه تراز بستر کاهش میابد [۱۳]. این عمل فرسایشی در نهایت تراز بستر کانال را تا زیر فونداسیون پایههای پل کاهش داده و منجر به شکست پل میشود (شکل ۱–۱). فرایند آبشستگی، زمانی که مقدار رسوب ورودی برابر با مقدار رسوب خروجی است، متعادل تلقی میشود [۱۴].



شکل۱-۱:عملکرد جریان در اطراف پایه پل [۷]

آبشستگی یکی از علل شکست پل در سطح جهان [۱۵] و شایع ترین دلیل شکست پل در ایالات متحده آمریکا است[۱۶]؛ که حدود ۶۰ درصد از ۱۰۰۰ مورد شکست پل در آمریکا به از بین رفتن فنداسیون پایه پل مربوط می شود[۱۷]. شکست پل به دلیل آب شستگی به طور ناگهانی و بدون هیچ-گونه نشانه قبلی اتفاق می افتد. در نتیجه شکست پل ها که یکی از دلایل آن آب شستگی است، حمل و نقل مختل شده و در نتیجه به اقتصاد و بشریت خسارت جدی وارد می کند.

# ۱-۱ اهمیت بررسی پدیده آبشستگی

عمق آبشستگی، یکی از عوامل مهم در طراحی عمق فونداسیون پایههای پل و پیشبینی آن با کمترین خطای ممکن برای طراحی عمق فونداسیون پایههای پل، بهترین راه و روش برای حفاظت از پایههای پل میباشد [۷]. ساخت پایههای پل یک عملیات پرهزینه میباشد و طراحی مجدد آن با استفاده از عمق آبشستگی ممکن است منجر به هزینههای قابل توجهی شود؛ در حالی که نبود آن ممکن است منجر به شکست پل شود که یک خسارت جدی است. بنابراین، برآورد دقیق عمق آب-شستگی در اطراف پایههای پل، به دلیل اهمیت فوقالعاده برای طراحی ایمن و اقتصادی پایههای پل، الزامی میباشد.

محققان زیادی در زمینه توسعه راههای بهدست آوردن دقیق برآورد عمق آبشستگی در پلها علاقهمند هستند. فرمولهای تجربی زیادی برای این امر وجود دارد؛ که از آزمایشهای در مقیاس کوچک و شرایط ساده برای استخراج فرمول استفاده شده که فرض میکنند مواد تشکیل دهنده بستر غیرمسطح و یکنواخت بوده و عمق آب ثابت و جریان آب پایدار میباشد. در نتیجه، هر فرمول تجربی برای برآورد عمق آبشستگی، فقط در محدوده تعریف شده آزمایش انجام شده، دقیق است و در واقعیت نتایج خیلی ضعیفی ارائه میدهد [۱۸]. مولر و اگنر در سال ۲۰۰۵ اثربخشی ۲۲ فرمول ها خیلی عمق آبشستگی پایه پل را بررسی کردند و دریافتند که مقدار پیشبینی شده با فرمولها خیلی

بیشتر از مقادیر اندازه گیری شده است [۱۹].

### ۱-۳ هدف از انجام مطالعه تحقيق حاضر

پیشبینیهای نادرست روشهای گفته شده در دنیای واقعی، ناشی از پیچیدگی شرایط واقعی پلها میباشد که در شرایط و مقیاس آزمایشگاه قابل اعمال نمیباشد. عوامل متعددی بر عمق آبشستگی، از جمله مواد تشکیل دهنده بستر رودخانه، سرعت جریان و میزان انسداد بستر رودخانه توسط پایه پل تاثیرگذار است. بنابراین، برقراری ارتباط بین عمق آبشستگی و هر عامل تاثیرگذار آن پیچیده و بالقوه غیرخطی است [۷]. علاوه بر این، دادههای ورودی مورد استفاده برای نشان دادن پدیدههای طبیعی معمولا مبهم و کیفی هستند. در نهایت، استخراج این روابط پیچیده و غیرخطی و مدیریت دادههای ورودی مبهم، خارج از توانایی این فرمولهای تجربی است. در این جا است که ضرورت و اهمیت حیاتی یک روش قابل اعتماد که بتواند به طور دقیق عمق آبشستگی در اطراف پایههای پل را برآورد کند به چشم میخورد.

مدلهای استنتاجی مبتنی بر هوش مصنوعی<sup>۱</sup>، مانند شبکه عصبی مصنوعی<sup>۲</sup> و منطق فازی<sup>۳</sup> یک رویکرد جایگزین مناسب برای مسئله تخمین عمق آبشستگی هستند. این مدلها، در واقع شبیهساز فرآیندهای استنتاج انسان میباشند که برای بهدست آوردن نتایج جدید از رکوردهای قبلی استفاده میکنند؛ که با تغییرات سازگار بوده و نتایج قابل قبولی را ارائه میکند. بنابراین، مدلهای استنتاجی یاد شده، یک ابزار قدرتمند برای مدلسازی با استفاده از دادهها میباشند که قادر به گرفتن و ارائه روابط پیچیده ورودی\_خروجی هستند. از اینرو، مزایای استفاده از هوش مصنوعی، محققان مختلف را علاقهمند به استفاده از تکنیکهای مبتنی بر هوش مصنوعی، برای پیشبینی عمق آبشستگی کرده-است[۱].

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Artificial Intelligence (AI)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Artificial Neural Network (ANN)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Fuzzy Logic (FL)

شبکه عصبی شعاع مبنا<sup>۱</sup> در زمینههای مختلف، بهدلیل مزایای متعددی که نسبت به شبکه عصبی پسانتشار دارد<sup>۲</sup>، بهطور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. این ویژگیها عبارتند از: زمان نسبتا کوتاه آموزش شبکه، به دلیل ساختار ساده[۲۰]، عملیات آسان، با توجه به پارامترهای کنترلی کمتر[۲۱] و عملکرد بهتر در برخورد با بسیاری از مسائل[۲۲] [۲۳].

در این روش، منطق فازی، اطلاعات مبهم را بهطور موثری مدیریت میکند[۲۴]. اطلاعات جمع آوری شده در مورد پدیده های طبیعی، اغلب شامل انواع ابهامات میباشند. از این رو، اگرچه منطق فازی هنوز برای حل مسائل عمق آب شستگی پایه پل استفاده نشده است، اما استفاده از این تکنیک هوش مصنوعی، برای حل ابهام در مسئله عمق آب شستگی معتبر میباشد. منطق فازی اغلب با سایر تکنیکهای هوش مصنوعی ترکیب شده است تا توانایی استدلال تقریبی مدل های استنتاج را افزایش دهد [۲۵]. در نتیجه تلفیق شبکه عصبی شعاع مبنا و منطق فازی، میتواند یک مدل استنتاج موثر برای تخمین عمق آب شستگی پایه پل باشد.

در مدل یاد شده، برای به حداکثر رساندن عملکرد شبکه عصبی شعاع مبنا و منطق فازی، کاربران باید بهطور همزمان مقادیر پارمترهای کنترل را مشخص کنند. پارامترهایی که باید در مدل شبکه عصبی شعاع مبنا تعیین شوند عبارتند از: تعداد نورونهای پنهان و عرض تابع گاوس[۲۶] [۲۷]. تنظیمات مناسب پارامترها، میتواند عملکرد مدل شبکه عصبی شعاع مبنا را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. در صورتی که اگر این پارامترها بهطور مناسب تنظیم نشوند، ممکن است نتیجه عکس ارائه دهد. پارامترهای مربوط به منطق فازی، که باید از پیش تعیین شوند، شامل تابع عضویت<sup>7</sup>، تعداد قوانین و عملیات مجموعه فازی است. این فرآیند از پیش تعریف شده ذاتا طبیعی بوده و زمینهای را که

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Radial Basis Function Neural Network (RBFNN)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Back Propagation Neural Network (BPNN)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Membership Function (MF)

مرتبط است[٢۵].

با توجه به مسائل ذکر شده، شناسایی مناسبترین مجموعه پارامترهای مدل یک نوع مسئله بهینهسازی است. از اینرو ترکیب شبکه عصبی شعاع مبنا و منطق فازی با یک الگوریتم بهینهسازی به عنوان یک موتور جستجو ممکن است یک راه حل کارآمد برای مسئله فوق باشد.

این تحقیق، یک مدل استنتاج جدید، با عنوان مدل استنتاج هوشمند فازی\_عصبی شعاع مبنا<sup>۱</sup> را ارائه میدهد. این مدل، در واقع ترکیبی از شبکه عصبی شعاع مبنا، منطق فازی و یک الگوریتم بهینه-ساز است؛ که عملکرد مدل ارائه شده در این تحقیق، در مقایسه با سایر روشهای هوشمصنوعی و روشهای ریاضی مانند HEC\_18 [۱۵]، روش میسیسیپی [۱۷]، روش لارسن و تاچ [۱۳] و روش فورهولیچ [۲۸] بهتر میباشد.

### ۴-۱ ساختار پایاننامه

این پایان نامه شامل پنج فصل است که به شرح زیر می باشد:

- فصل اول، مقدمه و هدف بوده و در آن اهمیت تحقیق به طور خلاصه مورد بررسی قرار
   گرفته است.
- فصل دوم، پدیده آبشستگی و بویژه آبشستگی موضعی در محل پایههای پل، مورد بحث قرار خواهد گرفت. در این فصل شرایط جریان در اطراف پایههای پل و مکانیزم آب-شستگی در این محل بررسی میشود. در ادامه، معادلات تجربی برآورد عمق آبشستگی با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر بر آن توضیح داده خواهد شد و به معرفی تعدادی از مدلهای عددی در زمینه آبشستگی که بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد، پرداخته است و در آخر به معرفی شبکههای عصبی و نمونههایی از کارهایی که در گذشته انجام شده آورده خواهد شد.

<sup>1</sup> Intelligent Fuzzy Radial basis Function neural network Inference Model (IFRIM)

- فصل سوم، به معرفی ساختار شبکههای عصبی، شبکه شعاع مبنای استنتاج فازی\_عصبی
   و الگوریتم بهینه سازی مورد استفاده در این تحقیق آورده شده است.
- در فصل چهارم به معرفی دادههای مورد استفاده در این تحقیق، نتایج حاصل از مدلهای شبکههای استنتاج فازی\_عصبی با الگوریتمهای بهینه سازی مورد استفاده و مقایسه آنها با یکدیگر و با بهترین کار گذشته پرداخته شده است.
- در فصل پنجم، جمع بندی کارهای انجام شده در این تحقیق، شامل ارزیابی مدلهای توسعه یافته هوشمند بهینه شده، بررسی روابط تجربی و مقایسه این مدلها و روابط با استفاده از دادههای آزمایشگاهی و آمار صحرایی و همچنین پیشنهاداتی برای ادامه این تحقیق ارائه شده است.

نس مسلم : بدیده آب شیکی در محل مایه کامی مل مروری بر تحقیقات کذشته

#### ۲–۱ مقدمه

سازههای آبی که الگوی جریان را در اطراف خود تغییر میدهند، ممکن است موجب بروز آبشستگی محلی شوند، زیرا تغییر ویژگیهای جریان (سرعت و یا آشفتگی) به تغییر ظرفیت حمل رسوب میانجامد؛ که این خود به عدم تعادل بین ظرفیت واقعی حمل رسوب و ظرفیتی که جریان رسوب را حمل میکند، منجر میشود. نهایتا به دنبال شرایط هیدرولیکی تطبیق یافته با آشفتگی، ممکن است تعادل جدیدی بوجود آید. بهطور کلی آبشستگی به موارد زیر اطلاق میشود:

- فرسایش بستر و کناره آبراهه در اثر عبور جریان؛
- فرسایش بستر در پاییندست سازههای هیدرولیکی به علت شدت جریان زیاد؛
  - فرسایش بستر در اثر بوجود آمدن جریانهای متلاطم موضعی؛

عمق ناشی از فرسایش بستر به بستر اولیه را عمق آبشستگی مینامند. از آنجایی که مکانیزم عمل آبشستگی در مکانهای مختلف متفاوت میباشد، از این رو آبشستگی را به دو نوع تقسیم میکنند، نوع اول را آبشستگی همگرا<sup>۱</sup> مینامند. این نوع آبشستگی در مکانهایی رخ میدهد که سرعت جریان به دلایلی افزایش مییابد، به طور مثال کاهش مقطع رودخانه در محل پلها. نوع دیگر آبشستگی، آبشستگی موضعی<sup>۲</sup> میباشد که در پایین دست سازههای هیدرولیکی، در محل پایههای پل و بهطور کلی هر مکانی که شدت جریانهای متلاطم بطور موضعی افزایش یابد، بوجود میآید.

در مطالعات آبشستگی از دو اصطلاح آب زلال<sup>۳</sup> و بستر متحرک<sup>۴</sup> استفاده میشود. اصطلاح اول به شرایطی اطلاق میشود که حرکت رسوب از بالادست محل آبشستگی وجود ندارد، به عبارت دیگر شرایط جریان در رودخانه و یا فلوم آزمایشگاهی کمتر از شرایط آستانه حرکت میباشد، لذا رسوب منتقل نمیشود. در شرایط بستر متحرک، شرایط انتقال رسوب از بالادست فراهم بوده، بهطوریکه

2 Local Scour

<sup>1</sup> Contraction Scour

<sup>3</sup> Clear water scour

<sup>4</sup> Live-bed scour

این رسوبات از بستر رودخانه در بالادست تأمین می شود و یا در بالادست محل آب شستگی، رسوب تزریق می گردد؛ این شرایطی است که بیشتر در فلوم های آزمایشگاهی مشاهده می شود. در این شرایط بخشی از رسوبات بالادست، وارد حفرهی آب شستگی شده و در نتیجه عمق آب شستگی نسبت به زمان، کم و یا زیاد می شود. اصولا حداکثر عمق آب شستگی در شرایط آب زلال، بیشتر از شرایط بستر متحرک می باشد. از این رو در جهت ضریب اطمینان اکثر مطالعات آزمایشگاهی در خصوص عمق آب شستگی، در شرایط آب زلال انجام می شود؛ مگر اینکه شرایط بستر زنده (متحرک) تأکید شود [۲۶].

# ۲-۲ آبشستگی پایه پل

۴- آبشستگی پایه پل'.

مهندسین رودخانه بنا به دلایل زیر به گذرگاههای پلها اهمیت میدهند:

۱- انتخاب سنجیده موقعیت پل، جهت به حداقل رسانیدن هزینه های کل آن؛

۲- حفاظت در برابر شکستهای احتمالی سازه به خاطر آب شستگی خاکریزها و پایهها.

محل تقاطع پل با رودخانه باید ترجیجا در بازههای مستقیم و یا در خمهای پایدار بدون انحراف جانبی انتخاب شود. مکانهایی با سیلابدشت کم عرض، رخنمونهای سنگی<sup>۱</sup> و یا پرتگاههای بلند، موقعیتهای مناسبی برای عبور پلها هستند. مسیرهای مسستقیم بیشتر به جهت اجتناب از مسائلی نظیر انحرافهای جانبی و آبشستگی عمیق در خمها انتخاب میشوند.

حفاظت از خاکریزها و پایههای پل در برابر آبشستگی مستلزم در نظر گرفتن مسائل زیر است: ۱-آبشستگی عمومی<sup>۲</sup>؛ ۲- آبشستگی ناشی از تنگشدگی<sup>۳</sup>؛

- 1 Rock outcrops
- 2 General scour
- 3 Contaction scour

<sup>4</sup> Abutment scour

انواع آبشستگی مختصرا توضيح داده خواهد شد.

# ۲-۲-۱ آبشستگی عمومی

افزایش یا کاهش تراز فزاینده را میتوان به تغییرات رژیم رودخانه در نتیجه فرآیندهای طبیعی و یا فعالیتهای انسانی در رودخانه و یا حوضه آبریز نسبت داد. عوامل مؤثر در تغییرات بستر رودخانه عبارتند از:

۱- مخازن و سدها در بالادست و یا پاییندست موقعیت پل؛

۲- تغییرات در کاربری حوضه آبریز نظیر جنگلزدایی و توسعه شهری؛

- ۳- تثبیت و اصلاح رودخانه؛
- ۴- احداث میانبرهای مصنوعی و طبیعی در خم یک پیچانرود؛
- ۵- تغییرات تراز مبنا در پاییندست بازه پل از جمله ایجاد خندقها؛
  - ۶- استخراج شن از بستر رودخانه؛
  - ۷- انحراف آب به داخل و یا خارج از رودخانه؛
    - ۸- انحراف جانبی خم رودخانه؛
  - ۹- جابهجایی خطالقعر در یک رودخانه شریانی؛

هنگامی که آب شستگی عمومی، مهم به نظر می رسد، اغلب بهتر است که یک سازه کنترل شیب در پایین دست تقاطع با پل احداث شود. هدف این سازه، تنظیم تراز بستر در محل پل و حفاظت جناحین و پایه های پل می باشد (شکل ۲–۱).

1 Pier scour



شکل۲-۱:گذر پل [۶]

### ۲-۲-۲ آبشستگی ناشی از تنگشدگی

در محل احداث پل، معمولا عرض رودخانه کاهش مییابد. این عمل، باعث افزایش سرعت جریان و در نتیجه اضافه شدن ظرفیت حمل رسوب خواهد شد. افزایش ظرفیت حمل رسوب سبب می شود سطح مقطع جریان آنقدر افزایش یابد تا ظرفیت حمل رسوب کاهش یافته و برابر با ظرفیت حمل رسوب در مقاطع بالادست محل پل گردد. در این حالت فرسایش در این محل متوقف می گردد. این نوع آبشستگی ناشی از شتاب جریان در تنگشدگیهای رودخانه است. اگر عرض مقطع رودخانه  $w_1$ عمق جریان نزدیک به تنگشدگی ا $h_1$ ، سرعت متوسط جریان 1 و نرخ انتقال رسوب در واحد عرض عمق جریان نزدیک به تنگشدگی اله، سرعت متوسط جریان  $v_1$  می شود. با نوشتن و باشد، مقدار دبی کل انتقال رسوب  $w_1qs_1$  و دبی کل جریان  $w_1q_1$  می شود. با نوشتن

معادله پیوستگی بین مقطع ۱ و مقطع تنگ شده ۲ مقدار دبی در واحد عرض مقطع تنگشده بدست میآید:
$$q_2 = \frac{w_1}{w_2} q_1$$

که در آنجا  $q_1=h_1v_1$  و  $q_2=h_2v_2$  است. نرخ انتقال رسوب نیز در مقطع تنگشده پس از رسیدن به حالت تعادل بدست می آید:

$$qs_2 = \frac{w_1}{w_2}qs_1 \tag{(Y-Y)}$$

با مراجعه به شکل ۲-۲ عمق آبشستگی ناشی از تنگشدگی، 
$$\Delta Z$$
 ، برابر است با : $\Delta z = h_2 - h_1$ 



شکل۲-۲:آبشستگی ناشی تنگشدگی [۶]

## ۲-۲-۳ آبشستگی پایه کناری پل

پایههای کناری پل همچون آبشکنها میتوانند اشکال مختلفی داشته باشند و با زوایای متفاوتی نسبت به جهت جریان احداث شوند. مطابق شکل ۲-۳ معمولا لبه پایههای کناری خاکی یا پارهسنگی شیبدار <sup>۱</sup> هستند. فرسایش موضعی در پایههای کناری، به مقدار جریانی بستگی دارد که در برخورد با پایه کناری قرار میگیرد. عمق تعادلی آبشستگی بستر فعال، در مجاورت پایه کناری شیبدار، در جریان زیربحرانی عبارت است از [۲۷] :

$$\frac{\Delta z}{h_1} = 1.1 \left(\frac{L_a}{h_1}\right)^{0.4} Fr_1^{0.33}$$
(f-7)

مود بر  $L_a$  عمق آبشستگی،  $h_1$  عمق متوسط جریان در بالادست،  $L_a$  طول پایه کناری یا خاکریز، عمود بر  $\Delta Z$  ساحل رودخانه تا محل تلاقی سیل طرح تا ساحل و  $Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}$ ، عدد فرود در بالادست است.



1 Spillthrough

در صورتی که دیوارهای پایه کناری در جهتهای موازی و عمود بر جریان باشند، چاله آبشستگی تقریبا دو برابر فرمول (۲–۴) می شود [۲۷].

$$\frac{\Delta z}{h_1} = 2.15 \left(\frac{L_a}{h_1}\right)^{0.4} Fr_1^{0.33}$$
 (\delta-\gamma)

### ۲-۲-۴ آبشستگی موضعی پایههای پل

پایههای پل موجب فشردگی افقی جریان در رودخانه میشوند که مشابه تأثیر تکیهگاهها میباشد. اگر پایهای بهطور عمودی در بستر رودخانه قرارگرفته باشد، جریان آب در اطراف آن متلاطم شده، یک سلسله جریانهای گردابی را ایجاد میکند. این سیستمهای گردابی<sup>۱</sup> عامل اصلی آبشستگی به حساب میآیند که در دراز مدت باعث ایجاد حفره در محل پایه پل شده و ممکن است موجب ریزش پل گردد. آبشستگی در اطراف یک پایه پل معمولا فرآیندی نسبتا سریع میباشد. بسته به نوع پایه و شرایط جریان، سیستم گردابی ممکن است ترکیبی از یک یا چند نوع از سیستمهای زیر باشد [۲۶]. ۲- سیستم گردابی نعل اسبی<sup>۲</sup>؛

۵- سیستم گردابی موج کمانی ً.

<sup>2</sup> Horseeshoe vortex

<sup>3</sup> Wake vortex

<sup>4</sup> Trailing vortex

<sup>5</sup> Down flow

<sup>6</sup> Down wave

# ۲-۳ مکانیزم آبشستگی

عامل اولیه آبشستگی موضعی پایه پل، جریان رو به پایینی است که نظیر یک جت عمودی عمل میکند و مواد کناره پایه پل را بلند کرده و جریان معمولی آب، آن را می شوید. سیستم اصلی گردابی که به تشکیل حفرههای آبشستگی کمک میکند، از برخورد جریان به جلو پایه و انحراف آن به طرف پایین ایجاد می شود. جریان رو به پایین، پس از برخورد به بستر رودخانه در جلو پایه گودالی را حفر میکند که در داخل این گودال جریان چرخشی ایجاد شده و به تدریج عمق حفره اضافه می شود. جریان چرخشی در جلو پایه به دو طرف پایه نیز امتداد می یابد و شکلی به خود می گیرد که در پلان شبیه نعل اسب است (شکل ۲-۴)، از این رو به آن گرداب نعل اسبی گفته می شود[۲۸].



شکل۲-۴:سیستم گردابی در محل پایه پل [۶]

طبق نظر بعضی از محققین، این سیستم در ابتدا کوچک و قدرت آنها ضعیف است ولی پس از تشکیل حفره آبشستگی، سیستم جریان نعل اسبی از لحاظ اندازه و قدرت رشد میکند. با افزایش عمق آبشستگی (گود شدن حفره)، مقدار جریان رو به پایین در نزدیکی کف حفره کاهش یافته و زمانیکه قدرت نیروهای محرک تقریبا برابر با قدرت نیروهای مقاوم (وزن اشباع ذره) گردید، آب-شستگی متوقف میشود. اندازه و قدرت سیستمهای گردابی به شکل پایه و سرعت آب بستگی دارد. در پایههایی که به صورت آئرودینامیکی ساخته میشوند، جداشدگی جریان و در نتیجه میزان آب شستگی موضعی به شدت کاهش میابد. در حالیکه در پایههای مستطیل شکل میزان آبشستگی موضعی از همه بیشتر است؛ زیرا میزان سطح گردابی شیاری به علت افزایش جداشدگی خطوط جریان زیاد میشود. بنابراین میتوان گفت که آبشستگی محلی در اطراف پایههای پل شدیدا به هندسه پایه بستگی دارد. آبشستگی در اطراف پایههای پل معمولا فرآیند نسبتا سریعی میباشد. از این رو است که اغلب پژوهشگران به تعیین عمق آبشستگی در مرحله تعادل متمایل هستند[۲۷].

### ۲-۲ عمق آبشستگی متعادل

عمق حفره آبشستگی تا رسیدن به وضعیت تعادل افزایش مییابد. عمق تعادل حفره آبشستگی به شرایط زیر بستگی دارد: الف) آبشستگی در آب صاف، در این حالت حرکت بستر فقط در اطراف پایهها وجود داشته و هیچ-گونه رسوبی در داخل رودخانه حمل نمیشود. در این حالت عمق تعادل زمانی ایجاد میشود که تنشهای روی سطح حفره قادر به حرکت دادن دانهها نباشد. ب) آبشستگی با حمل رسوب، در این حالت جریان در رودخانه، حاوی رسوب بوده و عمق تعادل

زمانی ایجاد میشود که میزان رسوب ورودی به حفره آبشستگی برابر با میزان رسوب خروجی از آن باشد، یعنی نرخ انتقال رسوب ورودی و خروجی چاله آبشستگی برابر شود. حداکثر عمق آبشستگی زمانی بهوجود میآید که بستر رودخانه در آستانه حرکت باشد، این حالت مرز بین حالت آب صاف و حمل رسوب میباشد. آستانه حرکت ذرات بستر در شرایطی ایجاد میشود که سرعت متوسط جریان در بالادست محل پل برابر سرعت آستانه حرکت ذرات بستر،  $U_0$ باشد (شکل ۲–۵). برای اینکه معلوم شود آیا بستر رودخانه در حال حرکت است و یا جریان آب صاف در آن وجود دارد میتوان از شکل ۲–۶ استفاده کرد. این منحنی رابطه بین عدد رینولدز دانههای بستر و عدد حرکت دانهها<sup>۱</sup> یا فاکتور حمل که اولین بار توسط شیلدز<sup>۲</sup> بدست آمده است را نشان می-دهد. این منحنی بعدا توسط ایکرز و وایت<sup>۳</sup> کامل شد. چنانچه نقطه معرف شرایط جریان در زیر منحنی قرار گیرد، بستر رودخانه ثابت است ولی اگر نقطه در بالای منحنی قرار گرفت، حمل رسوب در رودخانه وجود خواهد داشت. شرایط جریان در روی منحنی نشان دهنده آستانه حرکت ذرات بستر میباشد. عدد حرکت دانهها  $F_E$  بهصورت رابطه (۲–9)تعریف میشود:

$$F_{\rm E} = \frac{\rm RS}{\rm D(s-1)} \tag{9-7}$$

که 
$$R$$
 شعاع هیدرولیکی به متر،  $S$  شیب کف،  $D$  نماینده اندازه ذرات ( معمولاً  $D_{50}$  ) به متر و  $S$  چگالی  
نسبی ذرات بستر میباشد. برای آبراهههای عریض میتوان این رابطه را به تقریبی زیر نوشت: $F_{\rm E} = rac{\gamma S}{{
m D}({
m s}-1)}$ 

عدد رینولدز دانههای بستر بهصورت زیر تعریف میشود:

$$R_* = \frac{U_* D}{\upsilon} \tag{A-Y}$$

<sup>1</sup> Particle entrainment function

<sup>2</sup> Sheilds

<sup>3</sup> Ackerc & White

که در این رابطه  $U_*$  سرعت برشی بر حسب متر بر ثانیه و v لزجت سینماتیک بر حسب مترمربع بر ثانیه است. در آبراهههای عریض می توان رابطه بالا را به صورت زیر تقریب زد[ ۲۸]:

$$R_* = \frac{D\sqrt{gys}}{\upsilon}$$

(9-7)

که در این رابطه y: عمق جریان میباشد.



شکل۲-۵:تغییرات عمق آبشستگی با سرعت جریان بالادست [۶]


تأثیر شالوده پایه و یا زیرسری شمع بر مقدار آبشستگی موضعی پایه، دقیقا مشخص نشده است. تحت شرایط خاصی فونداسیون ممکن است از شدت گردابههای نعل اسبی کم کرده، عمق آب شستگی را کاهش دهد. در سایر حالاتی که فونداسیون از بستر رودخانه بیرون زده و در جریان آب قرار گرفته باشد، عرض موثر پایه پل کاهش یافته، به عمق آبشستگی محلی اضافه میشود. معمولا اگر شالوده پایه کمی بالاتر و یا پاینتر از بستر باشد، عرض پایه ملاک محاسبات قرار می گیرد. از عرض شالوده هنگامی که کاملا بالاتر از بستر رودخانه باشد و یا آبشستگی عمومی در بستر رودخانه رخ دهد، استفاده میشود.

به عنوان یک قانون تخمین کلی، عمق آبشستگی دو برابر عرض پایه پل است. در رودخانههای مملو از مواد واریزهای و هنگامی که احتمال یخ گرفتگی<sup>۲</sup> مسیر در محدوده پل وجود دارد، آبشستگی موضعی واقعی بسیار بیشتر از مقادیر محاسباتی میشود. یخ و واریزهها، فشارهای دینامیکی و استاتیکی تا ۲۰۰ پاسکال بر پایه پل وارد میکنند. این نیروها بیشتر از نیروهای دینامیکی و استاتیکی هستند که از عبور و مرور وسایط نقلیه بر پل و یا عبور جریان آب بر پایه پل اعمال میشوند. در صورتی که اطراف پایه پل با سنگ پوشیده شود، از عمق آبشستگی کم میشود. ضخامت پوشش سنگریزه، باید دو برابر قطر ذرات باشد و سطح پوشش باید به اندازهی ۱/۵ تا ۶ برابر عرض پایه

# ۲-۵ بررسی متغیرهای موثر بر آبشستگی محلی پایه پل

در طراحی پی پایه پل، پیشبینی حداکثر عمق آبشستگی ضروری است. پارامترهای زیادی بر الگوی جریان و فرآیند آبشستگی محلی در اطراف پایههای پل موثرند. متغیرهای مؤثر بر روی آبشستگی محلی را می توان به چهار گروه تقسیم کرد[۲۹].

<sup>1</sup> Pier footing

<sup>2</sup> Pier cap

<sup>3</sup> Ice jam

۱- پارامترهای مربوط به سیال:
 دانسیته سیال (ρ) و لزجت سینماتیک (υ)
 ۲- عوامل هیدرولیکی جریان :
 عمق جریان در بالادست (d) و سرعت متوسط جریان (u)

- ۳- متغیرهای پل:
- ابعاد پایه (قطر پایه (b) یا عرض پایه عمود بر جریان آب، طول پایه(L) در جهت جریان آب)
- شکل پایه (شکل پایه در برش افقی: گرد، مربعی، مستطیلی، بیضوی و دیگر شکلها،
   شکل پایه در برش قائم: منشوری، هرمی، مخروطی)
  - جهت پایه نسبت به جریان نزدیک شونده ( زاویه محور پایه با جهت جریان (θ) )
    - تعداد و فضای خالی بین پایهها ( تک پایه و یا گروه پایه )
      - سطح پایه ( زبری و صافی آن )
        - حفاظت پایههای پل

۴- پارامترهای مربوط به رسوب :

- قطر و شکل ذرات (*D*<sub>50</sub>)
- جرم واحد حجم مواد كف بستر ( \rho\_s )
- توزیع دانهبندی مواد کف بستر (σ)؛ دانهبندی مصالح بستر را میتوان با انحراف معیار

هندسی آن 
$$\sigma_g$$
 مشخص ساخت ( $\sigma_g = \frac{D_{84}}{D_{50}}$ ). دانهبندی مصالح بستر، تعیین کننده شکل گیری لایه مسلح کننده (لایه جوشنی) است.  
• ویژگیهای چسبندگی ( زاویه ایستایی (Φ) و .... )

مطالعه تأثیر تمامی این متغیرها بر روی آبشستگی، بطور همزمان، بسیار مشکل و حتی غیرممکن است؛ لذا به منظور ایجاد رابطهای کاربردی، عمق آبشستگی به عنوان تابعی از تعدادی از پارامترهای فوق در نظر گفته شده و بصورت زیر نوشته میشود:

$$d_{s} = f(\rho, \mu, g, d_{0}, D_{50}, V_{0}, b, \sigma)$$
(1.-7)

در بررسی پارامترهای مؤثر بر فرآیند آبشستگی محلی در اطراف پایههای پل توجه به نکات زیر ضروری به نظر میرسد:

- تأثیر خواص سیال بر فرآیند آبشستگی معمولا بسیار کم اهمیت ر از تأثیر ویژگیهای جریان می باشد.
- اندازه ذرات مصالح بستر در دامنه دانهبندی ماسه، تأثیر اندکی بر عمق آبشستگی
   دارد. ذرات بستر با اندازه بزرگتر که بهوسیله جریان به حرکت درآیند، تأثیری بر عمق
   آبشستگی متعادل نخواهند داشت ولی بر زمان رسیدن به تعادل تأثیر دارند.
- در رودخانههایی که فرم بستر تشکیل می شود، زبری به وجود آمده تعیین کننده عمق جریان و پروفیل قائم سرعت می باشد.
- سرعت جریان نیز برفرآیند آبشستگی تأثیر دارد. هر چه سرعت بیشتر باشد، عمق آبشستگی بیشتر خواهد بود. در شرایط بستر فعال ( آبشستگی با حرکت رسوب )، عمق آبشستگی بهطور قابل ملاحظهای با افزایش سرعت، اضافه نمیشود، زیرا تعادلی پویا بین خارج شدن رسوب از گودال و وارد شدن به آن، وجود دارد[۴].

# ۲-۶ مروری بر تحقیقات گذشته

اندر کنش بین جریان و بستر رودخانه در اطراف پایههای پل بسیار پیچیده است. این موضوع نظر محققین بسیاری را به خود جلب کرده و عده زیادی تلاش کردهاند با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و مطالعات صحرایی، معادلات تجربی و نیمه تجربی برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی بدست آورند. از جمله این معادلات میتوان به معادلات لارسن و تاچ (۱۹۵۶)، نیل (۱۹۶۴)، شن و همکاران (۱۹۶۹)، جین و فیشر (۱۹۷۹)، بروزرز (۱۹۷۷)، ملویل و ساترلند (۱۹۸۸)، فروهلیچ (۱۹۸۹)، ریچاردسون و دیویس (۱۹۹۵)، ملویل (۱۹۹۷)، ، شپارد و میلر (۲۰۰۶)، لای و همکاران (۲۰۰۸)، (دنگ و کای ۲۰۱۰). و... اشاره نمود. در ادامه تعدادی از معادلات آبشستگی بطور خلاصه معرفی می-

# ۲-۶-۱ روابط تجربی آبشستگی

لارسن و تاچ<sup>۱</sup> در سال ۱۹۵۶ با استفاده از دادههای آزمایشگاهی بدست آمده رابطه زیر را پیشنهاد دادند:

$$\frac{\mathrm{d}_{\mathrm{s}}}{\mathrm{b}} = 1.5 \left(\frac{\mathrm{y}}{\mathrm{b}}\right)^{0.3} \tag{11-7}$$

<sup>1</sup> Laursen and Toch

بلنچ و اینگلیس در سال ۱۹۶۲ رابطه زیر را ارائه نمودند:

$$y_s = 1.8b^{0.25}y_0^{0.75} - y_0 \tag{11-1}$$

y<sub>0</sub> عمق جریان بالادست پایه پل است، y<sub>s</sub>: عمق آبشستگی پایه پل و

b: قطر پایه پل میباشد[۱۹].

نیل<sup>۲</sup> در سال ۱۹۶۴ معادله زیر را که شکل توسعه یافته معادله لارسن و تاچ است ، ارائه داد:

$$\frac{y_{se}}{D} = 1.35 \left(\frac{b}{D}\right)^{0.70} \tag{17-7}$$

در این معادله:

y<sub>se</sub> عمق آبشستگی

D عمق متوسط جريان

b عرض پایه پل میباشد[۳۰].

شن<sup>۳</sup> و همکاران در سال ۱۹۶۹ آبشستگی پایه پل در آب صاف را با فرض اینکه نیروی گردابه- شن<sup>۳</sup> و همکاران در سال Ub/v است، به عدد رینولدز پایه نسبت دادند: $y_s = 0.00073 \nu^{-0.619} V_0^{0.619} b^{0.619}$ 

(14-7)

<sup>1</sup> Blench-Inglis equation

<sup>2</sup> Neil

<sup>3</sup> Shen equation

b: عرض پایه (m).

 $\left(rac{m}{\mathrm{s}^2}
ight)$ : شتاب ثقل g

1 Hancu

هانکو مطالعات خود را بر روی پایههای دایرهای با قطر ۲ سانتیمتر تا ۲۰ سانتیمتر در یک بستر $\left(\frac{\mathrm{v}_c^2}{\mathrm{gb}}=0.05-0.6
ight)$  انجام داد. رابطه Hancu-II زمانی اعتبار دارد که  $D_{50}=5mm$  باشد.

$$v_{c} = 1.2. \text{ g. } D_{50} \cdot \left(\frac{\rho_{s} - \rho}{D_{50}}\right)^{0.2}$$
 (1V-Y)

طبق نظر هانکو، عمق آبشستگی تا کمی بالاتر از سرعت بحرانی (V<sub>c</sub>) ثابت است. ولی در سرعتهای کم یک رابطه خطی بین سرعت و آبشستگی وجود دارد. ضمنا اگر $1 < \frac{y}{b}$  باشد، تاثیر عمق آب ناچیز بوده و مقدار  $d_s$ ، به میزان رسوبات افزایش مییابد.

$$\begin{split} y_s &= bf \Biggl( K_1 K_2 2 \tanh \Biggl( \frac{y_0}{b} \Biggr) \Biggr) \\ f &= 0 \, for V/Vc \geq 0.5 \\ f &= 2(V/Vc) - 1 \, for \, 0.5 < V/Vc \leq 1 \\ f &= 1 \, for V/Vc > 1 \end{split} \tag{14-7}$$

*Vc* در روابط فوق از رابطه (۲–۱۹) بدست میآید.

$$Vc = 1.2\sqrt{gD_{50}[(\rho_s - \rho)/\rho]}(y/D_{50})^{0.2}$$
(19-7)

$$d_{se} = 2.0b \left( Fr_1 - Fr_c \right)^{0.25} \left( \frac{y}{b} \right)^{0.5}$$
 (7.-7)

اگر  $Fr_1 - Fr_c < 0$  ، عمق آبشستگی برابر است با:

$$d_s = 1.85b \left(\frac{y}{b}\right)^{0.3} (Fr_c)^{0.25}$$
(71–7)

در صورتیکه  $2.0 - Fr_1 - Fr_c < 2.0$  باشد، از دو مقدار فوق هر کدام بزرگتر بود به عنوان عمق آبشستگی در نظر گرفته می شود.

- در این معادلات:
- عمق آبشستگی :  $d_{se}$ 
  - b : عرض پایه پل

. عدد فرود برای سرعت بحرانی میباشد.  $Fr_c$ 

<sup>1</sup> Jain and Fisher equation (1979)

فروهلیچ<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۸ با استفاده از آمار صحرایی یک رابطه ارائه نمود، این معادله حاصل آنالیز دادههای آبشستگی چند پل میباشد که از تحقیقات مختلف بدست آمده است. معادله فروهلیچ به شکل زیر تعریف می *گ*ردد:

$$y_{s} = 0.32b\phi Fr_{1}^{0.2} \left(\frac{b_{e}}{b}\right)^{0.62} \left(\frac{y_{0}}{b}\right)^{0.46} \left(\frac{b}{D_{50}}\right)^{0.08}$$
(YY-Y)

 $\phi$ : ضریب تصیح بدون بعد است که با توجه به شکل دماغه پایه مشخص می شود، این ضریب برای دماغه مربعی ۱/۳، برای دماغه گرد ۱ و برای دماغه تیز ۰/۷ در نظر گرفته می شود.  $Fr_1$ : عدد فرود در بالادست پایه پل و بدون بعد می باشد.  $b_e$ : عرض پایه پل که برای جریان نزدیک شونده به پایه طراحی می شود و بر حسب فوت می باشد.  $b_e$ : اندازه ذرهای که ۵۰ ٪ ذرات بستر از آن کوچکترند و بر حسب فوت می باشد.

ملویل و ساترلند<sup>۲</sup> در سال ۱۹۸۸ رابطهای را برای برآورد عمق آبشستگی در محل پایههای استوانهای پل ارائه دادند. این رابطه بر اساس متغیرهای آزمایشگاهی گستردهای استوار است که عبارتند از سرعت و عمق جریان، اندازه ذرات رسوب، دانهبندی ذرات، اندازه و شکل پایه پل و جهت-گیری جریان نسبت به پایه پل.

$$d_s = K_I K_d K_y K_a K_s b \tag{(YV-Y)}$$

 $K_s$  فاکتور شدت جریان،  $K_d$  فاکتور اندازه ذرات رسوب،  $K_y$  ضریب تصحیح عمق جریان،  $K_I$  ضریب مربوط به شکل پایه،  $K_a$  فاکتور اندازه ذرات رسوب، و  $k_y$  محق آبشستگی و d عرض پایه پل ضریب مربوط به زاویه تراز پایه،  $d_s$  عمق آبشستگی و d عرض پایه پل می باشد. مقادیر همه ضرایب با استفاده از معادلات و گرافهای ارائه شده توسط ملویل وساترلند بدست می آید [۸].

<sup>1</sup> Froehlich equation (1988)

<sup>2</sup> Melville and Sutherland (1988)

رابطه چینی اصلاح شده<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۳، این معادله آبشستگی پایه پل، بر اساس دادههای صحرایی و آزمایشگاهی چین میباشد. با توجه به شرایط آبشستگی ( آبشستگی در بستر متحرک و یا آبشستگی آب زلال ) شکل معادله تغییر میکند . معادله چینی اصلاح شده برای آبشستگی با آب صاف به شکل زیر تعریف میشود[۳۲]:

$$y_{s} = 1.141K_{s}b^{0.6}y_{0}^{0.15}D_{m}^{-0.07}\left(\frac{V_{0}-V_{ic}}{V_{c}-V_{ic}}\right)$$
(74-7)

ys: عمق آبشستگی

 $k_s$ : ضریب تصحیح شکل پایه پل که به صورت زیردر نظر گرفته می شود

$K_{s} = 0.8$	دماغه گرد	با	پايەھايى
---------------	-----------	----	----------

- $K_s = 0.66$  پايەھايى با دماغە تيز
  - b: عرض پایه پل بر حسب فوت،
  - y<sub>0</sub>: عمق جریان در بالادست پایه پل،
- استفاده کرد)، اندازه میانه ذرات بستر برحسب فوت (می توان به جای آن از $D_{50}$  استفاده کرد)،  $D_m$ : سرعت نزدیک شدن جریان به پایه پل بر حسب فوت بر ثانیه  $V_0$ 
  - . سرعت بحرانی و یا سرعت آستانه حرکت بر حسب فوت بر ثانیه $V_c$

اگر چگالی آب ۶۲/۴ پوند بر فوت مکعب و چگالی ویژه ذرات بستر ۲/۶۵ فرض شود، Vc به صورت زیر بیان می گردد:

$$V_{c} = 3.28 \left(\frac{y_{0}}{D_{m}}\right)^{0.4} \left(8.85D_{m} + 6.05E^{-7} \left[\frac{10 + 0.3048y_{0}}{(0.3048D_{m})^{0.72}}\right]\right)^{0.5}$$

<sup>1</sup> Simplified chinese equation (1993)

V<sub>ic</sub>: سرعت نزدیک شدن به پایه پل بر حسب فوت بر ثانیه متناظر با سرعت بحرانی در پایه پل که به صورت زیر تعریف می شود:

$$V_{ic} = 0.645 \left(\frac{D_m}{b}\right)^{0.053} V_C$$
(19-1)

معادله چینی اصلاح شده برای بستر متحرک وقتی 
$$V_0 > V_C$$
 باشد، به فرم زیر میباشد:  
$$y_s = 1.141 K_s b^{0.6} y_0^{0.15} D_m^{-0.07} \left( \frac{V_0 - V_{ic}}{V_c - V_{ic}} \right)^c$$
(۲۷–۲)

توانc با استفاده از معادله زیر محاسبه میشود:

$$c = \left(\frac{V_c}{V_0}\right)^{8.20+2.23\log D_m}$$
(YA-Y)

رابطه CSU حاکم بر آبشستگی ناشی از جریان در سال ۱۹۹۳ ارائه شد، این رابطه یکی از معروفترین معادلات محاسبه عمق آبشستگی میباشد، که توسط دانشگاه ایالتی کلرادو ارائه شده است. این معادله به صورت زیر ارائه شده است:

$$y_{s} = 2.0y_{0}K_{1}K_{2}\left(\frac{a}{y_{0}}\right)^{0.65}Fr_{1}^{0.43}$$
(19-1)

yo و ys قبلاً تعريف شدهاند.

a عرض پایه پل،  $K_1$  ضریب تصحیح برای شکل پایه (شکل ۲-۷) ،  $K_2$  ضریب تصحیح برای زاویه  $k_2$  در جداول [8] برخورد جریان با پایه و  $Fr_1$  عدد فرود در بالادست پایه میباشد. ضرایب تصحیح  $k_2,k_1$  در جداول [8]

جدول و جدول آورده شده است.



شکل۲–۷:شکل پایههای پل[۶]

ضریب تصحیح $\mathrm{K}_1$ بر اساس شکل دماغه پایه				
$K_1$	شکل دماغه پل			
1.1	دماغه مستطيلي			
1.0	دماغه گرد			
1.0	پایه استوانهای			
1.0	گروه پایه استوانهای			
0.9	دماغه تيز			

جدول۲-۱:ضریب تصحیح نوع پایه پل K1

L/a=12	L/a=8	L/a=4	زاويه برخورد
1.0	1.0	1.0	0
2.5	2.0	1.5	15
3.5	2.75	2.0	30
4.3	3.3	2.3	45
5.0	3.9	2.5	90

جدول ۲-۲: خریب تصحیح زاویه جریان k2 (a عرض پایه پل و L طول پایه پل)

(اگر L/a > 12 باشد، مقدار L/a، ۱۲ در نظر گرفته می شود.)

و يا

$$k_2 = \left[\cos\theta + \left(L/a\right)\sin\theta\right]^{0.65}$$

هنگامی که ذرات بستر در کف رودخانه حرکت میکنند، به متوسط عمق آبشستگی باید به اندازهی نصف ارتفاع تلماسه<sup>۱</sup> اضافه شود. در این صورت در رابطه CSU تغییرات کمی داده می شود تا اثرات فرم بستر تلماسهای و کاهش آبشستگی به خاطر ایجاد لایه محافظ در کف منظور شود[۲۷]. معادله HEC-18 در سال ۱۹۹۳ توسط جونز ارائه شد. مولر<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۶ ضریب تصحیح *k*4 را برای معادله HEC-18 جونز نیز بصورت زیر پیشنهاد کرد:

$$K_4 = 0.4 \left( \frac{V_0 - V_{i50}}{V_{c50} - V_{i95}} \right)^{0.15}$$
 ( $\mathbf{\tilde{v}} \cdot - \mathbf{\tilde{v}}$ )

که در آن V<sub>i95</sub> سرعت نزدیک شدن به پایههای پل بر حسب متر بر ثانیه برای آبشستگی اولیه در محل پایههای پل و اندازه ذرات D<sub>95</sub> میباشد.

مولر معادلهای برای تعیین سرعت بحرانی یا سرعت آستانه حرکت اندازه ذرات (D<sub>50</sub>) ارائه داد که با معادله HEC-18 جونز کاملاً متفاوت است.

 $V_{c50} = 12.21 y_0^{1.6} D_{50}^{1.3}$ 

(7 - 7)

<sup>1</sup> Dune

<sup>2</sup> HEC-18/Mueller equation (1995)

پارامتر Vi50مشابهVi50 درمعادله(۲-۳۲)برآورد می گردد:

$$V_{i95} = 0.645 \left(\frac{D_{95}}{b}\right)^{0.053} V_{c95}$$
(٣٢-٢)

پارامتر  $V_{c95}$  مشابه در $V_{c50}$  معادله (۲–۳۳) برآورد می گردد:

$$V_{c95} = 12.21 y_0^{1.6} D_{95}^{1.3}$$
(°°°-7)

بر اساس نظریه مولر و واگنر <sup>۱</sup> برای محاسبه
$$D_{95}$$
 میتوان از فرمول زیر استفاده نمود:

$$D_{95} = D_{50} \left( \frac{D_{84}}{D_{50}} \right)^{1.645} \tag{(TF-T)}$$

ریچاردسون و دیویس (۲۰۰۱) مینیمم مقدار ضریب تصحیح K4 در HEC-18 مولر را ۴ /۰ پیشنهاد کردند. بر اساس نظریه استرلینگ جونز (۲۰۰۲) مقایسه مقادیر آبشستگی اندازه گیری شده با مقادیر آبشستگی محاسبه شده تنها زمانی صورت می گیرد که سرعت نزدیک شدن به پایه پل از ۴۰ درصد Vi50 بیشتر باشد؛ زیرا از لحاظ تئوری، ذرات بستر در سرعتهای کوچکتر از این مقدار دچار آبشستگی نمی شوند [۳۲].

در سال ۱۹۹۵ جونز<sup>۲</sup> معادله *HEC-18* را به سبک دیگری ارائه نمود. اساس این معادله، رابطه ارائه شده توسط دانشگاه ایالتی کلرادو (CSU) میباشد[۱۵]. معادله *HEC-18 ج*ونز، ضریب تصحیح *k<sub>4</sub> و k<sub>4</sub>* را برای محاسبه آبشستگی در خود جای میدهد. ریچاردسون و دیویس<sup>۳</sup> (۱۹۹۵) معادله *HEC-18* جونز را به شکل زیر ارائه دادند:

<sup>1</sup> Mueller and Wagner

<sup>2</sup> HEC-18/Jones equation(1995)

<sup>3</sup> Richarson and Davis

$$y_{s} = 2.0y_{0}K_{1}K_{2}K_{3}K_{4}\left(\frac{a}{y_{0}}\right)^{0.65}Fr_{1}^{0.43}$$
(ra-r)

<sub>9</sub> و <sub>8</sub> y قبلاً تعریف شدهاند.  
م عرض پایه پل،  
$$K_1$$
 مریب تصحیح برای شکل پایه،  
 $K_2$  ضریب تصحیح برای زاویه برخورد جریان با پایه،  
 $K_3$  ضریب تصحیح برای شرایط بستر(پستی و بلندی)،  
 $K_4$  ضریب تصحیح برای ذرات بستر زبر،  
 $K_1$  عدد فرود در بالادست پایه میباشند.  
فضرایب تصحیح الادست پایه میباشند.  
مقادیر  $K_3$  درجدول آورده شده است.

$$k_4 = \left[1 - 0.89(1 - V_R)^2\right]^{0.5}$$
(79-7)

نسبت سرعت است که بدون بعد بوده و به صورت زیر تعریف می شود:  $V_{\scriptscriptstyle R}$ 

$$V_{R} = \left(\frac{V_{0} - V_{i50}}{V_{c90} - V_{i50}}\right)$$

K <sub>3</sub>	ارتفاع تلماسه(متر)	شرايط بستر
1.1	N/A	آبشستگی آب زلال
1.1	N/A	بستر صاف و پاد تلماسه
1.1	0.6≤H<3	تلماسەھاى كوتاه
1.1-1.2	3≤H<9	تلماسەھاى متوسط
1.3	H≥9	تلماسەھای بزرگ

جدول۲-۳:ضریب تصحیح برای شرایط بسترK3

$$V_{i50} = 0.645 \left(\frac{D_{50}}{b}\right)^{0.053} V_{c50}$$
(٣٨-٢)

 $D_{50}$  سرعت بحرانی بر حسب فوت بر ثانیه برای آستانه حرکت اندازه ذرات  $V_{C50}$ 

$$V_{c50} = 11.21 y_0^{1.6} D_{50}^{1.3}$$

(4.-7)

 $D_{90}$  سرعت بحرانی بر حسب فوت بر ثانیه برای آستانه حرکت اندازه ذرات  $V_{C95}$ 

$$V_{c90} = 11.21 y_0^{1.6} D_{90}^{1.3}$$

اندازه ذرهای است که ۹۰ درصد ذرات بستر از آن کوچکتر هستند و بر حسب فوت میباشد. 
$$D_{90}$$

بر اساس نظریه مولر و واگنر<sup>\</sup> در مکانهایی که تنها  $D_{50}$  و  $D_{84}$  موجود میباشد، میتوان  $D_{90}$  را از رابطه زیر تعیین کرد:

$$D_{90} = D_{50} \left(\frac{D_{84}}{D_{50}}\right)^{1.282}$$
(۴1–۲)

که نسبت 
$$rac{D_{84}}{D_{50}}$$
 به ضریب دانهبندی برمی گردد[۱۹].

تحقیقات نشان میدهد هنگامی که سرعت نزدیک شدن جریان به پایه پل در بالادست برای به حرکت درآوردن اندازه ذرات مواد بستر بسیار کم باشد، عمق آبشستگی کاهش مییابد[۱۵].

در معادله (۲–۴۱) اگر  $V_{C95}$  باشد،  $K_4$  کمتر از یک خواهد شد. بر اساس توصیه ریچاردسون و دیویس مینیمم مقدار ضریب تصحیح  $K_4$  در معادله HEC-18 جونز 1/4 در نظر گرفته میشود. همچنین نشان دادند هنگامی که نسبت سرعت  $V_R$  از ۱ بیشتر شود، ضریب  $K_4$  برابر با ۱ فرض می-گردد. معادله HEC-18 جونز تنها برای مکانهایی که  $D_{50}$  بزرگتر از ۶۰ میلیمتر است، به کار گرفته میشود[۳۲].

ملویل<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۷ معادله (۲–۴۲) برای برآورد عمق آبشستگی موضعی در محل پایه و یا دیوار کناری پایه پل ارائه داد:

$$d_{\rm s} = K_{yw} K_I K_d K_s K_\theta K_G \tag{$7-7}$$

مربوط  $K_{g}$  فاکتور اندازه ذرات رسوب،  $K_{S}$  فاکتور  $K_{d}$  مربوط  $K_{d}$  فاکتور اندازه ذرات رسوب،  $K_{S}$  ضریب مربوط  $K_{yW}$  فریب مربوط جهت گیری پایه و یا دیوار کناری پل،  $K_{G}$  به شکل پایه و یا شکل دیوار کناری پل،  $K_{G}$ 

1 Mueller and Wagner

2 Melville (1997)

ضریب تصحیح هندسه کانال و 
$$d_s$$
 عمق آبشستگی میباشد. مقادیر همه ضرایب در معادلات و جداول  
ارائه شده توسط ملویل آمده است[۳۴].  
مولیناس<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۸ رابطهای را برای برآورد عمق آبشستگی در محل پایههای پل در

خاکهای رسی ارائه داد. آزمایشات برای رس مونتموریلونیت<sup>۲</sup> انجام شده است.

$$\frac{d_s}{b} = 0.0288 (IWC)^{1.14} (Fr - Fi)^{0.6}$$
(47-7)

$$F_{\rm i} = \frac{35}{(IWC)^2} \tag{ff-T}$$

در این رابطه *IWC* رطوبت اولیه موجود در خاک ،  $F_i$  عدد فرود آبشستگی اولیه پایه و Fr عدد فرود جر این رابطه *IWC* مونده به پایه میباشد. هنگامی که  $F_r < F_i$  باشد عمق آبشستگی صفر است. برای جریان نزدیک شونده به پایه میباشد. هنگامی که  $F_r < F_i$  باشد عمق آبشستگی صفر است. برای جریان فوق بحرانی مقدار ثابت تجربی ۸۰/۲۸۸ به ۱۳۱۰ تغییر مییابد[۲۹]. جانسون<sup>۳</sup> در سال ۱۹۹۶ رابطهای ارائه نمود، این رابطه تنها برای مواردی که 0.8  $\frac{Y_0}{B} < 0.8$ 

$$d_{\rm s} = 2.08 \, k_1 k_2 k_3 k_4 \left(\frac{b}{y}\right)^{0.504} ({\rm Fr})^{0.639} \tag{$\rm farse}^{0.639}$$

محمودیان و طهماسبی (۱۳۸۴) با استفاده از دادههای صحرایی وتحلیل آماری به کمک نرمافزار SPSS، رابطه جدیدی جهت تخمین عمق آبشستگی موضعی اطراف پایههای پل ارائه دادند.

<sup>1</sup> Molinas (1998)

<sup>2</sup> Montmorillonite

<sup>3</sup> Johnson (1996)

دراستخراج رابطه جدید، از آمار جمعآوری شده ۲۷۹ پایه متعلق به ۳۵ پل استفاده شده است. درجه رگرسیون این رابطه غیرخطی R= ۰/۶۴ میباشد که برای رابطهای بر مبنای دادههای صحرایی مقدار خوب و قابل قبولی است.

$$d_{\rm s} = 0.636 \, k_s k_\sigma \left(\frac{b_e}{b}\right)^{-0.53} \, \left(\frac{y_0}{b}\right)^{0.69} \, ({\rm Fr})^{-0.05} \tag{(FF-T)}$$

 $K_s$  ضریب شکل پایه که مقدار آن برای پایههای نوک تیز ۰/۸، پایههای نوک گرد و استوانهای ۱ و پایههای مستطیلی ۱/۲ در نظر گرفته می شود. پایههای مستطیلی ۱/۲ در نظر گرفته می شود.  $k_\sigma$  ضریبی است که تأثیر غیریکنواختی مصالح بستر (انحراف معیار مصالح بستر) را در آب شستگی دخالت می دهد و از رابطه زیر بدست می آید:

$$k_{\sigma} = \left(\frac{D_{84}}{D_{50}}\right)^{-0.52} \tag{(fV-T)}$$

: عرض مؤثر پایه پل میباشد که برابر است با: 
$$b_{\epsilon}$$

$$b_e = b\cos\theta + L\sin\theta \tag{(fA-T)}$$

که در آن L طول پایه و  $\theta$  زاویه بین جهت جریان و پایه میباشد. سایر پارامترها قبلا در رابطه (۲–۲۲)تعریف شدهاند.

شپارد و میلر<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۶ معادلاتی را برای محاسبه عمق آبشستگی در محل پایه پل ارئه دادند. این معادلات عبارتند از:

اگر، آبشستگی در شرایط آب صاف باشد از رابطه (۲-۴۹) بدست میآید:

<sup>2</sup> Sheppard and Miller (2006)

$$\frac{d_{se}}{D^*} = 2.5 f_1 \left(\frac{y_o}{D^*}\right) f_2 \left(\frac{D^*}{D_{50}}\right) \left\{ 1 - 1.75 \left[ \ln \left(\frac{V}{V_c}\right) \right]^2 \right\}$$
(49-7)

•

•

$$\begin{split} \frac{d_{se}}{\mathbf{D}^*} &= f_1 \left(\frac{y_0}{\mathbf{D}^*}\right) \left[ 2.2 \left(\frac{\mathbf{V}/\mathbf{V_c} - \mathbf{1}}{\mathbf{V_{lp}}/\mathbf{V_c} - \mathbf{1}}\right) \\ &+ 2.5 f_2 \left(\frac{\mathbf{D}^*}{\mathbf{D}_{50}}\right) \left(\frac{\mathbf{V_{lp}}/\mathbf{V_c} - \mathbf{V}/\mathbf{V_c}}{\mathbf{V_{lp}}/\mathbf{V_c} - \mathbf{1}}\right) \right] \end{split}$$
( $\delta \cdot - \mathbf{V}$ )  
Show the set of the set o

$$f_1\left(\frac{y_0}{D^*}\right) \equiv tanh\left[\left(\frac{y_0}{D^*}\right)^{0.4}\right] \tag{(21-7)}$$

$$f_2\left(\frac{D^*}{D_{50}}\right) \equiv \frac{D^*/D_{50}}{0.4(D^*/D_{50})^{1.2} + 10.6(D^*/D_{50})^{-0.13}} \tag{(\Delta 7-7)}$$

لازم به ذکر است که در معادلات فوق 
$$D^* = b$$
 می باشد [۳۴].  
لی و استرم<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۹، اثر اندازه ذرات رسوب را در مدلسازی فیزیکی آب شستگی در  
پایه پل بررسی کردند. مدل سازی به وسیله سه نوع ذرات رسوب غیریکنواخت و سه نوع پایه پل با  
هندسه متفاوت انجام شد و در نهایت داده ها در دو دسته زیر طبقه بندی شدند:  
( h )

$$\left(\frac{d_s}{b}\right) = 5.0\log\left(\frac{b}{D_{50}}\right) - 4 \qquad 6 \le b/D_{50} \le 25$$

$$(\Delta T - T)$$

$$\left(\frac{d_s}{b}\right) = \frac{1.8}{(0.02 \text{ b/D}_{50} - 0.2) + 1} \qquad 25 < b/D_{50} \qquad (\Delta^{\text{F}-\text{T}})$$

<sup>1</sup> Lee – Sturm (2009)

## ۲-۶-۲ مدلهای عددی آبشستگی

#### ۲-۶-۲-۱ مقدمه

خصوصیات جریان در اطراف پایههای پل پیچیده بوده و گردابههایی که در این مناطق شکل می-گیرد، منجر به حرکت مصالح و نهایتا ایجاد حفره آبشستگی میشوند. از این رو در اکثر کارها و پروژهها جهت طراحی نیاز به ساخت مدل احساس میشود. ساخت مدلهای فیزیکی اصولا وقت، هزینه و فضای زیادی را می طلبد و مدل ساخته شده فقط برای یک پدیده خاص کاربرد دارد. بنابراین استفاده از مدلهای عددی که قابلیت تعمیم به سایر پدیدهها را نیز دارند، ترجیح داده می شود. در این فصل به معرفی تعدادی از مدلهای عددی که در زمینه مباحث آبشستگی در اطراف پایههای پل

### BRI-STARS<sup>1</sup> مدل شبه دو بعدی ۲-۶-۲

مدل BRI-STARS توسط مولیناس در سال ۲۰۰۳ برای اداره حمل و نقل آمریکا تهیه شد. این مدل نسخه بالاتر مدل G-STARS است که قابلیت محاسبه پارامترهای آبشستگی در محل پایههای پل را دارد. مدل BRI-STARS در سه مرحله توسعه یافته است. در مرحله اول، مدل جریان برای کانالهای آبرفتی با عرض ثابت ارائه شده است. این مدل برای شبیهسازی آبشستگی موضعی و فرآیند تغییر شکل در رودخانه میسی سی پی<sup>۲</sup> با موفقیت به کار گرفته شد. در مرحله دوم توسعه، تئوری حداقل سرعت پراکندگی انرژی یا شکل ساده شده آن، حداقل قدرت جریان، با دخالت دادن عرض کانال به عنوان یک پارامتر ناشناخته متغیر ارائه شد. در مرحله آخر هیدرولیک پل و جزئیات آبشستگی موضعی در محل پایه پل به آن اضافه شده است. برخی از تواناییهای مدل عبارتند از: ۱- محاسبه پارامترهای هیدرولیکی برای کانالهای رو باز با بستر ثابت و نیز مرزهای متحرک؛

<sup>1</sup> Bridge Stream Tube Model for Alluvial River Simulation (BRI-STARS)

<sup>2</sup> Mississippi

- ۲- محاسبه پروفیل سطح آب برای شرایط زیربحرانی، فوق بحرانی و ترکیبی از هر دو جریان بدون انقطاع؛
  - ۳- محاسبه و شبیه سازی شرایط هیدرولیکی و رسوب در جهات عرضی و طولی؛
- ۴- محاسبه و شبیه سازی تعییرات پروفیل سطح آب و شکل هندسی کانال های آبرفتی صرفنظر از این که عرض کانال ثابت باشد یا متغیر.
  - ۵- محاسبه تغییرات کانال در حضور جریانهایی با بار رسوبی سنگین و ... .

به طور خلاصه میتوان گفت مدل BRI-STARS یک مدل شبه دو بعدی آب و رسوب است که توانایی تحلیل آبشستگی یا تهنشست مواد رسوبی را در شرایط زیر بحرانی، فوق بحرانی و یا ترکیبی از جریانهای فوق بحرانی و زیر بحرانی دارا میباشد. همچنین این برنامه قادراست تغییرات عرضی رودخانه را شبیهسازی کند. مدل BRI-STARS که در واقع مدلی جهت روندیابی رسوب در رودخانههای آبرفتی است، قابلیت خوبی در تخمین و تعیین پارامترهای آبشستگی دارد و از معادلات پیوستگی و انتقال رسوب برای شبیهسازی آبشستگی عمومی در بستر رودخانه استفاده میکند. این مدل نیمه دو بعدی برای شبیهسازی فرسایش و رسوب در رودخانههایی که اطلاعات محدود دارند،

#### HEC-RAS' مدل یک بعدی ۲-۶-۲

نرم افزار HEC-RAS توسط مهندسین ارتش آمریکا ارائه شده و توانایی شبیهسازی جریان در حالت-های جریان دائم و غیر دائم را دارد. نرم افزار HEC-RAS برای مدلسازی یک بعدی کانالهای طبیعی و مصنوعی طراحی شده است. از تواناییهای این مدل می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- محاسبات پروفیل سطح آب برای جریان ماندگار : این جزء از سیستم مدلسازی به منظور محاسبه پروفیل سطح آب برای جریان متغیر تدریجی ماندگار استفاده می شود. مدل قادر به مدلسازی جریان

<sup>1</sup> Hydrrologic Engineering center's River Analysis System (HEC - RAS)

فوق بحرانی، زیربحرانی و یا ترکیبی از هر دو رژیم جریان میباشد. محاسبات بر اساس حل معادله انرژی در یک بعد انجام میشود. اثر سازههای هیدرولیکی مختلف در مسیر جریان از قبیل سریز، کالورت، پل و ... نیز در مدلسازی گنجانده شده است؛

- شبیه سازی جریان غیرماندگار: این بخش از برنامه قادر است جریان یک بعدی غیرماندگار را برای شبکهای از کانالهای روباز شبیه سازی کند. محاسبات برای جریان زیر بحرانی انجام شده و تأثیر سازههای هیدرولیکی مد نظر قرار می گیرد؛
- محاسبات انتقال رسوب مرز متحرک: یکی از کاربردهای این نرمافزار مدلسازی یک بعدی برای محاسبات انتقال رسوب است که منجر به آبشستگی و تغییر شکل در کانال جریان و بستر می شود. همچنین پیش بینی تغییر شکل منابع آب، تأثیر لایروبی بر روی سرعت تغییر شکل، ماکزیمم عمق آبشستگی در هنگام وقوع سیل و رسوب گذاری در کانال هایی با بستر ثابت از دیگر کاربردهای این مدل است؛
- تحلیل کیفیت آب: برخی مشخصههای کیفی که HEC-RAS قادر به مدل سازی آن هاست، عبار تند از: اکسیژن محلول، فسفات، نیترات آمونیوم، تر کیب های آلی نیتروژن دار ، نیترات و نیتریت؛
- برنامه HEC-RAS از برنامه هایی است که توانایی محاسبه عمق آبشستگی موضعی در محل پایه های پل، تکیه گاه ها و آبشستگی ناشی از تنگ شدگی مقطع جریان را دارا می باشد. برای تحلیل آبشستگی، ابتدا کاربر باید بازه ای از رودخانه مورد نظر را که پل در آن واقع است مدل کند. مشخصات هندسی، مقاطع عرضی رودخانه، ضریب زبری مانینگ و... از جمله اطلاعات لازم برای مدل سازی با این نرم افزار می باشد. این مدل دارای مقاطع عرضی زیادی در پایین دست می باشد. تعداد این مقاطع و همچنین فاصله آخرین مقطع تعریف شده از پل باید به گونه ای باشد که شرایط مرزی پایین دست تعریف شده بوسیله کاربر، ویژگی های هیدرولیکی در پایین دست و بالادست پل را تحت تأثیر قرار ندهد. همچنین برای ارزیابی اثرات بلند مدت پل بر روی سطح آب بالادست، طول مناسبی از بازه ی بالادست پل نیز

باید در مدل گنجانده شود.

#### FLUENT مدل سه بعدی ۴-۲-۶-۲

FLUENT یک نرمافزار کامپیوتری چند منظوره است که برای مدلسازی جریان سیال، انتقال حرارت و واکنش شیمیایی به کار میرود و امکان تحلیل سریع برای جریانهای پیچیده را فراهم می کند. این نرم افزار با زبان برنامه نویسی C نوشته شده و از تمامی توان و قابلیت انعطاف این زبان بهره می گیرد. FLUENT از روشهای شبیه سازی کامپیوتری برای تحلیل مسائل طراحی عملی استفاده می کند، که مبتنی بر اصول اساسی دینامیک سیال محاسباتی (CFD) مانند بقای جرم، مومنتم و انرژی می باشد. مدل CFD سه بعدی FLUENT، معادلات ناویر استوکس را در مقیاس واقعی حل می-کند، که مزیت آن نسبت به مدلسازی فیزیکی مرسوم، اطمینان از ارضاء تشابه رینولدزی و فرودی می باشد.

مدلهای آشفتگی زیر در نرمافزار FLUENT در دسترس میباشند: مدل اسپالارت آلمارس، مدل تنش رینولدزی(RMS)، مدل شبیهسازی گردابههای بزرگ (LES)، مدلهای k-ω، مدل استاندارد k - ω و مدل انتقال تنش برشیω – k (SST)، مدلهای ε-k، مدل استاندارد k-ω، مدل k-ε، مدل Renormalization group (RNG) k-ε.

این نرم افزار قابلیت مدلسازی جریانهای دو و سه بعدی را داراست. با توجه به محیط مناسب نرمافزار جهت تعریف مساله، شرایط پیچیده و تعریف شرایط مرزی گوناگون، تأثیر پدیدههای مختلف به کمک این نرمافزار قابل بررسی میباشد. FLUENT برای آنالیز و حل مسایل طراحی خاص، روش-های شبیهسازی کامپیوتری متفاوتی را به کار میبرد. این نرمافزار بر پایه روش حجم محدود که یک روش بسیار قوی و مناسب در روشهای دینامیک سیالات محاسباتی میباشد، بنا شده است. برای راحتی کار، تعریف مساله، محاسبه و دیدن نتایج، منوهای مختلفی درنظر گرفته شده است.

#### SSIIM مدل سه بعدی SSIIM

مدل عددی SSIIM در ابتدا برای شبیه سازی انتقال رسوب در کانال و رودخانه نوشته شده و سپس استفاده از این نرمافزار برای موضوعات دیگر مهندسی هیدرولیک مانند مدلسازی سرریز، افت هد در تونلها، روابط دبی- اشل در رودخانهها و جریانات غلیظ و... توسعه داده شده است. اصلی ترین ویژگی SSIIM در مقایسه با دیگر برنامههای محاسبات دینامیک سیال (CFD)، توانایی انتقال رسوب در بستر متحرک همراه با ژئومتری پیچیده میباشد. این برنامه فرآیند روسازی، بار بستر، بار معلق، فرم بستر و تأثیر بسترهای شیبدار را در نظر می گیرد. SSIIM سالها برای مطالعات زیستگاهها در رودخانهها مورد استفاده قرار گرفته است. در جریان آشفته معادلات ناویر – استوکس برای تعیین سرعت جریان به صورت سه بعدی حل می شوند. مدل SSIIM معادلات ناویر – استوکس را در سه بعد و با روش گسستهسازی حجم محدود حل میکند. برای گسستهسازی از یک حجم کنترلی و یک روش توانی که یک روش مرتبه اول بالادست میباشد استفاده میکند. برای محاسبه لزجت گردابهای مدل آشفتگی k-ɛ . بکار میرود. در این مدل انتقال رسوب به صورت بار بستر و بار معلق محاسبه شده است. برای بار معلق معادلات انتقال-پخش برای غلظت رسوب حل شدهاند .ضریب پخش مساوی ويسكوزيته گردابي بدست آمده از مدل آشفتگي است. SSIIM معادلات Convection-Diffusion (انتقال- پخشیدگی) را به صورت سه بعدی حل میکند. در این مدل با در نظر گرفتن حالت جریان انتقالی و حل همزمان جریان و محاسبات رسوب می توان آبشستگی در اطراف گروه شمع را مدل سازی كرد[٣۵]. قابليتهاي نمايشي مدل عبارتند از: ترسيم خطوط تراز، نيمرخ طولي، نيمرخ مقاطع، نقشه سه بعدی و مقایسه نیمرخ و نقشه محاسبه شده با مقادیر برداشت شده. برتری دیگر این مدل نسبت به سایر مدلها توانایی آن برای شبیهسازی مشکلاتی مانند پر شدن مخازن و آبراههها میباشد[۲۶].

## ۲-۶-۲ روشهای آماری، هوش مصنوعی و شبکههای عصبی

محققان توجه بیشتری به کاربرد تکنیکهای هوش مصنوعی برای مسئله پیشبینی عمق آبشستگی داشتند. همان گونه که واضح و مشخص است با گذشت زمان علم نیز پیشرفت می کند، هر چه به جلوتر می رویم روشهای جدیدتر و بهتر مورد استفاده قرار می گیرد. علم امروز نسبت به دیروز جدیدتر است. روشهای جدید علمی در پی کشف محدودیتهای روشهای قدیمی ایجاد می شود و از آنجایی که روشهای آماری جزء روشهای قدیمی Data mining محسوب می شوند، از این قاعده کلی که دارای محدودیت هستند مستثنی نیستند. داشتن فرض اولیه در مورد دادهها، یکی از این موارد است. تکنیکهای داده کاوی و تکنیکهای آماری در مباحثی چون تعریف مقدار هدف برای پیش گویی، ارزشیابی خوب و دادههای دقیق (clean data) خوب عمل می کنند، همچنین این موارد در جاهای یکسان برای انواع یکسانی از مسایل (پیش گویی، کلاس بندی و کشف) استفاده می شوند، روشهای کلاسیک داده کاوی از قبیل شبکههای عصبی، تکنیک نزدیک ترین همسایه روشهای قوی تری برای دادههای واقعی به ما می دهند و همچنین استفاده از آنها برای کاربرانی که تجربه کمتری دارند راحت تر است و بهتر می توانند از آن استفاده کنند. بهطور کلی روشهای آماری روشهای قدیمی تری هستند که به حالت های احتمالی مربوط می شوند. Data mining جایگاه جدیدتری دارد که به هوش مصنوعی یادگیری ماشین سیستمهای مدیریت اطلاعات<sup>(</sup> (MIS) و متدلوژی Database مربوط مي شود.

روشهای آماری بیشتر زمانی که تعداد دادهها کمتر است و اطلاعات بیشتری در مورد دادهها می-توان بهدست آورد استفاده می شوند؛ به عبارت دیگر این روشها با مجموعه دادههای کوچک تر سر و کار دارند. همچنین به کاربران ابزارهای بیشتری برای امتحان کردن دادهها با دقت بیشتر فهمیدن ارتباطات بین دادهها میدهد. بر خلاف روشهایی از قبیل شبکه عصبی که فرآیند مبهمی دارد. پس به طور کلی این روش در محدوده مشخصی از داده های ورودی به کار میرود. به کار بردن این روشها

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Management Information System

برای مجموعه دادههای زیاد احتمال خطا در این روشها را زیاد می کند.چون در دادهها احتمال noise وخطا بیشتر می شود و نیز روشهای آماری معمولابه حذف noise می پردازند، بنابراین خطای محاسبات در این حالت زیاد می شود.

Data mining روشهای آماری چون پایه ریاضی دارند نتایج دقیقتری نسبت به دیگر روشهای Data mining رائه میدهند ولی استفاده از روابط ریاضی نیازمند داشتن اطلاعات بیشتری در مورد دادهها است. با توجه به توضیحات ارائه شده و همچنین در دسترس بودن میزان قابل قبولی از دادههای صحرائی و آزمایشگاهی که توسط محققین متعددی جمع آوری و تولید شده است، در سالهای اخیر محققین برآن شدند تا با استفاده از این ابزار (هوش مصنوعی و شبکه عصبی) و دادههای موجود مدلهایی را برآن شدند تا با استفاده از این ابزار (هوش مصنوعی و شبکه عصبی) و دادههای موجود مدلهایی را برآن شدند تا با استفاده از این ابزار (هوش مصنوعی و شبکه عصبی) و دادههای موجود مدلهایی را برآن شدند تا با ستفاده از این ابزار (هوش مصنوعی و شبکه عصبی) و دادههای موجود مدلهایی را توسعه و عملکرد آنها را با روابط تجربی که بر پایه روشهای آماری استوارند مورد قیاس قرار دهند،

لی و همکاران، شبکههای عصبی مصنوعی چند لایه را با الگوریتم گرادیان نزولی خطا مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج آن را با مقادیر واقعی و روابط تجربی مقایسه نمودند و اعلام داشتند که هوش-مصنوعی(ANN/BP) با CC=0.8959 و RMSE=0.1693 در مقایسه با روابط تجربی ( ,RMSE=0.7119 RMSE=0.5994) از دقت بالاتری برخوردار میباشد [۴۵].

باتنی و همکاران با استفاده از روشهای هوش مصنوعی، سه شبکه هوشمند، نرو فازی(ANFIS)، شبکههای عصبی مصنوعی پیشخور چند لایه (MLP) و شبکه عصبی مصنوعی شعاع مبنا (RBF) را با مجموعه دادههای آزمایشگاهی، آموزش و مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج حاصل از آنها را با روابط تجربی و مقادیر واقعی مورد مقایسه قرار دادند و بیان نمودند که بهترین نتایج در مرحله آموزش

شبکهها مربوط به نروفازی (RMSE=0.1642, CC=0.9016 ) و شبکه شعاع مبنا ( RMSE = 0.1523, CC = 0.9148 ) و در مرحله پیش بینی مربوط به شبکه عصبی مصنوعی چند لایه( RMSE = 0.1785, CC = 0.8879 ) و منطق فازی می باشد همچنین نتایج حاصل از این مدل ها ب امراتب از روابط تجربی دقیق تر و قابل اعتمادتر می باشد [۱۸]. محموت فیرات و همکاران رگرسیون تعمیم یافته شبکههای عصبی مصنوعی (GRNN) و شبکه-های عصبی پیشخور (MLP) را برای تخمین عمق آبشستگی اطراف پایههای پل مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که GRNN باCC= 0.884 و 0.1491 حرمقایسه با MLP با CC= 0.809 و 0.1604 CC= 0.1604 نتایج قابل اعتمادی برای تخمین عمق آبشستگی پایه های دایرهای شکل ارائه میدهد [۴۶].

آبدین کایا، شبکه های عصبی مصنوعی و دو رابطه ارائه شده توسط سازمان راه آمریکا را مورد مقایسه قرار داده و بیان نمود که شبکههای عصبی با CC = 0.854 و RMSE قابل اعتمادتر از روابط تجربی هستند [۴۷].

نجفزاده و بارانی(۲۰۱۱)، روش برخورد گروهی با دادهها(GMDH) را با استفاده از برنامهسازی ژنتیک(GP) و الگوریتم گرادیان نزولی خطا(BP) برای پیش بینی حداکثر عمق آبشستگی اطراف پایه پل، با دادههای آزمایشگاهی مورد ارزیابی و مقایسه با روابط تجربی قرار داده و نتایج آنها حاکی از عمکرد بهتر شبکه GMDH/BP با GMDE=0.123 و RMSE=0.123 در مقایسه با دو روش مذکور می-باشد.

ماهش پال و همکاران [۴۸]، رگرسیون بردار پشتیبان(SVR) را مورد ارزیابی قرار داده و نتایج آن را با شبکههای عصبی مصنوعی(MLP)، روابط تجربی و مقادیر اندازه گیری شده واقعی مقایسه نمودند. نتایج آنها حاکی از عملکرد بهتر SVR( SVR=0.1226) نسبت به MLP و همچنین روابط تجربی میباشد.

سبزیان پور و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از درختهای رگرسیونی و الگوریتم کارت و استفاده از ۱۱ سری داده آزمایشگاهی در شرایط آب زلال عمق آبشستگی در پایه های استوانهای شکل را پیشبینی نمودند و در مقایسه با روابط تجربی به این نتیجه رسیدند که درختهای رگرسیونی(CC=0.823, RMSE=0.1326) از دقت بالاتری برخوردار هستند. این مطالعات نشان میدهند که شبکههای عصبی میتوانند عمق آبشستگی را در اطراف پایههای پل دقیق تر از فرمولهای تجربی ارزیابی کنند. با این حال، استفاده از شبکههای عصبی، به تعداد زیادی از آزمایشات با تنظیمات مختلف برای مقادیر مختلف پارامتر نیاز دارد (بهعنوان مثال: سرعت یادگیری، سرعت حرکت، تعداد نورونهای در یک لایه پنهان). این آزمایشات، کار فشردهای بوده و اغلب مزیتی نسبی برای شبکه عصبی را به دلیل تنظیمات بالقوه کمی از مقادیر پارامترها، اطمینان کامل نمیدهند. علاوه بر این، شبکههای عصبی پس انتشار احتمالا در یک راه حل محلی به دام افتادهاند؛ زیرا از الگوریتم شیب گرادیان برای آموزش استفاده شده است.

در این میان خیلی از تکنیکهای هوش مصنوعی، برای بهبود دقت برآورد عمق آبشستگی پیشنهاد میشوند. عظمتالله، قاآنی، ذکریا و گوون (۲۰۱۰) الگوریتم ژنتیک (GA) را برای تخمین آبشستگی پایه پل استفاده کرد و نشان داد که الگوریتم ژنتیک نتایج بهتری نسبت به الگوریتمهای معمول رگرسیونی بهدست میدهد. پال، سینگ و تیواری (۲۰۱۱، ۲۰۱۲) از دادههای گذشته برای بررسی توانایی الگوریتم رگرسیونی M5 و از ماشین بردار (SVM) جهت تعیین عمق آبشستگی حول پل استفاده کردند؛ که علی رغم برتری نسبت به شبکه عصبی، SVM و M5 به دلیل وابستگی به علم و تجربه بالا آسان نمی باشد؛ که این ممکن است باعث شود که مهندسین، از وارد کردن تکنیکهای هوش مصنوعی، برای پروسه طراحیشان خودداری کنند.

مهم است یادآوری کنیم که تمام مدلهایی که تا الان ذکر شدند صرفا جهت پیشبینی ارائه شدند، و بنابراین به عدم اطمینان و ابهام اطلاعات پارامترهای ورودی نمی پردازیم، که می تواند عملکرد مدل را به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهد. بنابراین، باید مرحله ای برای بهبود دقت پیشبینی آب-شستگی پل وجود داشته باشد. که در این تحقیق یک مدل استنتاج فازی هوشمند ارائه می شود که نقصهای ذکر شده از روشهای در حال حاضر منتشر شده را حل می کند.

فسل ۲ : روش تحقیق و معرفی شبکه فاری \_عصبی م سعاع میناوالکوریتم کامی ہیں نہیں ازمی

### ۲–۱ مقدمه

شبکههای عصبی از عناصر عملیاتی سادهای ساخته میشوند که به صورت موازی در کنار هم عمل میکنند. این عناصر از سیستمهای عصبی زیستی الهام گرفته شدهاند.در طبیعت، عملکرد شبکههای عصبی از طریق نحوه اتصال بین اجزا تعیین میشود. بنابراین ما میتوانیم یک ساختار مصنوعی به تبعیت از شبکههای طبیعی بسازیم و با تنظیم مقادیر هر اتصال، تحت عنوان وزن اتصال، نحوه ارتباط بین اجزای آن را تعیین کنیم. پس از تنظیم یا همان آموزش شبکه عصبی، با اعمال یک ورودی خاص به آن منجر به دریافت پاسخ خاصی میشود. همان طور که در شکلدیده میشود، شبکه بر مبنای تطابق و هم جنسی بین ورودی و هدف، سازگار میشود تا اینکه خروجی شبکه و خروجی مورد نظر ما (هدف) بر هم منطبق گردند. عموما تعداد زیادی از این زوجهای ورودی و خروجی به کار گرفته می-شوند تا در این روند که از آن تحت عنوان یادگیری نظارت شده<sup>۱</sup> یاد میشود، شبکه آموزش داده می-شوند تا در این روند که از آن تحت عنوان یادگیری نظارت شده<sup>۱</sup> یاد میشود، شبکه آموزش داده می-



شکل۳-۱:نحوه عملکرد شبکههای عصبی [۶]

<sup>1</sup> Supervised Learning

از شبکههای عصبی برای پیاده سازی توابع پیچیده در زمینههای مختلف ازجمله تشخیص الگو، تشخیص هویت، طبقه بندی، پردازش صحبت، تصویر و سیستمهای کنترلی استفاده می شود. امروزه شبکههای عصبی را برای حل مسائل پیچیدهای که حل آنها با روشهای معمول دشوار می باشد، استفاده می کنند. عموما برای آموزش شبکههای عصبی از روشهای نظارت شده استفاده می شود؛ اما می توان شبکهها را با روشهای آموزش غیر نظارتی آموزش داد که کاربرد آنها عموما در تشخیص خوشههای دادهای <sup>۱</sup> می باشد.

# ۲-۳ معماری شبکههای عصبی<sup>۲</sup>

یک یا چند نرون در کنار هم یک لایه از شبکه را تشکیل میدهند. یک شبکه میتواند از یک یا چند لایه این چنینی تشکیل شود. در شکل یک شبکه تک لایه با R ورودی و S نورون نشان داده شده است:



در این شبکه، اعضای بردار ورودی P به همان نورونها اعمال می شوند و پس از ضرب در بردار وزنها (W) و جمع بایاس به تابع انتقال اعمال شده و خروجی حاصل می گردد. خروجی شبکه بالا یک بردار

- 1 Data Clustrig
- 2 Network Architecture

خواهد بود. توجه شود که هیچ لزومی ندارد تعداد ورودیها (R) با تعداد نورونها (S) برابر باشد. می-توان با استفاده از توابع انتقال متفاوت در یک شبکه تک لایه، یک شبکه تک لایه مرکب ساخت. در شبکه تک لایه بالا ماتریس وزنها (W) یک ماتریس با اندازه R×S خواهد بود.

در این ماتریس  $W_{n,m}$  نماینده وزن مربوط به ورودی m روی نورون n میباشد.

$$W = \begin{bmatrix} W_{1,1} & W_{1,2} & \cdots & W_{1,R} \\ W_{1,1} & W_{2,2} & \cdots & W_{2,R} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ W_{S,1} & W_{S,2} & \cdots & W_{S,R} \end{bmatrix}$$
(1-7)

یک شبکه تک لایه با S نورون و R ورودی به صورت خلاصه در شکل نمایش داده می شود:



شکل۳-۳:نمایش خلاصه از یک شبکه تک لایه[۶]

## ۲-۲-۱ شبکههای عصبی شعاع مبنا

شبکههای عصبی شعاع مبنا از سه لایه: لایه ورودی، با عناصر برابر با مقدار پارامترهای ورودی؛ لایه پنهان، متشکل از نرونهای شعاع مبنا و انتقال غیرخطی بین لایههای ورودی و لایههای پنهان؛ و لایه خروجی، که با ورودی مدل واکنش نشان داده و توسط انتقال خطی از لایههای پنهان ساخته میشود. شکل ۳-۴ ساختار شبکههای عصبی شعاع مبنا را با u ورودی و یک خروجی نشان میدهد. معادله ۳-۳ معادله استاندارد شبکه عصبی شعاع مبنا را نشان میدهد:

$$y = \sum_{j=1}^{N_n} w_j \phi_j (\|x - v_j\|) + b$$
 (Y-Y)

که در آن x یک بردار سطری با u ستون،  $\|x - v_j\|$  فاصله اقلیدسی بین نقطه زام پنهان و نقطه داده، x در آن x یک بردار سطری با  $w_j$  ستون،  $w_j$  وزن نقطه اتصال،  $N_n$  تعداد لایههای پنهان شبکه عصبی و  $\phi_j$  تابع شعاع مبنای زام میباشد.

معادله ۳–۲ خروجی شبکه را بهعنوان یک مجموع وزنی از لایههای پنهان محاسبه میکند. غیرخطی بودن شبکههای عصبی شعاع مبنا با  $\phi$  تعریف میشود، که بهصورت شعاعی متقارن است. در این تحقیق عملکرد تابع گاوسی را در مدل تخصیص داده شده است؛ چرا که این تابع یک مقدار پیوسته بوده و بیشترین کاربرد را دارد [۱۸] و خروجی نرمتر را فراهم میکند و قابلیت تداخل را بهبود میبخشد [۳۶]، که بهصورت زیر ارائه میشود:

$$\phi(x) = \exp\left(-\frac{(x-\nu)^2}{2\sigma^2}\right) \tag{(7-7)}$$



شکل۳-۴:ساختار شبکه عصبی شعاع مبنا [۷]

که در آن ۷ و ح به ترتیب پرامترهای موقعیت و عرض گرههای تابع شعاعی هستند.

در این تحقیق از جعبه ابزار متلب ۲۰۱۶، برای ساخت مدل شبکه عصبی شعاع مبنا استفاده شده است که به شرح زیر می باشد: (۱) از تعداد از پیش تعیین شده نورون های پنهان ( $N_n$ ) و عرض تابع گاوس استفاده شده؛ (۲) شبیه سازی شبکه با وزن تصادفی؛ (۳) بردار ورودی را با بیشترین خطا به دست آور ده شده؛ (۴) یک نورون پنهان (گره تابع گاوس) با وزنی برابر بردار بیشینه اضافه شده؛ (۴) یک نورون پنهان (گره تابع گاوس) با وزنی برابر بردار بیشینه اضافه شده؛ (۵) وزن لایه خروجی را دوباره طراحی کرده تا به حداقل خطا دست یافت. مراحل (۳) تا (۵) را تا زمانی که به تعداد نورون های پنهان دست پیدا کرد ادامه خواهد داشت. حلقه مراحل (۳) تا (۵) با

گام اول برای موفقیت در روند کار حیاتی میباشد؛ چرا که تعداد نورونهای پنهان ( $N_n$ ) و گرض گرههای RBF (-) تاثیر خیلی زیادی بر عملکرد شبکه عصبی شعاع مبنا میگذارد. تعداد گرید پنهان زیاد ( $N_n$ ) احتمالا بیش از حد مناسب برای دادههای ورودی شود و باعث عملکرد ضعیف میشود. و همچنین تعداد گره پنهان کم، ممکن است به اندازه کافی آزادی برای یادگیری درست نداشته باشد و درنتیجه یک مدل ساده با دقت کم تولید کند [ $N_1$ ]. علاوه بر این، عرض تابع شعاعی (-)، سرعت کاهش عملکرد شیف میشود. و همچنین تعداد گره پنهان کم، ممکن است به اندازه کافی آزادی برای یادگیری ضعیف میشود. و همچنین تعداد روه پنهان کم، ممکن است به اندازه کافی آزادی برای یادگیر منعیف میشود. و همچنین تعداد گره پنهان دم ماه دقت کم تولید کند (m]. علاوه بر این، عرض تابع شعاعی (-)، سرعت کاهش عملکرد را در طول فرآیند آموزش کنترل میکند [m]. این میزان به شدت به تاثیر نورونهای پنهان در اطراف نقاط دادهها حساس میباشد.

### ۳-۲-۳ منطق فازی

منطق فازی که اولین بار توسط پروفسور زاده (۱۹۶۵) ارائه شده، یکی از تکنیکهای محوب هوش مصنوعی است؛ که بهطور موثری در پیشبینی، تصمیم گیری و فعالیتهای کنترل اقدامات، در محیط-هایی که ابهام، عدم قطعیت، عدم تعریف وجود دارد و هیچ ذهنیتی نیست استفاده میشود [۳۹].
علاوه بر این، منطق فازی (FL) در سیستم استنتاج فازی (FIS) مورد استفاده قرار می گیرد، که از استدلال تقریبی برای شبیهسازی هوش انسانی استفاده می کند [۴۰].

FIS معمولا از چهار جزء اصلی تشکیل میشود: فازیسازی، قوانین، بخش استنتاج و دفازیسازی. فازیسازی فرآیندی است که از توابع عضویت (MF) برای تبدیل متغیرهای ورودی عددی به متغیرهای زبانی استفاده میشود. مقدار MF اغلب در محدوده [0,1] تنظیم میشود. یک سیستم استنتاج فازی ممکن است شامل بسیاری از MFها شود. بخش استنتاج از سیستم استنتاج فازی<sup>۲</sup> (FIS) برای تقلید، از فرآیند تصمیم گیری انسان استفاده می کند. در مرحله نهایی، فرآیند دفازیسازی مجموعه فازی، خروجی فرآیند استنتاج فازی را به خروجی عددی تبدیل می کند.

اگرچه منطق فازی قادر به مقابله با ابهام و عدم قطعیت میباشد، اما اثربخشی این تکنیک عمدتا بستگی به تنظیمات MF کاربر بهطور مناسب، انتخاب تعداد مطلوب قوانین و انتخاب همزمان عملیات مجموعه فازی مناسب دارد؛ که این تصمیمات به دانش و تجربه کاربر و همچنین نوع مسئلهای که در نظر گرفته شدهاست وابسته میباشد. مسئله زمانی پیچیدهتر میشود که، که مشخصات MF و همچنین فرآیندهای ساخت قانون مشکل تر شود [۴۱]. از آنجایی که این یک موضوع بهینهسازی است، با استفاده از الگوریتمهای بهینهسازی ژنتیک<sup>۳</sup> (GA)، ازدحام ذرات<sup>4</sup> (PSO) و کلنی زنبو عسل (ABC)، برای تعیین مقادیر بهینه پارامترها، کارایی انتخاب پارامتر را افزایش میدهد و دخالت انسانی در روند عملیات را کاهش میدهد.

### ۲-۲-۳ الگوریتم بهینهسازی ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، الهامی از علم ژنتیک و نظریه تکامل داروین است و بر اساس بقای برترینها یا انتخاب طبیعی استوار است. یک کاربرد متداول الگوریتم ژنتیک، استفاده از آن به عنوان تابع بهینه-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Membership Function (MF)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup><sub>3</sub> Fuzzy Inference System (FIS)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Genetice Algorithm (GA)

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Particle Swarm Optimization (PSO)

کننده است. الگوریتم ژنتیک ابزار سودمندی در بازشناسی الگو، انتخاب ویژگی، درک تصویر و یادگیری ماشینی است.

در الگوریتم ژنتیک، نحوه تکامل ژنتیکی موجودات زنده شبیهسازی میشود. این الگوریتم با الهام از روند تکاملی طبیعت مسائل را حل مینماید. یعنی مانند طبیعت یک جمعیت از موجودات را تشکیل میدهد و با اعمالی برروی این مجموعه به یک مجموعه بهینه و یا موجود بهینه دست مییابد. با توجه به خصوصیات خاص به خوبی از عهده حل مسائلی که نیاز به بهینه سازی دارند بر می آید. در شکل ۳-۵ فرآیند تولید جمعیت تا وقتی که جواب مورد نظر حاصل شود، نشان داده شده است.



شكل٣-٥:مدل الگوريتم ژنتيک

در ادامه به توضیح مختصری در مورد نحوه کارکرد الگوریتم ژنتیک اکتفا می شود.

### ۳-۲-۳-۱ ارزیابی جمعیت'

برای اینکه بتوانیم موجودات بهتر را درون جمعیت تشخیص بدهیم بایستی معیاری را تعریف کنیم که بر اساس آن موجودات بهتر را تشخیص دهیم . به این کار، یعنی تعیین میزان خوبی یک موجود، ارزیابی آن موجود می گویند.

ارزیابی، اینگونه است که بر حسب اینکه موجود چقدر خوب است یک عدد به آن نسبت می دهیم، این عدد که برای موجودات بهتر بزرگتر( یا کوچکتر ) است را شایستگی آن موجود می نامیم. به عنوان مثال در صورتی که به دنبال مینیمم یک تابع هستیم، مقدار شایستگی را می توانیم ورودیهایی که مقادیر تابع برای آنها کمتر است در نظر بگیریم که ورودیهای بهتری هستند.

### ٣-٢-٣-٢ انتخاب والدين

در این مرحله فضا به سمتی که امکان یافتن جوابهایی با کیفیت بالاتر وجود دارد سوق دادهمی شود. در اینجا نسل جدیدی از راهحلها را با انتخاب والدینی که بالاترین شایستگی را دارند تولید می شوند. روشهای مختلفی برای انتخاب والدین وجود دارند که از توضیح آنها صرف نظر می شود. این روشها عبارتند از:

- انتخاب تمام جمعیت بهعنوان والدین؛
  - انتخاب تصادفی؛
- انتخاب مناسب ترین عضو هر اجتماع؛
- استفاده از چرخ Roulette Selection؛
- استفاده از روش Scaling Selection؛
- استفاده از روش Tournament Selection.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Fitness

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Selection

### ۳-۲-۳-۳ تقاطع یا ترکیب مجدد'

امکان ترکیب جوابهای جزئی یافت شده و در نتیجه بهدست آوردن جوابهایی با کیفیت بالاتر را فراهم میآورد.

در جریان عمل بازترکیبی به صورت اتفاقی بخشهایی از کروموزومها با یکدیگر تعویض می شوند. این موضوع باعث میشود که فرزندان ترکیبی از خصوصیات والدین خود را به همراه داشته باشند و دقیقا مشابه یکی از والدین نباشند. هدف تولید فرزند جدید میباشد؛ به این امید که خصوصیات خوب دو موجود در فرزندشان جمع شده و یک موجود بهتری را تولید کند. روشهای بازترکیبی را نیز فقط به شرح زیر نام میبریم:

- بازترکیبی تک نقطهای<sup>۲</sup>؛
- بازترکیبی دو نقطهای<sup>۲</sup>؛
- بازترکیبی چند نقطهای<sup>†</sup>؛
  - بازتركيبى جامع<sup>6</sup>.

#### ۳-۲-۳ جهش

بهصورت تصادفی تعدادی از کروموزومهای فرزند را انتخاب میکنیم و مقادیر یک یا چند ژن را تغییر میدهیم.

### ۳-۲-۳ الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

الگوریتم بهینهسازی ازدحام ذرات از دسته الگوریتم های بهینه سازی است که بر مبنای تولید تصادفی جمعیت اولیه عمل می کنند. در این الگوریتم با الگوگیری و شبیه سازی رفتار پرواز دسته

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Recombination/Crossover

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Single Point Crossover

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Two-point Crossover

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Multipoint Crossover

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Uniform Crossover

جمعی (گروهی) پرندگان یا حرکت دسته جمعی (گروهی) ماهی ها بنا نهاده شده است. هر عضو در این گروه توسط بردار سرعت و بردار موقعیت در فضای جستجو تعریف می گردد. در هر تکرار زمانی، موقعیت جدید ذرات با توجه به برار سرعت و بردار موقعیت در فضای جستجو تعریف می گردد. در هر تکرار زمانی، موقعیت جدید ذرات با توجه به بردار سرعت فعلی، بهترین موقعیت یافت شده توسط آن ذره و بهترین موقعیت یافت شده توسط بهترین ذره موجود در گروه، به روز رسانی می گردد. این الگوریتم ر ابتدا برای پارامترهای پیوسته تعریف شده بود اما با توجه به اینکه در برخی از کاربردها با پارامترهای گسسته سروکار داریم، این الگوریتم به حالت گسسته نیز بست داده شده است. الگوریتم بهینه سازی ازدهام ذرات را در حالت گسسته با <sup>(</sup>(BPSO) معرفی می گردد. در این الگوریتم موقعیت نشان داده می شود. در BPSO مقدار هر ذره می تواند از صفر به یک و یا از یک به صفر تغییر کند. سرعت هر ذره نیز به عنوان احتمال تغییر هر ذره به مقدار یک تعریف می گردد. در این فصل بخش سرعت هر ذره نیز به عنوان احتمال تغییر هر ذره به مقدار یک تعریف می گردد. در این فصل بخش

۲-۲-۴ تعاریف اولیه الگوریم ازدحام ذرات فرض کنید یک فضای جستجوی d بعدی داریم. i اُمین ذره در این فضای d بعدی باب بردار موقعیت X<sub>i</sub> به شکل معادله ۳-۴ توصیف می گردد:

$$X_{i} = (x_{i_{1}}, x_{i_{2}}, x_{i_{3}}, \dots, x_{i_{d}})$$
(f-r)

بردار سرعت i اُمین ذرہ نیز با بردار  $V_i$  به صورت معادله ۳–۵ تعریف می گردد:

 $V_{i} = (v_{i_{1}}, v_{i_{2}}, v_{i_{3}}, \dots, v_{i_{d}})$  (d-r)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Binary Particle Swarm Optimization

 $P_{i\,.best}$  بهترین موقعیتی که ذره i اُم پیدا کرده است را همانطور که در معادله ۳–۶ دیده می شود با r تعریف شده:

$$P_{i.best} = (p_{i_1}, p_{i_2}, p_{i_3}, \dots, p_{i_d})$$
(9-7)

بهترین موقعیتی که بهترین ذره در بین کل ذرات پیدا کرده است را با  $P_{g.best}$  به صورت معادله ۳–۷ تعریف شده:

$$P_{g.best} = (p_{g_1}, p_{g_2}, p_{g_3}, \dots, p_{g_d})$$
(Y-Y)

برای به روز رسانی محل هر کدام از ذرات از رابطه ۳-۸ استفاده میشود:

$$V_{i}(t) = w * V_{i} (t - 1) + c_{1} * rand_{1} * (P_{i.best} - X_{i} (t - 1))$$

$$+ c_{2} * rand_{2} * (P_{g.best} - X_{i} (t - 1))$$

$$X_{i} = X_{i} (t - 1) + V_{i}(t)$$
(A-r)

$$\mathbb{W}$$
 : ضریب وزنی اینرسی (حرکت در مسیر خودی) که نشان دهنده میزان تأثیر بردار سرعت تکرار  
قبل  $(V_i(t))$  بر روی بردار سرعت در تکرار فعلی  $((t+1))$  است.  
 $c_1$  : ضریب ثابت آموزش (حرکت در مسیر بهترین مقدار ذره مورد بررسی)  
 $c_2$  : ضریب ثابت آموزش (حرکت در مسیر بهترین ذره یافت شده در بین کل جمعیت)  
 $c_2$  : ضریب ثابت آموزش (حرکت در مسیر بهترین ذره یافت شده در بین کل جمعیت)  
 $C_2$  :  $C_1$  ،  $C_2$  دو عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه ۱۰ ا  
 $V_i$  ( $t - 1$ ) ام  
 $X_i$  ( $t - 1$ ) ام

برای جلوگیری از افزایش بیش از حد سرعت حرکت یک ذره در حرکت از یک محل به محل دیگر (واگرا شدن بردار سرعت)، تغییرات سرعت را به رنج  $V_{max}$  تا  $V_{min}$  محدود می کنیم؛ یعنی (واگرا شدن بردار  $V_{min} = V_{max}$  محدود می کنیم یعنی (واگرا شدن  $V_{max} = V_{max}$ 

$$\mathbf{x} = \max(\mathbf{0}, \mathbf{x}) \tag{9-7}$$

در رابطه ۳–۹ مقادیر مجاز x؛ یعنی 
$$0 \leq x$$
 بدون هیچ گونه تغییری نگاشت می شوند اما مقادیر غیر  
مجاز x؛ یعنی  $x < 0$  به مقدار مجاز x=0 نگاشت می شوند. در حالت کلیتر اگر محل ذرات به-  
صورت  $\left[lpha_{min}, lpha_{max}
ight]$  باشد، برای محدودسازی می توان از رابطه ۳–۱۰ استفاده کرد:

$$\alpha_{d} = \min \{\max (X_{d}, V_{d}, \alpha_{\min}), \alpha_{\max}\}$$
(1.-\vec{v})

با استفاده از رابطه ۳–۱۰ محل ذراتی که در خارج از محدوده تعریف شده قرار داشته باشند به داخل محدوده مجاز نگاشت می شوند و محل سایر ذراتی که در محدوده مجاز قرار دارند تغییری داده نمی-شود.

#### ۳-۲-۴ توليد تصادفي جمعيت اوليه ذرات

تولید تصادفی جمعیت اولیه بطور ساده عبارت است از تعیین تصادفی محل اولیه ذرات با توزیع یکنواخت در فضای حل (فضای جستجو). مرحله تولید تصادفی جمعیت اولیه تقریبا در تمامی الگوریتمهای بهینهسازی احتمالاتی وجود دارد. اما در این الگوریتم علاوه بر محل تصادفی اولیه ذرات، مقداری برای سرعت اولیه ذرات نیز اختصاص می یابد. رنج پیشنهادی اولیه برای سرعت ذرات را می-توان از رابطه زیر استخراج کرد.

$$\frac{X_{\min} - X_{\max}}{2} \le V \le \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2}$$
(1.-7)

#### ۳-۲-۴-۴ انتخاب تعداد ذرات اوليه

بطور خلاصه، تعداد جمعیت اولیه با توجه به مسئله تعیین می گردد. در حالت کلی تعداد ذرات اولیه، مصالحهای بین پارامترهای درگیر در مسئله است. بطور تجربی انتخاب جمعیت اولیه ذرات به تعداد ۲۰ تا ۳۰ ذره انتخاب مناسبی است که تقریبا برای تمامی مسائل تست به خوبی جواب میدهد. می-توان تعداد ذرات را کمی بیشتر از حد لازم نیز در نظر گرفت تا کمی حاشیه ایمنی در مواجهه با مینیمههای محلی داشت.

### ۳-۲-۴-۵ ارزیابی تابع هدف (محاسبه هزینه یا بر آزندگی) ذرات

در این مرحله باید هر یک از ذرات را که نشان دهنده یک حل برای مسئله مورد بررسی است، ارزیابی کرد. بسته به مسئله مورد بررسی، روش ارزیابی متفاوت خواهد بود. مثلا اگر امکان تعریف یک تابع ریاضی برای هدف وجود داشته باشد، با جایگذاری پارامترهای ورودی (که از بردار موقعیت ذره استخراج شدهاند) در این تابع ریاضی، به راحتی مقدار هزینه این ذره محاسبه خواهد شد. باید توجه داشت که هر ذره حاوی اطلاعات کاملی از پارامترهای ورودی مسئله است که این اطلاعات استخراج شده و در تابع هدف قرار می گیرد.

گاهی اوقات امکان تعریف یک تابع ریاضی برای ارزیابی ذرات وجود ندارد. این حالت زمانی پیش میآید که الگوریتم با یک نرم افزار دیگر لینک باشد و یا الگوریتم از داده های تجربی (آزمایش) استفاده کند. در این گونه موارد باید اطلاعات مربوط به پارامترهای ورودی نرم افزار یا آزمایش را از بردار موقعیت ذرات استخراج کرده و در اختیار نرم افزار لینک شده با الگوریتم جایگذاری کرد و یا درآزمایش مربوطه اعمال نمود. با اجرای نرم افزار و یا انجام آزمایش و مشاهده و اندازه گیری نتایج هزینه ای را که هر یک از ذرات در پی دارند مشخص خواهد شد.

۲-۳-۴-۶ ثبت بهترین موقعیت برای هر ذره (P<sub>i.best</sub>) و بهترین موقعیت در بین کل
 ذره ها (P<sub>g.best</sub>)
 در این مرحله با توجه به شماره تکرار، دو حالت قابل بررسی است:
 اگر در تکرار اول باشد (t=1). موقعیت فعلی هر ذره را به عنوان بهترین محل یافت شده برای

آن ذره می وان در نظر گرفت.

در سایر تکرارها مقدار هزینه به دست آمده برای ذرات در مرحله ۲ را با مقدار بهترین هزینه به دست آمده برای تک تک ذرات باید مقایسه کرد. اگر این هزینه کمتر از بهترین هزینه ثبت شده برای این ذره باشد، آنگاه محل و هزینه این ذره جایگزین مقدار قبلی میگردد. در غیر این صورت تغییری در محل و هزینه ثبت شده برای این ذره ایجاد نمی شود.

#### ۳-۲-۴-۷ به روز رسانی بردار سرعت تمامی ذرهها

در این مرحله بردار سرعت با استفاده از رابطه ۳-۱۱ بهروزرسانی می شود.

$$V_{i}(t) = w * V_{i}(t-1) + c_{1} * rand_{1} * (P_{i.best} - X_{i}(t-1))$$
 (1)- $v$ )

$$+c_2 * rand_2 * (P_{g.best} - X_i (t-1))$$

ضرایب  $c_1, c_2$  با توجه به مسئله مورد نظر به روش تجربی تعیین می گردند. اما به عنوان یک قانون کلی باید در نظر داشت که w باید کمتر از یک باشد زیرا اگر بزرگتر از یک انتخاب شود، V(t) دائما افزایش می یابد تا جایی که واگرا گردد. همچنین باید دقت کرد، هرچند در تئوری ضریب w می تواند منفی نیز باشد اما در استفاده عملی از این الگوریتم هیچ گاه این ضرایب را نباید منفی در نظر گرفت؛ زیرا منفی بودن w موجب ایجاد نوسان در V(t) می شود. انتخاب مقدار کوچک برای این ضریب (w)نیز مشکلاتی را در پی خواهد داشت. اغلب در الگوریتم ازدحام ذرات مقدار این ضریب را مثبت و در زیرا منفی بودن v می جواهد داشت. اغلب در الگوریتم ازدحام ذرات مقدار این ضریب را مثبت و در نیز مشکلاتی را در پی خواهد داشت. اغلب در الگوریتم ازدحام ذرات مقدار این ضریب را مثبت و در زیر کاری این دو ضریب باعث انحراف شدید ذره از مسیر خودی می شود. اغلب در الگوریتم ازدحام بزرگ برای این دو ضریب باعث انحراف شدید ذره از مسیر خودی می شود. اغلب در الگوریتم ازدحام ذرات مقدار این ضرایب را مثبت و در رنج ۱٫۵ الی ۱٫۷ در نظر می گیرند.

لازم به یادآوری است که الزاما مقادیر پیشنهادی فوق تنها انتخابهای ممکن برای ضرایب *W,C1, C2* نیست بلکه با توجه به مسئله مورد بررسی ممکن است انتخاب های بهتری غیر از موارد فوق وجود داشته باشد.

#### ۳-۲-۴-۸ تست همگرایی

تست همگرایی در این الگوریتم مانند سایر الگوریتم های بهینهسازی است. برای بررسی الگوریتم روش های گوناگونی وجود دارد. برای مثال میتوان تعداد مشخصی تکرار را از همان ابتدا معلوم کرد و در هر مرحله بررسی کرد که آیا تعداد تکرارها به مقدار تعیین شده رسیده است؟ اگر تعداد تکرارها کوچکتر از مقدار تعیین شده اولیه باشد، آن گاه باید به مرحله ۲ بازگردید در غیر این صورت الگوریتم پایان میپذیرد. روش دیگری که اغلب در تست همگرایی الگوریتم استفاده می شود، این است که اگر در چند تکرار متوالی مثلا ۱۵ یا ۲۰ تکرار تغییری در مقدار هزینه بهترین ذره ایجاد نگردد، آنگاه الگوریتم پایان می یابد. در غیر این صورت باید به مرحله ۲ بازگشت. دیاگرام گردشی (فلوچارت) الگوریتم ازداحام ذرات در شکل ۳-۶ نشان داده شده است.



شكل٣-8:شكل كلى الگوريتم ازدحام جمعيت

### ۲-۲-۵ الگوریتم بهینهسازی کلنی زنبور عسل

الگوریتم بهینهسازی کلنی زنبور عسل مبتنی بر جمعیت میباشد؛ که در حال حاضر به طور گسترده ای برای حل مسائل بهینهسازی چند بعدی به کار میبرند [۷]. این الگوریتم بهینهسازی مبتنی بر هوش جمعیت، از رفتار تغذیهای زنبور عسل الهام گرفته شده است. ABC شامل سه نوع زنبور عسل، یعنی زنبورهای کارگر، زنبورهای ناظر و زنبورهای کاشف میباشد. در شکل ۳–۵ الگوریتم کلنی زنبور عسل نشان داده شدهاست.

#### ۳-۲-۵-۱ جمعیت اولیه

ABC فرآیند جستوجو را بهطور تصادفی با تعدادی از موقعیتهای منابع غذایی (N<sub>F</sub>) شروع می کند [۷]. که تنها یک زنبور عسل مصنوعی اطراف هر منبع غذایی وجود دارد. N<sub>F</sub> در طول فرآیند بهینه-سازی در الگوریتم ABC استاندارد تغییر نمی کند.

#### ۲-۲-۵-۲ مرحله زنبور عسل کارگر

هر زنبورعسل کارگر، با انتخاب یک منبع غذایی جدید، به بهروزرسانی راهحلهای قابل اجرا براساس  $x_{i,j}$  منطقه منبع غذایی که قبلا انتخاب شده می پردازد. بنابراین، راهحل  $u_{i,j}$  از راه حل قدیمی  $x_{i,j}$  ممکن است بوجود آید (براساس معادله ۳–۴). زنبورعسلهای جدید براساس قدرت منابع کشف شده قبلی به کار گرفته می شوند. راه حل پیشنهادی جدید در صورتی که کیفیت منبع غذایی آن بهتر یا برابر با منبع غذایی قدیمی باشد، جاگزین می شود. در غیراین صورت، راه حل قدیمی حفظ می شود.



شکل۳-۷:مدل الگوریتم کلنی زنبور عسل [۷]

$$u_{i,j} = x_{i,j} + \phi_{i,j} (x_{i,j} - x_{k,j})$$
<sup>(f-r)</sup>

k كه در اينجا  $\{k,i\} \in \{1,2,...,NF\}$  و  $j \in \{1,2,...,D\}$  بوده و بهصورت تصادفى انتخاب شدهاند؛ كه k كه در اينجا i متفاوت باشد؛ D بايد با i متفاوت باشد؛ D بايد با i متفاوت باشد؛ D بايد با i متفاوت باشد؛ D بايد با

#### ۳-۲-۵-۳ محاسبه احتمالات

بعد از این مراحل، زنبورهای کارگر بازگشته و اطلاعات مربوط به منابع غذایی را با زنبورهای ناظر به اشتراک میگذارند. این اشتراکگذاری اطلاعات در الگوریتم باعث هوش جمعی میشود. ارزش احتمالی بر زنبورهای تماشاگر تاثیر گذاشته، که منابع غذایی را براساس احتمال انتخاب میکنند. این ارزش احتمالی براساس رابطه ۳-۵ قابل محاسبه میباشد:

$$p_{i} = \frac{fit_{i}}{\sum_{j=1}^{NF} fit_{j}}$$
(Δ-٣)

که دراین رابطه fit<sub>i</sub> ارزش تناسب منبع غذایی iام میباشد.

#### ۳-۲-۵-۴ مرحله زنبورعسل ناظر

الگوریتم ABC از معادله ۳-۴ برای تولید زنبورهای ناظر استفاده می کند. زنبورعسل ناظر منبع غذایی را بسته به مقدار احتمالی p<sub>i</sub> مربوط به هر منبع غذایی انتخاب می کند. پس از ارزیابی میزان شهد یک موقعیت جدید ممکن، زنبور عسل ناظر از انتخاب حریصانه، برای بهروزرسانی راه حل جدید، با حذف یا حفظ راه حل قدیمی، استفاده می کند.

#### ۲-۲-۵ بروزرسانی بهترین موقعیت منبع غذایی

بهترین موقعیت منبع غذایی، بعد از پایان مرحله زنبور عسل ناظر بهروزرسانی می شود. یک منبع غذایی جدید اگر برابر یا بیشتر از منبع غذایی قبلی، شهد دهد، جایگزین منبع غذایی قبلی می شود. در غیراین صورت، موقعیت منبع غذایی قبلی معتبر باقی می ماند.

#### ۳-۲-۵-۶ مرحله زنبورعسل کاشف

اگر منبع غذایی x<sub>i</sub> (راهحل x<sub>i</sub>) از طریق یک دوره مداوم و از پیش تعیین شده تعداد سیکلها بهبودی نداشته باشد، زنبور ناگهان این منبع غذایی را ترک کرده و آن را با منبع غذایی جدید کشف شده جایگزین می کند.

#### ۳-۲-۵-۷ شرایط خاتمه

فرآیند بهینهسازی زمانی پایان مییابد که معیار تعیین شده توسط کاربر برآورده شود [۷]. زمانی که راه حل نهایی بهینه برای اولین بار پدید آید، پروسه بهینهسازی خاتمه مییابد.

## ۳-۳ معماری شبکه استنتاج فازی

در این بخش، شمای کلی از مدل استنتاج فازی IFRIM ارائه می شود. در این مدل، از RBFNN ،FL و ABC استفاده شده که از FL برای مدیریت داده ها، برای رسیدگی به ابهام و عدم ابهام اطلاعات ورودی به منظور افزایش دقت بهره می گیریم. همان طور که قبلا هم ذکر شد، سیستم استنتاج فازی (FIS) معمولی نیاز به انتخاب قوانین فازی و پروفیل MF دارد که یک فرآیند بهینه سازی پیچیده و خاص می باشد. برای جلوگیری از این عیب، IFRIM موتور جست وجوی ABC را برای تطبیق تنظیمات می کند. علاوه برای تنتاج فازی انتظیمات می بازی معلوب برای می در این می از می از می از این عیب، IFRIM موتور جست وجوی ABC را برای تطبیق تنظیمات مطلوب برای MF و پارامتر دفازی سازی (dfp) به طور خود کار ادغام می کند. علاوه براین،

ABC همزمان تعداد نورونهای پنهان (Nn) و عرض تابع گاوس را برای RBFNN تعیین می کند که در فرآیند استنتاج داده فازی می باشد (شکل ۳-۶).



## ۳-۴ جمع بندی

سه دلیل اصلی را میتوان برای استفاده از روشهای ترکیبی بیان کرد[۴۲]:

- دلیل آماری<sup>۲</sup>
- دلیل محاسباتی<sup>۲</sup>
  - دلیل نمایشی<sup>۳</sup>

<sup>1-</sup>Statistical

<sup>2-</sup>Computational

<sup>3</sup> Representational

## ۳–۴–۱ دلیل آماری

یک الگوریتم یادگیر را می توان به عنوان یک روش جستجو در فضای فرضیه H <sup>۱</sup> در نظر گرفت که به دنبال یافتن بهترین فرضیه است. مشکل آماری هنگامی به وجود میآید که تعداد داده ای آموزشی نسبت به وسعت فضای فرضیه به صورت قابل توجهی کوچکتر باشد. در این صورت با توجه به کمبود تعداد دادههای آموزشی، الگوریتم یادگیری میتواند فرضیههای متفاوتی را در فضای خصیصه بیابد که همگی دقت یکسانی روی دادههای آموزشی ٔ دارند ولی روی دادههای آزمون ٔ دقتهای متفاوتی دارند. با ساختن یک یادگیر مرکب از چند یادگیر میتوان به دقت بهتری دست یافت و به یادگیر بهینه نزدیک شد. در شکل۸ منحنی بیرونی فضای فرضیه و منحنی داخلی مجموعه فرضیهها را نشان مىدھد.



منحنی بیرونی فضای فرضیه H را نشان میدهد، منحنی داخلی مجموعهای از فرضیهها را نشان میدهد که همگی دقت خوبی روی مجموعـه داده آموزشـی دارنـد و نقطـه f فرضـیه صـحیح را کـه بهترین فرضیه ممکن است نشان میدهد. همان گونه که در این شکل قابل ملاحظه است میتوان با ترکیب این فرضیهها، تقریب خوبی از F را به دست آورد.

- <sup>1</sup> Hypothesis
- <sup>2</sup> Train Set
- <sup>3</sup> Test Set

## ۳-۴-۲ دلیل محاسباتی

بسیاری از الگوریتمهای یادگیری گونهای از جستجوی محلی <sup>۱</sup>هستند که ممکن است در نقط ه بهینه محلی<sup>۲</sup> گیر بیفتند. به عنوان مثال الگوریتمهای یادگیری شبکه عصبی گرادیان نزولی<sup>۳</sup> را برای کمینه کردن یک تابع خطا روی مجموعه داده آموزشی به کار می گیرد و الگوریتمهای درخت تصمیم از یک قانون هرس کننده برای جداسازی در گرهها استفاده می کنند. در مواردی که تعداد دادههای آموزشی برای یادگیری به اندازه کافی است، مشکل آماری وجود ندارد اما ممکن است از لحاظ محاسباتی برای الگوریتم یادگیری مشکل باشد که بتواند بهترین فرضیه را بیابد.



شکل۳-۱۰:دلیل محاسباتی برای کارایی ترکیب یادگیرها [۶]

هر یادگیر با توجه به فرضیات متفاوتی که از یک مساله دارد و شرایط اولیه مخصوص به خود شروع به حل مساله میکند و به جواب خاصی در فضای فرضیه میرسد که معایب و مزایای خاص خود را دارد، در نتیجه با ترکیب این یادگیرها میتوان به یادگیر بهتری رسید که مزایای یادگیرهای اولیه را به ارث برده و کاملتر شده است. شکل ۹ این موضوع را نشان میدهد. ساخت یک یادگیر تکی بهینه از منظر محاسباتی بسیار مشکل است بنابراین میتوان با ترکیب یادگیرها به کارایی بهتری دست یافت.

- 1 Local Search
- 2 Local Optimum

<sup>3</sup> Gradient Descent

### ۳-۴-۳ دلیل نمایشی

در بسیاری از مسائل یادگیری ماشین، راهحل واقعی مساله نمیتواند توسط هیچ یک از فرضیههای موجود در H نمایش داده شود. با ترکیب این یادگیرها امکان گسترش فضای فرضیه و نمایش فرضیههای بیشتری وجود خواهد داشت. شکل ۱۰ این بحث را به نمایش میگذارد. این موضوع هنگامی که به تعداد محدود دادههای آموزشی و اینکه الگوریتمهای یادگیری نمیتوانند تمام فضای آموزشی را جستجو کنند توجه کنیم، نمود بیشتری پیدا میکند. در نتیجه فضای نشان داده شده در شکل ۱۰ شکل ۱۰ میکند. در نتیجه فضای نشان داده شده در آموزشی را جستجو کنند توجه کنیم، نمود بیشتری پیدا میکند. در نتیجه فضای نشان داده شده در شکل ۱۰ را میتوان فضای نشان داده شده در شکل ۱۰ میکند. در نتیجه فضای نشان داده شده در



شکل۳-۱۱:دلیل نمایشی برای کارایی ترکیب یادگیرها [۶]

بنابراین با توجه به دلایل فوق ترکیب یادگیرها منطقی به نظر میرسد. برای ترکیب یادگیرها روشهای مختلفی وجود دارد که از آن جمله میتوان به روشهای بگینگ<sup>۱</sup> و بوستینگ<sup>۲</sup> اشاره کرد. در بگینگ [۴۳]، هر کدام از پیشبینی کنندهها با استفاده از یک مجموعه داده به اندازه m آموزش داده میشود که به صورت تصادفی و با جایگذاری از میان مجموعه داده اصلی انتخاب شدهاند. چنین مجموعه دادهای یک تکرار بوتسترپ<sup>۳</sup> از مجموعه داده اصلی نامیده میشود. به طور میانگین هر بوتسترپ، حاوی حدود ۶۳ درصد از دادههای اصلی، به همراه تعدادی زیادی از نمونههاست که چندین بار تکرار شدهاند. برای ترکیب خروجی ردهبندها نیز از روش میانگین گیری استفاده میشود. با توجه به اینکه توزیع دادهها در یک بوتسترپ، بسیار نزدیک به دادههای اصلی است بنابراین پیش-

<sup>1</sup> Bagging

<sup>2</sup> Boosting

<sup>3</sup> Boostrap Replicate

بینی کننده های ایجاد شده توسط بگینگ دقت نسبتا بالایی دارند. اما تنها عاملی که در این روش باعث ایجاد تنوع می شود تفاوتی است که میان داده آموزشی آن ها وجود دارد. این عامل موجب می-شود تا بگینگ تنها بتواند از رده بندهای پایه ای استفاده کند که ناپایدار ' هستند؛ یعنی تغییرات

کوچک در مجموعه داده آموزشی، تغییرات قابل توجهی را در خروجی الگوریتم یادگیری ایجاد کند. - - - -

بوستینگ [۴۴] خانواده دیگری از روشهاست که در سالهای اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده و نسخههای مختلفی از آن ارائه شده که معروفترین عضو این خانواده آدابوست<sup>۲</sup> است. در این روش سعی میشود تا با ترکیب پیشبینی کنندههای ضعیف<sup>۲</sup> یک مدل قوی ساخته شود. ایده اصلی در این روش، توجه بیشتر به نمونههایی است که پیشبینی آنها مشکلتر است. میزان توجه به وسیله وزنی مشخص میشود که به هر یک از نمونهها نسبت داده میشود. در ابتـدا تمامی نمونـهها وزن یکسانی دارند. در هر تکرار وزن نمونههایی که به صورت صحیحتری پیشبینی شـدهانـد کـاهش پیـدا مود تا روی دادههای دیگر افزایش پیدا می کند. نتیجه این خواهد بود که یادگیر ضعیف مجبور می-شود تا روی دادههای سخت متمرکزشود. به هر پیشبینی کنندهی تولید شـده نیـز یـک وزن نسبت مود تا روی دادههای سخت متمرکزشود. به هر پیشبینی کنندهی تولید شـده نیـز یک وزن نسبت باده میشود. این وزن نشان دهنده دقت آنها روی تمامی نمونههای موجـود در مجموعـه آموزشی است و آنهایی که دقت بالاتری داشته باشند وزن بیشتری به خود اختصاص میدهند. ایـن وزنها برای کار با نمونههای جدید مورد استفاده قرار میگیرند. در این روش پیشبینی کنندهها به گونهای ایجاد میشوند که بتوانند مکمل یکدیگر باشند.

<sup>1</sup> Unstable

<sup>2</sup> Adaboost

<sup>3</sup> Weak

فصل ۴ : داده می ساخت مدل شبکه ای فازی-

عصبى ومقايسة نتايج آن كم

در تحقیق حاضر از روش شبکه استنتاج فازی-عصبی شعاع مبنا، در تخمین عمق چاله آبشستگی اطراف پایه پل ازدو سری دادههای آزمایشگاهی و دادههای میدانی بهطور جداگانه استفاده شده است. در ابتدا از الگوریتم ژنتیک و ازدحام جمعیت استفاده شده و در ادامه، الگوریتم کلنی زنبور عسل ارائه شده است.

## ۱-۴ مشخصات دادههای آزمایشگاهی

در مطالعه حاضر، برای بخشی ازکار، از مجموعه دادههای آزمایشگاهی که حاصل کار محققینی همچون:

Chamber(1596), Chee(1982), Chiew(1984), Ettema(1980), Graf(1995), Hancu(1971), Jain(1980), Kandasamy, Kwan, Melville, prof.Oliveto's, Prof.Kothyari's, Prof.Bruce, W.Melville(1997), Faruque Mia and Hiroshi Nago(2001), Max Sheppard and William Miller(2004).

است، استفاده شده که این دادهها (پیوست ۱) توسط (Bateni et al,2007) جمع آوری شده است. همان طور که در مشاهده می شود متغیرهای آب شستگی شامل، متوسط سرعت جریان(u)، متوسط سرعت بحرانی جریان(uc)، متوسط سایز ذارات بستر(D<sub>50</sub>)، عمق جریان(Y)، عمق متعادل آب شستگی(d<sub>se</sub>) و قطر پایه پل(D) می باشد. محدوده این پارامترها در جدول ۴–۱ قابل مشاهده می باشند.



شکل۴-۱:نمایش عمق آبشستگی پایه پل[۷]

پارامتر	محدوده
$d_{50}$	0.24 -7.8(mm)
D	0.01-1 (m)
U	0.17 - 2.16(m/s)
Y	0.020 - 0.6 (m)
$U_C$	0.194 - 1.25(m/s)
$d_{se}$	0.01- 0.44(m)

جدول۴-۱:محدوده پارمترهای دادههای آزمایشگاهی

## ۲-۴ آمار و اطلاعات صحرایی

این دادهها، آمار واطلاعات صحرائی جمعآوری شده از پلها، در نقاط مختلف هستند. این دادهها شامل دادههای صحرائی فروهلیچ و دادههای صحرائی پلهای مناطق مختلف آمریکا، دو دسته داده-هایی هستند که از آنها استفاده شده است. لازم به ذکر است از میان این دادهها (پیوست ۲) تنها دادههای متعلق به پل با پایههای دایرهای شکل استفاده شده است. این دادهها توسط سازمان نقشه-برداری آمریکا<sup>۱</sup> جمعآوری شده است.

با توجه به مطالعات گذشته در مورد آنالیز حساسیت و نتایج شبیه سازی آزمایشگاهی تنها پارامترهای مورد استفاده برای آموزش شبکه با داده های میدانی *X.U.D*50 ر می اشد [۵] که بترتیب: متوسط قطر ذرات بستر، سرعت جریان، عمق جریان در بالادست پایه پل، قطر پایه پل و مقدار آب شستگی بلند مدت پایه پل می باشد. محدوده این پارامترها در جدول قابل مشاهده می باشند.

پارامتر	محدوده
$d_{50}$	0.053-90(mm)
U	0.15-4.08(m/s)
Y	0.1524-18.8(m)
D	0.61-19.5(m)
$d_s$	0.1524-10.4(m)

جدول۴-۲:محدوده پارمترهای دادههای میدانی

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> U.S Geological swwey(USGS)

۴-۳ ساخت مدل، پیشبینی عمق آبشستگی و مقایسه نتایج

## ۴–۳–۱ نحوه انتخاب دادههای آموزش

پس از انتخاب دادهها و پارامترهای مورد نظر برای مدلسازی، در این مرحله نحوه انتخاب دادههای آموزش، آزمایش و صحتسنجی بیان میشود. در مطالعه حاضر، کار بدین صورت میباشد که در مرحله اول برای استفاده از روشهای دادهکاوی، مجموعه دادههای مرحله آموزش و آزمایش که آزمایشگاهی میباشند (پیوست ۱)، به گونهای انتخاب شدهاند که از میان کل دادههای موجود، ۷۰ درصد آنها برای آموزش شبکه، ۳۰ درصد آنها برای آزمایش شبکه مورد استفاده قرار گرفته است. در مرحله دوم، از دادههای صحرائی جمعآوری شده توسط اداره زمین شناسی آمریکا برای آموزش و آزمایش استفاده شده و در نهایت شبکه عصبی با استفاده از دادههای جمعآوری شده توسط فروهلیچ

برای بحث از دو پارامتر خطا، میانگین قدر مطلق خطا<sup>۱</sup>، جذر مربع میانگین خطا<sup>۲</sup> در کنار پارامتر ضریب همبستگی استفاده شده است، این مقادیر با استفاده از روابط (۴–۱) تا (۴–۳) قابل محاسبه است.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} |O_i - T_i|$$
 (1-4)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (O_i - T_i)^2}{N}}$$
(7-4)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Mean-Absolute Error(MAE)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Root Mean Square Error(RMSE)

$$CC = \frac{\sum (T_i - \overline{T_i})(O_i - \overline{O_i})}{\sqrt{\sum (T_i - \overline{T_i})^2 \sum (O_i - \overline{O_i})^2}}$$
(7-4)

 $\overline{O_i}$  در روابط بالا،  $O_i$  معرف مقدار خروجی برای هر داده،  $T_i$  مقدار واقعی برای i امین خروجی،  $\overline{O_i}$  میانگین خطا و N میانگین خروجیها،  $\overline{T_i}$  میانگین مقادیر واقعی،  $E_i$  مقدار خطای برای iامین داده، میانگین خطا و N بیانگر تعداد کل نمونهها میباشد.

در این مرحله، قبل از آموزش شبکه لازم است تا دادهها نرمالایز شوند. برای این کار کافی است که مقدار حداقل هر پارامتر را از مقدار پارامتر مورد نظر کم کرده و بر تفاضل مقادیر حداکثر و حداقل آن پارامتر تقسیم کنیم [۷] تا مقادیر پارامتر بین صفر و یک محدود شود. که در رابطه ۴-۴ فرمول نرمالایز ارائه شده است.

$$x_i^{nor} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \tag{(f-f)}$$

که در فرمول فوق X<sub>i</sub> میتواند هر دادهای اعم از ورودی یا خروجی باشد، X<sub>min</sub> مینیمم مقدار مجموعه داده وارد شده، x<sub>max</sub> مقدار ماکسیمم مجموعه داده وارد شده و x<sub>i</sub><sup>nor</sup> مقدار نرمالیزه شده داده میباشد

## ۴-۳-۴ نحوه اعمال پارامترهای ورودی به شبکه

در این مرحله، مقادیر اولیه برای پارامترهای Nn ،dfp ،mfp و ح، بهصورت تصادفی در محدودههای از پیش تعیین شده، تولید می شوند که در جدول ۴-۳ مقادیر ارائه شدهاند.

Tuning Deremotor	Notation	Lower	Upper
	notation	bound	bound
Gaussian MF width	Wi	10-3	1
Gaussian MF center	$C_i$	0	1
Defuzzification parameter	dfp	0	1
Hidden neuron number	$N_n$	200	200
Gaussian function width	σ	10-3	4

جدول۴-۳:مقادیر اولیه پارامترهای به کار گرفته شده در شبکه استنتاج فازی-عصبی

در فرایند فازیسازی، شبکه، هر مقدار ورودی عادی را به درجه عضویت (MF) مربوط تبدیل می-کند. توابع عضویت برای نشان دادن رابطه و همچنین برای نشان دادن مقادیر واضح برروی درجات اعضای مربوط استفاده میشود. در این تحقیق از MFهای Gaussian در فرایند فازیسازی استفاده شده است. MFهای Gaussian ، که در معادله ۴–۵ بیان شده، از دو پارامتر آزاد مرکز (C) و عرض (w) استفاده می کنند تا شکل خود را بسازند [۷].

$$\mu_{x} = e^{-(\frac{1}{2})(\frac{x-C}{W})^{2}}$$

(Δ-۴)



شکل۴-۲:شمای تابع عضویت گوسی[۷]

در فرایند آموزش، آژمایش و صحتسنجی شبکه عصبی، شبکه عصبی شعاع مبنا (RBFNN) برای رسیدگی به تابع اصلی است که پارامترهای ورودی فازی و پارامتر خروجی را مرتبط میکند. خروجی فرآیند فازیسازی، به شکل نمرات عضویت، بهعنوان ورودی فازی برای RBFNN عمل میکند که این دادهها برای دستیابی به مدل، تخمینی میباشد. همان طور که قبلا ذکر شد، در مدل پیشنهادی ما از تابع گاوسی بهعنوان تابع شعاع مبنا در شبکه عصبی شعاع مبنا استفاده میکند.

بعد از اتمام فرآیندهای بالا در فرآیند دفازیسازی مقادیر خروجی به شکل فازی بیان میشوند. این مقادیر باید به مقادیر واضح تبدیل شوند. این مدل، از الگوریتمهای بهینهسازی برای تولید مقادیر تصادفی پارامتر دفازیسازی، dfp و کدشکنی این پارامتر برای تبدیل خروجی RBFNN استفاده می-کند.

یادآور می شویم که در طول فرآیند شبکه عصبی پیشنهاد شده، از تابع تناسب زیر برای ارائه مجموعهای از پارامترهای بهینه استفاده می کند [۷].

$$f = E_{train} - E_{validate or test}$$

(۵–۴)

#### ۴–۳–۳ نرمافزار مورد استفاده

برای انجام این تحقیق از نرمافزار متلب ورژن ۱۶ استفاده شده است. این نرمافزار دارای قابلیتهای زیادی در زمینه هوش مصنوعی میباشد. شبکه RBF در این نرمافزار موجود و بهراحتی با استفاده از نوار ابزار یا فراخوانی توسط دستور نویسی قابل تنظیم و استفاده میباشد.

شبکه RBF مورد استفاده به ازای هر داده یک نورون در لایه پنهان قرار میدهد و قابلیت فیت شدن کامل به تمام دادهها را دارا میباشد.

# ۴-۳-۴ ورود دادههای آزمایشگاهی و آموزش و آزمایش آن

در این مرحله، شبکههای استنتاج فازی-عصبی با دادههای آزمایشگاهی آموزش و آزمایش میشوند و با الگوریتمهای بهینهسازی ژنتیک (GA)، ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم کلنی زنبور عسل (ABC) بهینهسازی شده اند. در ضمن باید متذکر شد که هرکدام از مراحل، کار ده بار تکرار شده و نتایج بهصورت میانگینی از ده بار تکرار میباشد.در نهایت نتایج آنها در جدول ۴ - ۴ ارائه شدهاست و گرافهای مربوط به اشکال ۴ - ۳ تا ۴ - ۱۴ نمونهای از نمودارهایی است که در ده بار تکرار به دست آمدهاند.

					Experiment	al Data:					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Avr.
Train						GA					
RMSE	0.10351	0.1097	0.10759	0.1036	0.10278	0.099643	0.10592	0.099304	0.10654	0.10415	0.104274
MAE	0.011821	0.000337	0.000993	0.004846	0.002004	0.00517	0.006299	0.000783	0.001676	0.000298	0.003423
Test											
RMSE	0.12814	0.12518	0.12681	0.12452	0.11689	0.1161	0.11719	0.10693	0.12876	0.11384	0.120436
MAE	0.019811	0.014403	0.013716	0.020797	0.025716	0.021777	0.023804	0.020073	0.024242	0.010169	0.019451
CC	0.70752231	0.72126	0.710317	0.727803	0.770918	0.77496	0.76947	0.817532	0.717308	0.778591	0.749568
Train						PSO					
RMSE	0.082439	0.085903	0.074167	0.091609	0.079526	0.080976	0.071081	0.068104	0.083488	0.087913	0.080521
MAE	0.00005826	0.000365	0.000447	0.000461	0.000321	0.000281	0.000977	0.000879	0.00209	0.000265	0.000614
Test											
RMSE	0.13006	0.1078	0.11796	0.11362	0.10264	0.112793	0.10995	0.10253	0.111761	0.10897	0.111808
MAE	0.014991	0.01668	0.032753	0.010219	0.013062	0.011432	0.035461	0.022377	0.029016	0.016405	0.02024
CC	0.70181916	0.809	0.779613	0.776972	0.82767	0.857724	0.82065	0.829924	0.873984	0.798674	0.807603
Train						ABC					
RMSE	0.09262	0.065537	0.083655	0.078329	0.078538	0.07684	0.079874	0.065803	0.078728	0.077868	0.077779
MAE	0.0086578	0.000601	0.000681	0.000406	0.00203	0.000534	0.000226	0.002027	0.001641	0.000822	0.001763
Test											
RMSE	0.11216	0.10595	0.1196	0.11023	0.11288	0.10882	0.11637	0.11052	0.097892	0.095008	0.108943
MAE	0.016588	0.024105	0.021735	0.020857	0.01335	0.015856	0.039781	0.01394	0.007371	0.013362	0.018694
СС	0.78586126	0.838377	0.76033	0.799488	0.7843	0.803823	0.814818	0.793555	0.83857	0.850891	0.807001

جدول۴–۴:نتایج حاصل از آموزش و آزمایش شبکه استنتاج فازی با سه الگوریتم بهینهسازی با دادمهای آزمایشگاهی



شکل۴–۳:نمونهای از نمودار همگرائی شبکه فازی عصبی در مرحله آموزش مربوط به الگوریتم ژنتیک برای دادههای

آزمایشگاهی



شکل۴-۴:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مرحله آموزش)



شکل۴-۵:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مرحله آزمایش)







شکل۴-۲:نمونهای از نمودار همگرائی شبکه فازی عصبی در مرحله آموزش مربوط به الگوریتم ازدحام جمعیت برای

دادەھای آزمایشگاھی



شکل۴-۸:نمونهای گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات (مرحله آموزش)



شکل۴-۹:نمونهای گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات (مرحله آزمایش)







شکل۴–۱۱:نمونهای نمونهای از نمودار همگرائی شبکه فازی عصبی در مرحله آموزش مربوط به الگوریتم کلنی زنبور

عسل برای دادههای آزمایشگاهی







شکل۴-۱۳:نمونهای گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم کلنی زنبور عسل (مرحله آزمایش)



با توجه به جدول ۴–۴ و اشکال ۴–۳ تا ۴–۱۴، با الگوریتم کلنی زنبور عسل کمترین خطاها را در همه مراحل دارد که به ترتیب مقادیر RMSE و MAE برای این الگوریتم 0.109 و 0.019 میباشد و الگوریتمهای ازدحام جمعیت و ژنتیک در رتبههای دوم و سوم قرار دارند. از لحاظ ضریب همبستگی هم الگوریتم کلنی زنبور عسل عملکرد بهتری داشتهاست که مقدار این پارامتر هم برابر با 0.81 است که مقداری شبیه مقدار بهدست آمده توسط الگوریتم بهینهسازی ازدحام جمعیت میباشد.

## ۴-۳-۵ ورود دادههای صحرائی، آموزش، آزمایش و صحتسنجی آن

در این بخش شبکههای استنتاج فازی را با استفاده از دادههای صحرائی آموزش و تست کرده و در نهایت به صحتسنجی آن می پردازیم. دادهای مورد استفاده در این بخش به دو دسته تقسیم شده که در ذیل به شرح هر یک می پردازیم:

#### ۴-۳-۵-۱ دادههای صحرائی فروهلیچ

این دادهها توسط فروهلیچ جمع آوری گردیده است. این اطلاعات توسط سازمانهای ذیربط در کشور آمریکا برداشت شده، که در اندازه گیری آن از آخرین تکنیکهای موجود استفاده شده است. عمق آبشستگی موضعی توسط عمق سنج صوتی<sup>۱</sup> اندازه گیری شد. عمق آبشستگی موقعی که سطح آب در بالاترین رقوم قرار داشته و برای مدت نسبتا طولانی، ثابت بوده، اندازه گیری گردیده است. در چنین حالتی حفره ایجاد شده در اثر آبشستگی موضعی در حالت تعادل می باشد و عمق حفره، معرف حداکثر میزان آبشستگی تحت شرایط هیدرولیکی موجود می باشد (پیوست ۲).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Soonic depth Finder
## ۴-۳-۵-۲ آمار مربوط به پلهای آمریکا

این اطلاعات مربوط به ۴۴ پل در ایالتهای مختلف آمریکا میباشد، که توسط سازمان نقشه برداری آمریکا<sup>۱</sup> جمع آوری شده است. این آمار دقیق بوده و همچنین تعداد آن قابل توجه میباشد (پیوست ۲).

## ۴-۳-۵-۳ روش کار و نتایج حاصل

روش کار به این گونه است که ابتدا شبکه استنتاج فازی را با استفاده از آمار پلهای آمریکا آموزش و آزمایش کرده و سپس با استفاده از دادههای فروهلیچ به صحتسنجی آن پرداخته شدهاست؛ که در مرحله آموزش و آزمایش از ۷۰ درصد دادههای مربوط به آمار پلهای آمریکا برای آموزش و از ۳۰ درصد آن برای آزمایش استفاده شده و دادههای فروهلیچ برای صحتسنجی استفاده میشود مجددا باید متذکر شد که کل کار ده بار تکرار شده و از میانگین پارامترها برای تحلیل استفاده شده است. نتایج این بخش در جدول ۴–۵ و ۴–۶ ارائه شده است و گرافهای ۴–۱۵ تا ۴–۳۲ نمونهای از نمودارهای است که الگوریتمها ارائه کردهاند.

تذکر: کلیه نمودارها فقط نمونهای از کل ده بار تکرار میباشد.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> U.S Geological swvey (USGS)

					Ē	eld Data					
	1	2	З	4	5	6	7	8	9	10	Avr.
Train						GA					
RMSE	0.060724	0.069494	0.062718	0.080912	0.056684	0.057783	0.068287	0.059836	0.080022	0.05819	0.065465
MAE	0.001323	0.00705	0.001058	0.005055	0.001354	0.000038741	0.001004	0.001679	0.0024452	0.004123	0.002513
Test											
RMSE	0.10056	0.10005	0.10859	0.10539	0.1016	0.094206	0.1031	0.10187	0.11969	0.089404	0.102446
MAE	0.015638	0.005178	0.014035	0.005908	0.031176	0.019135	0.010035	0.023998	0.0064382	0.016837	0.014838
СС	0.910097	0.903227	0.892018	0.889173	0.948482	0.930797968	0.907045	0.924613	0.855627135	0.93145	0.909253
Train						PSO					
RMSE	0.057489	0.049834	0.0529	0.052629	0.056958	0.057621	0.057599	0.059556	0.053896	0.056929	0.055541
MAE	0.00276	0.000225	0.00019	0.000342	0.000108	0.00082306	0.001379	0.000221	0.0008379	0.00062	0.000751
Test											
RMSE	0.11705	0.087859	0.11318	0.11823	0.099164	0.11721	0.090044	0.099973	0.098125	0.082355	0.102319
MAE	0.03487	0.015982	0.027415	0.00654	0.020517	0.0063108	0.015235	0.008372	0.034704	0.011245	0.018119
СС	0.905181	0.929279	0.905912	0.857502	0.917036	0.860101472	0.934254	0.904728	0.922934411	0.945275	0.90822
Train						ABC					
RMSE	0.054904	0.064706	0.066527	0.063893	0.052792	0.057068	0.049137	0.062321	0.047822	0.066282	0.058545
MAE	0.000008	0.000171	0.002522	0.003214	0.003382	0.0010647	0.001169	0.000157	0.000026491	0.001894	0.001361
Test											
RMSE	0.10804	0.074152	0.096833	0.09479	0.079557	0.080918	0.083119	0.089662	0.1025	0.088296	0.089787
MAE	0.012078	0.017833	0.028107	0.029355	0.023659	0.0018125	0.001723	0.019154	0.031253	0.019631	0.018461
СС	0.89006	0.950144	0.927329	0.923369	0.953387	0.935998259	0.940373	0.926868	0.946077461	0.949444	0.934305

جدول۴-۵۰نتایج حاصل از آموزش و آزمایش شبکه استنتاج فازی با سه الگوریتم بهینهسازی با دادههای صحرائی

					Validate	Data					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Avr.
					GA						
RMSE	0.083647	0.079033	0.085066	0.1061	0.10611	0.10693	0.078443	0.10208	0.065445	0.087258	0.090011
MAE	0.014291	0.022985	0.021455	0.011331	0.00232	0.009746	0.011845	0.00301	0.023492	0.009115	0.012959
CC	0.942333	0.956667584	0.941994338	0.890702	0.89295	0.890089	0.950968	0.898319	0.96934449	0.928113	0.926148
					PSO						
RMSE	0.089516	0.104085	0.10037	0.095693	0.081032	0.083002	0.106629	0.099171	0.088074	0.084225	0.09318
MAE	0.033681	0.007431	0.017463	0.031086	0.000599	0.016205	0.017417	0.00363	0.031804	0.023159	0.018247
СС	0.957723	0.913954412	0.907180779	0.926757	0.938226	0.944523	0.912659	0.904249	0.951543585	0.952861	0.930968
					ABC						
RMSE	0.091116	0.086512	0.081253	0.09015	0.088774	0.067638	0.09306	0.075515	0.079556	0.096653	0.085023
MAE	0.002151	0.012673	0.0099285	0.026631	0.022532	0.013546	0.031552	0.019981	0.017421	0.028663	0.018508
СС	0.921015	0.93877266	0.940523781	0.935861	0.948646	0.965623	0.943393	0.960356	0.955474366	0.932663	0.944233

جدول۴-۶نتایج حاصل از صحتسنجی شبکه استنتاج فازی با سه الگوریتم بهینهسازی با دادههای صحرائی



شکل۴-۱۵:نمونهای از نمودار همگرائی شبکه فازی عصبی در مرحله آموزش مربوط به الگوریتم ژنتیک برای دادههای

صحرائى



شکل۴-۱۶:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مرحله آموزش)



شکل۴-۱۷: نمونه ای از گراف های مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مرحله آزمایش)



شکل۴-۱۸:نمونهای از نمودار مربوط به ضریب همبستگی مرحله آزمایش الگوریتم ژنتیک



شکل۴-۱۹: نمونه ای از گراف های مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مرحله صحت سنجی)





دادەھاى صحرائى



شکل۴-۲۲:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ازدحام جمعیت (مرحله آموزش)



شکل۴-۲۳:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ازدحام جمعیت (مرحله آزمایش)



شکل۴-۴۲:نمونهای از نمودار مربوط به ضریب همبستگی مرحله آزمایش الگوریتم ازدحام جمعیت



شکل۴–۲۵:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم ازدحام جمعیت (مرحله صحت-

#### سنجی)





شکل۴-۲۷:نمونهای از نمودار همگرائی شبکه فازی عصبی در مرحله آموزش مربوط به الگوریتم کلنی زنبور عسل برای

صحرائى	دادەھاي
--------	---------





آموزش)



شکل۴-۲۹:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم کلنی زنبور عسل (مرحله

آزمایش)





شکل۴-۳۱-:نمونهای از گرافهای مربوط به شبکه استنتاج فازی با استفاده از الگوریتم کلنی زنبور عسل (مرحله صحت-

#### سنجی)





همان طور که در جدول ۴–۵ و ۴–۶ مشاهده می شود، کمترین خطاها متعلق به شبکهای است که با الگوریتم بهینه سازی کلنی زنبور عسل (ABC) بهینه شده که در تمامی مراحل آموزش، آزمایش و صحت سنجی کمترین خطا را دارد و همانند داده های آزمایشگاهی دو الگوریتم ژنتیک و ازد حام ذرات

از لحاظ رتبهبندی کمترین خطا، به ترتیب بعد از الگوریتم کلنی زنبورعسل قرار می گیرند.

اگر از لحاظ ضریب همبستگی هم الگوریتمهای بهینهسازی با هم مقایسه شوند، الگوریتم کلنی زنبور عسل در تمامی مراحل نسبت به دو الگوریتم دیگر عملکرد بهتری داشته است.

در مطالعاتی که از کارهای گذشته شدهاست تحقیقات چنگ و چااو در سال ۲۰۱۴ بهترین عملکرد را در این سبک از کارها داشتند که شبکه استنتاج فازی-عصبی را با استفاده از الگوریتم بهینهسازی کلنی زنبور عسل بهینه کرده بودند؛ که نتایج کار آنها در جدول ۴-۷ به نمایش گذاشته شده است. قابل ذکر است که در قسمت فازیسازی از دو نوع تابع عضویت گاوسی و تراپزی استفاده شده که با استفاده از تابع عضویت تراپزی خطای کمتری در پیشبینی به دست آمده است.

		RMSE	MAE	CC
Train	IFRIM <sub>G</sub>	0.21	0.16	0.973
	IFRIM <sub>T</sub>	0.21	0.16	0.978
Test	IFRIM <sub>G</sub>	0.33	0.25	0.907
	IFRIM <sub>T</sub>	0.30	0.24	0.929

جدول۴-۲:نتایج حاصل از آموزش و آزمایش توسط چنگ و چااو

در نهایت اگر نتایج این تحقیق و نتایج جمع شده در جدول ۴–۷ باهم مقایسه شوند، به این نتیجه میتوان رسید که نتایج این تحقیق از لحاظ خطا خیلی بهتر شده و خطای خیلی پایینتری تجربه شده ولی از لحاظ همبستگی کمی ضعیفتر از نتایج جدول ۴–۷ میباشد.

. فصل۵: جمع بندی، متیجه کسری و میشهادات

## ۵-۱ جمعبندی

با توجه به اهمیت پدیده آبشستگی در محل پایههای پل و مطالعات گذشته با استفاده از روشهای هوش مصنوعی، در مطالعه حاضر تصمیم گرفته شد از سه الگوریتم برای بهینهسازی شبکه استنتاج فازی-عصبی استفاده شود. که در ابتدا از الگوریتم ژنتیک (GA) و ازدحام جمعیت (PSO) برای بهینهسازی مورد استفاده قرار گرفت و در ادامه الگوریتم کلنی زنبور عسل (ABC) به کار گرفته شد. دلیل استفاده از دو روش اول این بود که از این دو الگوریتم در تحقیقات زیادی استفاده شده و توسط محققین زیادی مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج آنها حاکی از این بود که این دو الگوریتم، هر کدام در مراحل آموزش و یادگیری و ارزیابی و صحت سنجی نتایج خوب و قابل قبول تری نسبت به سایر الگوریتمهای بهینهسازی ارائه میدهند. در ادامه شبکه استنتاج فازی-عصبی را با الگوریتم نسبتا جدیدی با عنوان کلنی زنبور عسل بهینه کرده و ساختار آن با استفاده از دادههای آزمایشگاهی و آمار صحرایی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت.

با توجه به نتایج فصل قبل که در جداول ۴–۴، ۴–۵ و ۴–۶ ارائه شدهاست، مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانیگین خطای مطلق (MAE) و ضریب همبستگی (CC) برای الگوریتم بهینه سازی کلنی زنبور عسل به ترتیب با داده های آزمایشگاهی 0.0، 0019 و 0.81، با داده های صحرائی 0.089، 0.018 و 0.93 و در مرحله صحت سنجی با داده های فروهلیچ برابر با 0.085، 0.019 و 0.94 میباشد که نسبت به سایر الگوریتم ها در کل عملکرد بهتری داشته است.

در مقایسه عملکرد این تحقیق با سایر تحقیقات مشابه با این موضوع میتوان به این نتیجه رسید که خطای کار در این تحقیق پایین آمده ولی از لحاظ ضریب همبستگی کمی نتایج ضعیفتری ارائه شده است؛ ولی از آنجایی که این ضعف در حد چند صدم است و پارامترهای خطا بهبود چشم گیری داشتند بنابراین میتوان از این ضعف چشمپوشی کرد.

## ۵-۲ نتیجهگیری

با توجه به نتایج حاصل، مشاهده می شود که در مرحله آموزش، تمامی شبکههای استنتاج فازی-عصبی مورد استفاده در این تحقیق به خوبی توانستهاند فرآیند فیزیکی حاکم بر پدیده را فرا بگیرند. همچنین نتایج به دست آمده توسط هر سه الگوریتم بهینه سازی در این تحقیق از نتایج به دست آمده توسط بهینه سازی سایر پژوهش گران با این سبک کار، از لحاظ خطا عملکرد بهتری داشتند ولی در ضریب همبستگی عملکرد الگوریتم ها کمی ضعیف تر احساس می شود؛ ولی از آن جایی که خطا عملکرد مهم-تری نسبت به ضریب همبستگی است و اختلاف این پارامتر در حد چند صدم می باشد می توان از این ضعف چشم پوشی کرد.

با توجه به نتایج حاصل در فصل چهارم این تحقیق:

شبکه استنتاج فازی-عصبی بهینه شده توسط الگوریتم کلنی زنبورعسل در همه مراحل آموزش، آزمایش و صحتسنجی دارای کمترین مقدار خطا میباشد که مقادیر آن در قسمتهای فوقانی ارائه شد و بیشترین مقدار همبستگی نیز چه در دادههای آزمایشگاهی و چه در دادههای صحرائی مربوط به الگوریتم کلنی زنبورعسل میباشد.

### ۵-۳ پیشنهادات

به عنوان پیشنهاد می توان ترکیب سایر روش های هوشمند، یا روش های آماری را برای پیش بینی آب شستگی پایه پل استفاده نمود و عملکرد آن ها را با مقادیر اندازه گیری شده واقعی و روابط تجربی مورد قیاس واقع نمود. از آن جمله می توان به:

- ترکیب درختهای تصمیم(درختهای رگرسیونی)؛
 - آموزش منطق فازی با الگوریتم مورچگان؛

- آموزش شبکه وزندار شعاع مبنا با الگوریتم علفهای هرز یا الگوریتم مورچگان و یا هر
   الگوریتم بهینهسازی فراابتکاری دیگری؛
- با استفاده از روش مکانیابی معکوس بر روی گرافها و در نظر گرفتن متغیرهای موثر
   بر روی پدیده آبشستگی پایه پل، میتوان رابطهای جدید و با دقت بالا بدست آورد.

[۱] شفاعی بجستان، م. (۱۳۸۷). "مبانی نظری و عملی هیدرولیک انتقال رسوب"، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۵۴۹ صفحه.
[۲] جعفرزاده، م.ر. (مترجم) (۱۳۸۷). "مکانیک رودخانه"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه ۵۴۰.
[۳] زراتی، ار. (مترجم) (۱۳۸۱). "نقش عوامل هیدرولیکی در طراحی پل ها"، انتشارات دانشگاه امیر ۲۰۰۰.
[۴] زراتی، ار. (مترجم) (۱۳۸۱). "نقش عوامل هیدرولیکی در طراحی پل ها"، انتشارات دانشگاه امیر ۲۰۰۰.
[۴] بیات، ح. (۱۳۹۹). "اندرکنش سازههای آبی و فرسایش"، انتشارات دانشگاه صنعتی امبیر کبیر، صفحه ۲۲۲.
[۵] شهرادفر و همکاران. بررسی کارائی شبکه های عصبی مصنوعی در پیش بینی عمق آبشستگی مفحه پایه های پل و مقایسه نتایج با مدل های ریاضی معتبر(چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه پهران، دانشگاه از هوش تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷).

[7] Min-Yuan Cheng and Minh-Tu Cao (2014) "Hybrid intelligent inference model for enhancing prediction accuracy of scour depth around bridge piers" Structure and Infrastructure Engineering, 11, 9, 1178-1189.

[8] Melville, B., & Sutherland, A. (1988). "Design method for local scour at bridge piers". Journal of Hydraulic Engineering, 114, 1210–1226.

[9] Chiew, Y. (1992). "Scour protection at bridge piers". Journal of Hydraulic Engineering, 118, 1260–1269.

[10] Kattell, J., & Eriksson, M. (1998). "Bridge scour evaluation:

Screening, analysis, & countermeasures". San Dimas, CA: USDA Forest Service, San Dimas Technology and Development Center.

[11] Shirole, A.M., & Holt, R.C. (1991). "Planning for a comprehensive

bridge safety assurance program" (pp. 39–50). Denver, CO: Transportation Research Record, Transportation Research Board.

[12] Breusers, H.N.C., Nicollet, G., & Shen, H.W. (1977). "Local scour around cylindrical piers". Journal of Hydraulic Research, 15, 211–252.

[13] Laursen, E.M., & Toch, A. (1956). "Scour around bridge piers and Abutments". Washington, DC: Iowa Highway Research Board.

[14] Melville, B., & Chiew, Y. (1999). "Time scale for local scour at bridge piers". Journal of Hydraulic Engineering, 125, 59–65.

[15] Richardson, E.V., Harrison, L.J., Richardson, J.R., & Davis, S.R. (1993).Evaluating scour at bridges (2nd ed.). McLean, VA: Federal Highway Administration, US Department of Transportation.

[16] Shen, H.W., Schneider, V.R., & Karaki, S. (1969). "Local scour around bridge piers". ASCI Journal of the Hydraulics Division, 95, 1919–1940.

[17] Van Wilson, K., Transportation, M.D.O., & Survey, G. (1995). "Scour at selected bridge sites in Mississippi." Reston, VA: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.

[18] Bateni, S.M., Borghei, S.M., & Jeng, D.S. (2007). "Neural network and neurofuzzy assessments for scour depth around bridge piers". Engineering Applications of Artificial Intelligence, 20, 401–414.

[19] Mueller, D.S., & Wagner, C.R. (2005). "Field observations and evaluations of streambed scour at bridges". Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 134 pp.

[20] Jain, T., Singh, S.N., & Srivastava, S.C. (2011). "Fast static available transfer capability determination using radial basis function neural network". Applied Soft Computing, 11, 2756–2764.

[21] Sudheer, K., & Jain, S. (2003). "Radial basis function neural network for modeling rating curves". Journal of Hydrologic Engineering, 8, 161–164.

[22] Mateo, F., Gadea, R., Mateo, E.M., & Jime'nez, M. (2011). "Multilayer perceptron neural networks and radial-basis function networks as tools to forecast accumulation of

deoxynivalenol in barley seeds contaminated with fusarium culmorum". Food Control,

### 22, 88–95.

[23] Singh, A., Imtiyaz, M., Isaac, R., & Denis, D. (2013). "Comparison of artificial neural network models for sediment yield prediction at single gauging station of watershed in eastern India". Journal of Hydrologic Engineering, 18, 115–120.

[24] Cheng, M.-Y., Hoang, N.-D., Roy, A.F.V., & Wu, Y.-W. (2012). "A novel timedepended evolutionary fuzzy svm inference model for estimating construction project at completion". **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 25, 744–752.

[25] Cheng, M., & Hoang, N. (2014). "Risk score inference for bridge maintenance project using evolutionary fuzzy least squares support vector machine". Journal of Computing in Civil Engineering, 28, 04014003.

[26] Wang, D., Zeng, X.-J., & Keane, J.A. (2012). "A clustering algorithm for radial basis function neural network initialization". **Neurocomputing**, **77**, **144–155**.

[27] Zhao, Z.-Q., & Huang, D.-S. (2007). "A mended hybrid learning algorithm for radial basis function neural networks to improve generalization capability". **Applied Mathematical Modelling**, **31**, **1271–1281**.

[28] Froehlich, D.C. (1988). "Analysis of onsite measurements of scour at piers. In Hydraulic Engineering": Proceedings of the 1988 National Conference on Hydraulic Engineering (p. 6). Colorado Springs, CO: ASCE.

[29] Molinas, A. (2000). "User's Manual for BRI-STARS." Federal HighwayAdministration, Publication No. FHWA-RD-99.

[30] Johnson. P.A. (1995). "Comparison of pier scour equations using field data." Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 121, No.8: pp.626-629.

[31] Grade, R.J. and U.C. Kothyari (1988). "Scour around bridge piers." PINSA 64, A, NO.4: pp.596-580.

[32] Chase, k.J., and R.S. Holnbeck (2004). "Evaluation of Pier-Scour Equations for

Coarse-Bed Stream." U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 04-5111, 24 p.

[33] Ahmed Mohamed, T., M. J. Noor, A.H. Ghazali, and B.K. Huat (2005). "Validation of some bridge pier scour formulae using field data and laboratoty data.",

### American Journal of Environmental Science, Vol. 1, No. 2: pp.119-125.

[34] Sheppard, D. Max. and Miller, W., (2006), "Live-Bed Local Pier Scour Experiments," J. Hydraulic Eng., 132 (7) (2006) 635-642.

[۳۵] بهشتی، ع، عطائی آشتیانی، ب. (۱۳۸۷). "بررسی عددی الگوی جریان و آبشستگی در اطراف گروه شمع"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

[36] Han, H., Chen, Q., & Qiao, J. (2010). "Research on an online selforganizing radial basis function neural network". **Neural Computing and Applications, 19, 667–676.** 

[37] Yang, Y.-K., Sun, T.-Y., Huo, C.-L., Yu, Y.-H., Liu, C.-C., & Tsai, C.-H. (2013).
"A novel self-constructing radial basis function neural-fuzzy system". Applied Soft Computing, 13, 2390–2404.

[38] Jain, T., Singh, S.N., & Srivastava, S.C. (2011). "Fast static available transfer capability determination using radial basis function neural network". Applied Soft Computing, 11, 2756–2764.

[39] Hullermeier, E. (2011). "Fuzzy sets in machine learning and data mining". **Applied Soft Computing, 11, 1493–1505.** 

[40] Mamdani, E.H., & Assilian, S. (1975). "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller". **International Journal of Man-Machine Studies, 7, 1–13.** 

[41] Cheng, M.-Y., & Roy, A.F.V. (2010). "Evolutionary fuzzy decision model for construction management using support vector machine". **Expert Systems with Applications**, **37**, 6061–6069.

[42] T. G. Dietterich, "Ensemble methods in machine learning," in Lecture Notes in Computer Science, vol. 1857, Cagliari, Italy, 2000, pp. 1-15.

[43] L. Breiman, Bagging Predictors, Machine Learning, vol. 24, no. 2, pp. 123-140, 1996.

[44] Freund S. (1995),"Boosting a weak learning algorithm by majority". **Information** and Computation, 121(2), pp. 256-285.

[45] Lee, S. O., and T. W. Sturm (2009). "Effect of Sediment Size Scaling on Physical Modeling of Bridge Pier Scour." Journal of. Hydrauicl Engineering. Vol. 135, No.10: PP 793–802.

[46] Mahmut Firat, Mahmud Gungor(2008). Generalized Regression Neural Networks and Feed Forward Neural Networks for prediction of scour depth around bridge piers.

Advances in Engineering Software 40 (2009) 731–737.

[47] Abidin Kaya(2009). Artificial neural network study of observed pattern of scour

depth around bridge piers. Computers and Geotechnics 37 (2010) 413-418.

[48] Mahesh Pal, N.K. Singh, N.K. Tiwari(2010). Support vector regression based modeling of pier scour using field data. Engineering Applications of Artificial Intelligence 24 (2011) 911–916.

# پیوست ۱: دادههای آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق

run no	d₅₀(mm)	D(mm)	U(m/s)	b(mm)=v	Uc	dse(mm)
1	0.71	58	0.265	115	0.339	60
2	0,71	69	0,32	170	0,359	110
3	0,71	58	0,265	170	0,359	90
4	0,71	65	0,3	170	0,359	90
5	0,71	69	0,32	115	0,339	80
6	0,71	65	0,3	115	0,339	81
7	0,71	58	0,265	65	0,311	50
8	0,71	69	0,32	65	0,311	51
9	0,71	65	0,3	65	0,311	41
10	0,88	70	0,33	170	0,365	100
11	0,88	73	0,355	170	0,365	95
12	0,88	62	0,28	65	0,315	40
13	0,88	73	0,355	65	0,315	65
14	0,88	62	0,28	170	0,365	84
15	0,88	70	0,33	115	0,345	70
16	0,88	70	0,33	65	0,315	50
17	0,88	62	0,28	115	0,345	60
18	0,88	73	0,355	115	0,345	80
19	0,5	53	0,26	65	0,295	70
20	0,5	50	0,25	65	0,295	60
21	0,5	45	0,23	65	0,295	50
22	0,5	45	0,23	170	0,338	83
23	0,5	50	0,25	170	0,338	100
24	0,5	53	0,26	170	0,338	93
25	0,5	50	0,25	115	0,321	70
26	0,5	53	0,26	115	0,321	70
27	0,5	45	0,23	115	0,321	72
28	0,41	42	0,22	65	0,287	52
29	0,41	46	0,24	65	0,287	60
30	0,41	50	0,25	65	0,287	60
31	0,41	42	0,22	115	0,311	70
32	0,41	46	0,24	115	0,311	72
33	0,41	50	0,25	115	0,311	70
34	0,41	42	0,22	170	0,328	85
35	0,41	46	0,24	170	0,328	100

جدول ۱ : مجموعه دادههای آزمایشگاهی

36	0,41	50	0,25	170	0,328	125
37	7,8	600	1,27	28,5	0,628	23
38	5,35	600	1,095	28,5	0,582	34
39	5,35	400	1,032	101,6	0,801	180
run no	d <sub>50</sub> (mm)	D(mm)	U(m/s)	b(mm)=y	Uc	dse(mm)
40	5,35	300	0,987	101,6	0,801	168
41	5,35	200	0,924	101,6	0,801	142
42	5,35	100	0,816	101,6	0,801	130
43	5,35	50	0,708	101,6	0,801	102
44	3,8	600	1,18	101,6	0,711	206
45	1,9	600	0,682	28,5	0,408	59
46	1,9	400	0,582	101,6	0,525	216
47	1,9	300	0,56	101,6	0,525	216
48	1,9	200	0,529	28,5	0,408	57
49	1,9	100	0,476	28,5	0,408	49
50	1,9	50	0,427	28,5	0,408	41
51	1,9	20	0,353	101,6	0,525	64
52	0,84	600	0,435	101,6	0,341	251
53	0,8	600	0,427	101,6	0,343	229
54	0,38	600	0,327	28,5	0,255	49
55	0,38	600	0,327	240	0,346	210
56	0,38	400	0,314	101,6	0,309	146
57	0,38	200	0,29	101,6	0,309	127
58	0,38	100	0,266	240	0,346	173
59	0,38	50	0,242	101,6	0,309	89
60	0,24	600	0,296	28,5	0,194	42
61	4,1	600	0,87	101,6	0,737	216
62	1,9	600	0,59	101,6	0,539	209
63	0,85	600	0,42	101,6	0,34	159
64	0,55	600	0,36	101,6	0,311	140
65	4,02	380	0,68	60	0,661	129
66	1,8	700	0,37	60	0,416	82
67	3	200	0,522	50	0,564	70
68	3	200	0,522	100	0,651	113
69	3	200	0,522	150	0,701	161
70	3	350	0,52	50	0,564	77
71	3	350	0,52	100	0,651	133
72	3	350	0,52	150	0,701	193
73	3	100	0,59	50	0,564	93
74	0,8	16	0,213	200	0,315	24
75	0,8	25	0,213	200	0,315	25
76	0,8	16	0,25	200	0,302	32
77	0,8	25	0,25	200	0,302	48
78	0,8	16	0,294	200	0,307	38

79	0,8	25	0,294	200	0,307	64
80	0,9	16	0,175	200	0,33	10

run no	d₅₀(mm)	D(mm)	U(m/s)	b(mm)=y	Uc	dse(mm)
81	0,9	25	0,175	200	0,33	17
82	0,9	200	0,269	135	0,373	237
83	0,9	200	0,291	120	0,368	209
84	0,9	200	0,228	120	0,367	109
85	0,9	200	0,186	230	0,404	59
86	0,9	200	0,32	181	0,39	235
87	0,52	100	0,3444	200	0,3444	165
88	0,52	75	0,3444	200	0,3444	140,25
89	0,52	50	0,3444	200	0,3444	111
90	1,5	150	1,252	350	1,252	232,5
91	1,5	100	1,252	350	1,252	197
92	1,5	50	1,252	200	1,252	124
93	0,8	50,8	0,385	100	0,326	106,172
94	0,8	79,5	0,385	100	0,326	150,255
95	0,8	101,6	0,385	100	0,326	161,544
96	0,6	31,75	0,333	170	0,339	66,04
97	0,6	38,1	0,35	170	0,339	84,58
98	0,6	45	0,34	170	0,34	94,95
99	0,6	50,8	0,36	170	0,339	96,52
100	0,6	31,75	1,19	170	0,34	66,67
101	0,6	38,1	1,37	170	0,339	86,86
102	0,6	38,1	1,266	170	0,34	86,86
103	0,6	45	1,22	170	0,339	104,4
104	0,6	50,8	1,2546	170	0,34	96,52
105	0,85	133	0,26	50	0,288	170,24
106	0,85	133	0,291	100	0,323	184,87
107	0,85	240	0,281	80	0,312	244,8
108	0,85	240	0,26	50	0,288	184,8
109	0,85	240	0,237	30	0,263	139,2
110	1,9	28,5	0,571	600	0,634	58
111	1,9	28,5	0,487	200	0,541	57
112	1,9	28,5	0,434	100	0,482	48
113	1,9	28,5	0,381	50	0,423	41
114	1,9	101,6	0,571	600	0,634	224
115	1,9	101,6	0,54	400	0,6	223
116	1,9	101,6	0,518	300	0,575	211
117	1,9	101,6	0,487	200	0,541	198
118	1.9	101.6	0.434	100	0.482	170

دنباله جدول ۱: مجموع دادههای آزمایشگاهی

119	1,9	101,6	0,381	50	0,423	147
120	1,9	101,6	0,311	20	0,345	69

run no	d <sub>50</sub> (mm)	D(mm)	U(m/s)	b(mm)=y	Uc	dse(mm)
121	1,9	150	0,571	600	0,634	318
122	1,9	50,8	0,571	600	0,634	115
123	1,9	50,8	0,477	600	0,636	85
124	1,9	50,8	0,318	600	0,636	16
125	2,1	110	0,579	170	0,579	174
126	2,1	100	0,609	232	0,609	195
127	2,1	150	0,609	232	0,609	259
128	2	130	0,506	100	0,533	174,2
129	5	130	1,503	50	0,601	145,6
130	2,5	101,6	0,62	102	0,652	141,22
131	1,5	101,6	0,5	102	0,526	132,08
132	2,5	101,6	0,75	102	0,288	150,366
133	0,25	50,8	0,75	102	0,288	99,06
134	0,8	1000	0,277	50	0,291	240
135	0,8	600	0,277	50	0,291	204
136	0,8	10	0,343	200	0,361	24
137	0,8	766	0,326	100	0,326	440
138	0,96	70	0,231	200	0,335	94
139	0,96	70	0,245	70	0,374	77
140	0,96	70	0,218	70	0,349	69
141	0,96	70	0,231	70	0,344	79
142	0,96	70	0,198	70	0,317	39
143	0,96	50	0,231	70	0,351	60
144	0,96	50	0,231	200	0,355	60
145	0,96	38	0,243	200	0,352	54
146	0,96	38	0,231	200	0,35	45
147	0,96	70	0,278	95	0,336	116
148	0,55	110	0,33	154	0,403	105,5
149	0,55	110	0,24	149	0,401	116
150	0,55	110	0,25	302	0,44	96,5
151	0,55	64	0,21	149	0,401	44
152	0,55	64	0,25	201	0,418	51,5
153	0,55	64	0,25	300	0,44	80,5
154	0,55	257	0,19	50	0,341	34,5
155	0,55	257	0,21	102	0,38	178
156	0,55	257	0,19	100	0,379	60,5
157	0,55	257	0,22	300	0,44	155
158	0,55	257	0,26	98	0,378	151,5

دنباله جدول ۱: مجموع دادههای آزمایشگاهی

159	0,55	110	0,22	201	0,418	174
160	4,8	64	0,78	0,153	0,774	132,5

run no	d <sub>50</sub> (mm)	D(mm)	U(m/s)	b(mm)=y	Uc	dse(mm)
161	4,8	64	0,62	203	0,817	70,5
162	4,8	64	0,69	154	0,775	86
163	4,8	64	0,53	101	0,712	36
164	4,8	110	0,76	94	0,701	188
165	4,8	110	0,57	96	0,705	126
166	4,8	257	0,68	46	0,594	230
167	4,8	257	0,53	51	0,61	127,5
168	4,8	257	0,39	54	0,618	51
169	4,8	500	0,5	61	0,637	221
170	3,3	22	0,37	150	0,69	34,5
171	3,3	22	0,33	101	0,64	29
172	3,3	22	0,29	51	0,555	30,5
173	3,3	50	0,28	250	0,753	63
174	3,3	50	0,36	200	0,726	63
175	3,3	50	0,34	151	0,69	103,5
176	3,3	50	0,36	150	0,69	124,5
177	3,3	50	0,34	102	0,641	126,5
178	3,3	50	0,23	148	0,688	30,5
179	3,3	50	0,23	50	0,552	63
180	3,3	110	0,39	100	0,639	196,5
181	3,3	110	0,34	103	0,643	192
182	3,3	110	0,32	53	0,56	174,5
183	3,3	110	0,29	150	0,69	164
184	3,3	110	0,26	106	0,646	213
185	3,3	110	0,27	50	0,552	146
186	3,3	110	0,23	100	0,639	196,5
187	3,3	110	0,29	35	0,508	144,5
188	3,3	110	0,25	190	0,719	98
189	3,3	257	0,35	150	0,69	321
190	3,3	110	0,28	190	0,719	98
191	3,3	257	0,22	150	0,69	82
192	3,3	257	0,23	49	0,55	178
193	3.3	257	0.17	41	0.528	29.5

دنباله جدول ۱: مجموع دادههای آزمایشگاهی

runno	d <sub>50</sub> (mm)	D(mm)	U(m/s)	b(mm)=y	Uc	dse(mm)
194	0,27	152	0,17	420	1,61	130
195	0,27	152	0,62	420	1,62	220
196	0,27	152	0,88	430	1,63	240
197	0,27	152	1,1	400	1,58	250
198	0,27	152	1,26	400	1,58	270
199	0,27	152	1,43	400	1,58	270
200	0,27	152	1,64	400	1,58	300
201	0,27	152	0,55	200	1,25	180
202	0,27	152	0,77	200	1,25	220
203	0,27	152	0,69	430	1,63	230
204	0,27	152	0,25	490	1,75	150
205	0,84	152	0,37	430	1,88	240
206	0,84	152	0,58	380	1,86	170
207	0,84	152	0,74	380	1,86	250
208	0,84	152	1,05	380	1,87	250
209	0,84	152	1,21	380	1,86	230
210	0,84	152	1,37	380	1,87	250
211	0,84	152	1,52	380	1,87	260
212	0,84	152	1,52	300	1,79	260
213	0,84	152	1,76	300	1,79	260
214	0,84	152	1,58	300	1,8	270
215	0,84	152	1,99	300	1,8	280
216	0,84	152	2,16	300	1,8	300
217	0,84	152	0,25	430	1,87	200
218	1,28	60	0,313	160	0,440845	71
219	1,28	60	0,333	200	0,444	78
220	1,28	60	0,355	235	0,455128	89
221	1,28	60	0,37	270	0,4625	96
222	1,28	60	0,389	300	0,47439	106
223	1,07	67	0,362	165	0,402222	102
224	1,07	47	0,284	105	0,378667	59
225	0,84	57	0,284	105	0,342169	83
226	3	50	0,522	200	0,735211	70
227	3	100	0,522	200	0,735211	113
228	3	150	0,522	200	0,735211	161
229	1,5	50	0,4	100	0,444444	93
230	1,5	100	0,4	100	0,444444	150
231	1,5	150	0,4	100	0,444444	175
232	0,52	50	0,25	350	0,352113	76
233	0,52	75	0,25	350	0,352113	109

دنباله جدول ۱: مجموع دادههای آزمایشگاهی

234	0,52	100	0,25	350	0,352113	137			
دنباله جدول ۱: مجموع دادههای آزمایشگاهی									
runno	d₅₀(mm)	D(mm)	U(m/s)	b(mm)=y	Uc	dse(mm)			
235	0,26	50	0,22	350	0,314286	70			
236	0,26	75	0,22	350	0,314286	90			
237	0,26	100	0,22	350	0,314286	112			
238	1,9	101,6	0,518	300	0,575556	211			
239	0,84	150	0,572	600	0,635556	314			
240	0,38	101,6	0,411	300	0,456667	150			

پیوست ۲ : آمار و اطلاعات میدانی

دادههای صحرائی فروهلیچ

این دادهها توسط فروهلیچ جمعآوری گردیده است. این اطلاعات توسط سازمانهای ذیربط در کشور آمریکا برداشت شده است، که در اندازه گیری آن از آخرین تکنیکهای موجود استفاده شده است. عمق آبشستگی موضعی توسط عمق سنج صوتی<sup>۱</sup> اندازه گیری شده است. عمق آبشستگی موقعیکه سطح آب در بالاترین رقوم قرار داشته و برای مدت نسبتا طولانی، ثابت بوده است، اندازه گیری گردیده است. در چنین حالتی حفره ایجاد شده در اثر آبشستگی موضعی در حالت تعادل میباشد و عمق حفره، معرف حداکثر میزان آبشستگی تحت شرایط هیدرولیکی موجود میباشد.

ds(m)	σ	D <sub>50</sub> (mm)	V(m/s)	y(m)	$\alpha$ (deg)	L(m)	b(m)	رديف
4,3	2,2	0,25	1,84	18,8	•	14	4,5	1
3	2,2	0,25	2,28	17,4		14	4,5	2
1,74	•	0,5	1,8	5 <i>,</i> 39	5	17,37	1,92	3
7,8	•	0,67	0,65	9	12	8,5	8,5	4
0,3	•	0,5	0,49	1,2		11,58	1,52	5
0,3	•	0,5	0,76	1,5	•	11,58	1,52	6
0,3	•	0,5	0,88	1,2		11,58	1,52	7
0,76	•	0,5	0,27	0,5		11,08	1,52	8
1,22	•	0,5	0,15	0,6		11,58	1,52	9

جدول ۲ : دادههای جمع آوری شده توسط فروهلیچ

<sup>1</sup>-Soonic depth Finder

0,61		1,6	1,52	2,1	•	11,58	1,52	10
0,61		1,6	1,55	2	•	11,58	1,52	11
0,91		1,6	1,58	3		11,58	1,52	12
1,22		1,6	1,98	3,2		11,58	1,52	13
1,37		1,6	1,8	3	•	11,58	1,52	14
1,07		1,6	2,07	2,6	•	11,58	1,52	15
1,83		1,6	1,83	3	•	11,58	1,52	16
0,46		1,6	0,94	0,9		11,58	1,52	17
0,61		1,6	0,98	0,9	•	11,58	1,52	18
0,61		1,6	0,98	0,9	•	11,58	1,52	19
0,61		1,6	1,1	1,8	•	11,58	1,52	20
0,61		1,6	1,16	2,4		11,58	1,52	21
0,76		1,6	1,13	2,3		11,58	1,52	22
0,46		1,6	1,13	1,5		11,58	1,52	23
0,76		1,6	0,98	2		11,58	1,52	24
1,8		14	2,16	3,7	35	10,36	1,52	25
2,1		14	2,22	3,7	35	10,36	1,52	26
1,8		14	2,07	4,6	35	10,36	1,52	27
2,4		14	1,74	3,4	35	13,56	1,52	28
1,8		15	2,59	6,7		17,6	3,05	29
0,9		8	1,61	1,7		0,98	0,98	30
4	8,8	0,053		1,8		12,8	4,9	31
4,6	8,8	0,053		4,6		12,8	4,9	32
3,7	11,5	60	0,46	4,9		8,2	8,2	33
4,3	11,5	60	0,61	4,3		8,2	8,2	34

دنباله جدول ۲: آمار جمعآوری شده توسط فروهلیچ

ds(m)	σ	D <sub>50</sub> (mm)	V(m/s)	y(m)	$\alpha$ (deg)	L(m)	b(m)	رديف
7,3	3,8	27	0,55	4,1	5	3,8	13	35
6,8	8,3	27	0,66	3,4	15	3,8	12	36
8,5	8,3	27	1,16	5,4	20	13	13	37
10,4	6,3	0,36	0,66	11,3		38	19,5	38
2,8		0,1	0,64	3,6		17,3	3,66	39
1,3	5,3	20	2,38	3,1		1,5	1,5	40
1,3	5,3	20	2,69	3		1,5	1,5	41
0,8	5,3	20	2,54	2,5		1,5	1,5	42
0,9	5,3	20	2,65	1,4		1,5	1,5	43
0,9	5,3	20	2,43	1,3		1,5	1,5	44
0,4	5,3	20	2,68	1,3		1,5	1,5	45
0,4	5,3	20	2,39	1		1,5	1,5	46

0,5	5,3	20	2,33	0,9	1,5	1,5	47
0,4	5,3	20	2,56	0,9	1,5	1,5	48
0,4	5,3	20	2,24	0,7	1,5	1,5	49
0,4	5,3	20		0,6	1,5	1,5	50
0,64		0,6	1,17	2,13	6,4	1,2	51
0,4		0,6	0,69	0,55	6,4	1,2	52
1,22		0,6	1,7	2,32	6,4	1,2	53
0,61		0,6	0,66	0,7	6,4	1,2	54

در این جدول:

 $b: z_{deg}$  : عرض پایه(m)، L: deg بایه (m)،  $\alpha$  :زاویه هجوم جریان به پایه(deg)، (m)، (m) : عمق جریان در بالا دست پایه (m)، V: سرعت جریان در بالادست پایه <math>(m)، v: z : عمق آبشستگی  $D_{50}$  : قطر متوسط ذرات بستر (mm)،  $\sigma:$  انحراف معیار دانهبندی ذرات،  $d_s$  : عمق آبشستگی موضعی(m)،

## آمار مربوط به پلهای آمریکا

این اطلاعات مربوط به ۴۴ پل در ایالتهای مختلف آمریکا میباشد، که توسط سازمان نقشه برداری آمریکا<sup>۱</sup> جمعآوری شده است. این آمار دقیق بوده و همچنین تعداد آن قابل توجه میباشد. جدول ۳ و ۴ نام پل مورد نظر و پارامترهای موثر در آبشستگی را را نشان میدهد.

نام و محل سایت	ايالت	نام رودخانه	رديف
بزرگراهOld Glenn نزدیک Palmer	آلاسكا	نیک(Knike)	1
(Eklutna) نزدیک (S.R.1)	آلاسكا	نیک(Knike)	2
بزرگراه seward) نزدیک	آلاسكا	اسنو(Snow)	3
seward			
(S.R.3) نزدیک Sunshine	آلاسكا	سوسيتنا(Susitna)	4
(S.R.3) در S.R.3)	آلاسکا	تانا(Tana)	5

جدول ۳: نام تعدادی از پلهای مورد استفاده در این تحقیق

<sup>1-</sup>U.S Geological swvey (USGS)

بزرگراه Richardson (S.R.4) نزدیک	آلاسكا	تازلينا(Tazlina)	6
Glennallen		-	
(C.R.613) نزدیک Nepesta	كلرادو	آرکانزاس(Arkansas)	7
(U.S.285) نزدیک Monte vista	كلرادو	ريوگرانده(Rio Grande)	8
(S.R.37) نزدیک Kersey	كلرادو	سوتپلاته(South Platte)	9
(C.R.87) نزدیک Master	كلرادو	سوتلاته(South Platte)	10
Fenwick Island نزدیک (S.R.54)	دلالوير	آساومنبای(Assa woman Bay)	11
(S.R.9) نزدیک Leipsic	دلاوير	ليپسيک(Leipsic)	12
Brunswick) نزدیک (I.95)	جورجينا	سوت آلتاماها(South Altamahaa)	13
(S.R.95) نزدیک Clay city	اينديانا	ایل(Eel)	14
(S.R.163) نزدیک Clinton	اينديانا	واباش (Wabash)	15
(S.R.157) نزدیک Worthington	اينديانا	وايت(White)	16
(S.R.3032) نزدیک Shreveport غرب	لوسآنجلس	رد(Red)	17
(S.R.3032) نزدیک Shreveport شرق	لوسآنجلس	رد(Red)	18
(S.R.194) در Brucevill	مريلند	بیگ پایپ(Big pipe)	19
(S.R.287) نزدیک Goldsboro	مريلند	چوپ تانک(Choptank)	20
(S.R.42) در Friendsvill	مريلند	يوقيقونى(Youghiogheny)	21
(S.R.3) در st.paul	مينسوتا	مىسىسىپى(Mississipi)	22

دنباله جدول ۳ : نام تعدادی از پلهای مورد استفاده در این تحقیق

نام و محل سایت	ايالت	نام رودخانه	رديف
State Route 129 نزدیک Prairie	میسوری	چاریتون(Chariton)	23
Hill			
(Jefferson Barracks (I-255)	میسوری	مے سے سے یے (Mississipi)	24
Bridge) نزدیک st.louis			
(S.R.799) در st.louis	میسوری	مىسىسىپى(Mississipi)	25
(U.S.84) در U.S.84	مىسىسى-	هوموچيتوم(Homochitto)	26
	پى		
باند غربی(S.R.25) در Jackson	مىسىسى-	پیرل(Pearl)	27
	پى		
باند شرقی (S.R.25) در Jackson	مىسىسى-	پیرل(Pearl)	28
	پى		

باند غربی (U.S.98) نزدیک Columbia	مىسىسى-	پیرل(Pearl)	29
	پى		
(U.S.98) نزدیک Browning	مونتانا	بادگر (Badger)	30
(S.R.427) در Chemung	نيورک	چمونگ(Chemung)	31
Painesville نزدیک (S.R.48)	اوهايو	گراند(Grand)	32
(S.R.128) در Hamilton	اوهايو	گریت میامی(Gret Miami)	33
(S.R.278) در Nelsonville	اوهايو	هاکینگ(Hocking)	34
(C.R.621) در Killbuch	اوهايو	کیل باک(Kill buck)	35
(U.S.50) نزدیک Lndonderry	اوهايو	سالت(Salt)	36
(S.R.4) نزدیک Prospect	اوهايو	اسكيوتو(Scioto)	37
Port Washangton (C.R.14)	اوهايو	تاسكارواز (Tascarwas)	38
(S.R.22) در Marrow	اوهايو	تود(Todd)	39
(C.R.17) نزدیک Ashvill	اوهايو	والنوت(Walnut)	40
(C.R.613) نزدیک Black stone	ويرجينيا	ليتل نوتووى(Little notto way)	41
(S.R.614) نزدیک Hamover	ويرجينيا	پامونکی(Pamunkey)	42
Wytheville نزدیک (S.R.649)	ويرجينيا	ريد(Reed)	43
(S.R.56) نزدیک Lovimgstone	ويرجينيا	تای(Tye)	44

جدول ۴ : آمار آبشستگی پلهای آمریکا

								شماره	
ds(m)	D <sub>84</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	v(m/s)	y(m)	(درجه)α	L(m)	b=d(m)	سايت	رديف
0,4626	8	1,8	1,12776	1,524		11,24712	1,524	2	1
0,6168	8	1,8	1,524	2,1336		11,24712	1,524	2	2
0,3084	4	0,58	0,762	1,524		11,24712	1,524	2	3
0,9252	8	1,8	1,58496	3,048		11,24712	1,524	2	4
0,3084	4	0,58	0,48768	1,2192		11,24712	1,524	2	5
0,6168	8	1,8	0,97536	0,9144		11,24712	1,524	2	6
0,4626	8	1,8	0,94488	0,9144		11,24712	1,524	2	7
1,2336	8	1,8	1,9812	3,2004		11,24712	1,524	2	8
0,6168	8	1,8	1,55448	1,9812		11,24712	1,524	2	9
1,2336	0,58	4	0,1524	0,6096		11,24712	1,524	2	10

0,4626	1,8	8	1,09728	1,8288		11,24712	1,524	2	11
0,6168	1,8	8	1,15824	2,4384		11,24712	1,524	2	12
1,0794	8	1,8	2,07264	2,5908	•	11,24712	1,524	2	13
0,74016	8	1,8	1,12776	2,286	•	11,24712	1,524	2	14
1,3878	8	1,8	1,79832	3,048		11,24712	1,524	2	15
0,3084	4	0,58	0,88392	1,2192		11,24712	1,524	2	16
0,771	8	1,8	0,97536	1,9812	•	11,24712	1,524	2	17
0,771	4	0,58	0,27432	0,4572		11,24712	1,524	2	18
1,8504	8	1,8	1,8288	3,048	•	11,24712	1,524	2	19
1,6764	120	90	3,5052	4,572	•	•	4,572	3	20
1,524	120	90	2,8956	3,6576	•	•	4,572	6	21
0,42672	1,19	0,64	0,82296	0,70104	19	6,4008	1,2192	6	22
1,31064	5,15	1,19	1,64592	2,286		6,4008	1,2192	7	23
0,42672	5,15	1,19	1,00584	2,10312	12	6,4008	1,2192	7	24
0,64008	5,15	1,19	1,00584	2,10312	12	6,4008	1,2192	7	25
0,6096	1,19	0,64	0,82296	0,70104	19	6,4008	1,2192	7	26
0,3048	5,15	1,19	0,67056	0,1524	•	6,4008	1,2192	7	27
0,4572	5,15	1,19	1,64592	2,286	•	6,4008	1,2192	7	28
0,3048	5,15	1,19	1,00584	1,03632	•	6,4008	1,2192	7	29
0,33528	5,15	1,19	1,00584	1,03632		6,4008	1,2192	7	30
1,3716	0,37	0,18	0,47244	7,7724	•	13,1064	0,762	7	31
1,2192	0,37	0,18	0,509016	7,62	•	13,1064	0,762	7	32
1,3716	0,37	0,18	0,481584	7,7724	•	13,1064	0,762	11	33
0,21336	0,37	0,18	0,219456	0,3048	•	13,1064	0,762	11	34
0,73152	0,37	0,18	0,268224	3,16992	•	13,1064	0,762	11	35
0,51816	0,37	0,18	0,329184	3,07848	•	13,1064	0,762	11	36
0,33528	0,37	0,18	0,256032	3,10896	•	13,1064	0,762	11	37
1,58496	0,37	0,18	0,344424	7,98576	•	13,1064	0,762	11	38
0,4572	0,37	0,18	0,18288	1,46304	•	13,1064	0,762	11	39
1,2192	0,37	0,18	0,493776	7,55904	•	13,1064	0,762	11	40

دنباله جدول ۴: آمار آبشستگی پلهای آمریکا

								شماره	
ds(m)	D <sub>84</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	v(m/s)	y(m)	(درجه)α	L(m)	b=d(m)	سايت	رديف
0,42672	0,37	0,18	0,280416	3,84048		13,1064	0,762	14	41
0,4572	0,37	0,18	0,24384	1,49352		13,1064	0,762	14	42
0,4572	0,37	0,18	0,432816	7,13232	•	13,1064	0,762	15	43
0,1524	0,18	0,37	0,316992	3,71856		13,1064	0,762	15	44
0,42672	2,25	0,5	0,307848	5,12064		33,5	0,9144	16	45
1,03632	2,25	0,5	0,762	5,9436		33,5	0,9144	16	46
0,70104	0,34	0,34	1,58496	9,41832	5	34,5	0,9144	16	47
0,4572	0,34	0,34	1,58496	9,41832	5	34,5	0,9144	16	48
1,24968	4,2	0,9	1,85928	6,15696	10	42	0,6096	16	49
1,0668	4,2	0,9	1,64592	6,5532	10	42	0,6096	16	50
0,39624	4,2	0,9	1,00584	3,16992	5	47,5	0,9144	18	51
0,24384	4,2	0,9	1,00584	3,16992	5	47,5	0,9144	18	52

0.67056	4.2	0.9	1,28016	5.09016	0	43	0.9144	18	53
0,36576	4,2	0,9	1,09728	3,44424	5	47,5	0,9144	18	54
3,74904	0,4	0,3	2,8956	9,69264		40	4,2672	18	55
5,51688	0,4	0,3	3,16992	11,18616		40	4,2672	18	56
3,29184	0,4	0,3	2,56032	10,8204		40	4,2672	18	57
3,93192	0,4	0,3	2,49936	11,7348	•	40	4,2672	18	58
4,17576	0,4	0,3	2,10312	9,26592	•	40	4,2672	18	59
4,38912	0,4	0,3	2,49936	11,67384		40	4,2672	18	60
5,15112	0,4	0,3	3,16992	11,67384		40	4,2672	18	61
4,75488	0,4	0,3	2,98704	11,7348		12,192	4,2672	18	62
2,07264	0,4	0,3	2,56032	11,2776		12,192	4,2672	19	63
5,6388	0,4	0,3	2,8956	9,63168		12,192	4,2672	19	64
5,91312	0,4	0,3	2,98704	12,0396		12,192	4,2672	19	65
3,84048	0,4	0,3	2,10312	9,32688	•	12,192	4,2672	19	66
0,36576	76	22	0,804672	3,53568		9,7536	1,2192	19	67
0,42672	76	22	1,304544	3,10896		9,7536	1,2192	19	68
0,73152	76	22	1,133856	2,4384		9,7536	1,2192	19	69
0,3048	76	22	1,011936	1,92024		9,7536	1,2192	23	70
0,36576	76	22	1,642872	2,01168		9,7536	1,2192	23	71
0,54864	76	22	1,58496	2,4384		9,7536	1,2192	23	72
0,51816	76	22	1,603248	3,07848		9,7536	1,2192	23	73
5,85216	0,5	0,32	2,142744	5,4864		5,4864	4,072128	23	74
4,66344	0,5	0,32	2,19456	4,69392		5,4864	2,919984	26	75
5,21208	0,5	0,32	1,624584	5,82168	•	5,4864	4,047744	26	76
6,43128	0,5	0,32	2,4384	5,21208	•	5,4864	4,370832	26	77
3,90144	0,5	0,32	2,084832	5,54736		5,4864	2,203704	26	78
0,42672	32,2	7,51	1,88976	3,048		2,4384	2,4672	26	79

دنباله جدول ۴: آمار آبشستگی پلهای آمریکا

								شماره	
ds(m)	D <sub>84</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	v(m/s)	y(m)	(درجه)α	L(m)	b=d(m)	سايت	رديف
1,18872	23,2	7,51	2,115312	2,8956		2,4384	2,4672	26	80
1,95072	23,2	7,51	2,25552	2,65176		2,4384	2,4672	26	81
1,43256	23,2	7,51	1,749552	3 <i>,</i> 048		2,4384	2,4672	26	82
1,3716	23,2	7,51	1,99644	3,10896		2,4384	2,4672	27	83
0,88392	23,2	7,51	2,1336	3,93192		2,4384	2,4672	27	84
0,97536	23,2	7,51	1,901952	2,5908	•	2,4384	2,4672	27	85
0,88392	23,2	7,51	1,85928	2,65176		2,4384	2,4672	27	86
0,6096	0,9	0,39	0,582168	6,43128	16	6,2484	1,63452	27	87
0,6096	0,9	0,39	0,865632	5,334	11	6,2484	1,78872	27	88
0,79248	0,9	0,39	0,673608	6,79704	14	6,2484	1,51116	28	89
1,09728	0,9	0,39	1,027176	6,7056	16	6,2484	1,66536	28	90
0,48768	0,9	0,39	0,39624	5,30352	11	6,2484	1,78872	28	91
1,24968	0,9	0,39	1,057656	6,52272	11	6,2484	1,44948	28	92
1,18872	0,9	0,39	0,97536	6,61416	8	6,2484	1,48032	29	93
---------	-----	------	----------	---------	----	---------	---------	----	-----
1,73736	0,9	0,39	0,73152	6,15696	20	6,2484	1,57284	29	94
0,48768	0,9	0,39	0,85344	7,10184	16	6,2484	1,6764	29	95
1,12776	0,9	0,39	0,6096	7,0104	14	6,2484	1,55448	29	96
1,49352	15	6,9	1,69164	9,17448	16	6,4008	1,6764	29	97
2,286	15	6,9	2,343912	8,65632	22	6,4008	1,6764	29	98
2,01168	15	6,9	1,292352	7,65048	18	6,4008	1,76784	29	99
1,9812	15	6,9	2,121408	8,44296	14	6,4008	1,6764	29	100
3,01752	15	6,9	2,185416	8,32104	14	6,4008	1,64592	29	101
0,6096	15	6,9	1,322832	7,83336	16	6,4008	1,76784	29	102
0,42672	15	6,9	1,566672	8,86968	11	6,4008	1,6764	29	103
1,3716	15	6,9	2,023872	8,80872	11	6,4008	1,6764	31	104
0,97536	15	6,9	1,414272	7,62	8	6,4008	1,6764	31	105
1,00584	15	6,9	1,734312	8,71728	8	6,4008	1,95072	31	106
0,57912	15	6,9	1,624584	8,19912	8	6,4008	1,64592	31	107
1,55448	58	27	4,08432	8,32104		14,6304	1,524	31	108
0,6096	58	27	2,65176	5,7912	•	14,6304	1,524	31	109
0,27432	58	27	2,25552	3,77952	•	14,6304	1,524	31	110
1,18872	58	27	3,2004	8,0772	•	14,6304	1,524	31	111
0,57912	58	27	2,71272	5,42544		14,6304	1,524	31	112
1,31064	58	27	3,41376	9,72312		14,6304	1,524	31	113
0,51816	58	27	1,9812	3,81	•	14,6304	1,524	31	114
1,18872	58	27	3,74904	9,57072		14,6304	1,524	31	115
0,57912	58	27	2,8956	5,69976		14,6304	1,524	32	116
1,24968	58	27	3,93192	9,47928		14,6304	1,524	32	117
0,27432	58	27	1,8288	3,6576		14,6304	1,524	32	118
0,70104	58	27	3,16992	5,7912		14,6304	1,524	33	119

								شماره	
ds(m)	D <sub>84</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	v(m/s)	y(m)	(درجه)α	L(m)	b=d(m)	سايت	رديف
0,42672	31	12	1,46304	2,10312		10,87222	1,64592	33	120
0,33528	33,5	9	0,79248	1,79832	85	10,87222	1,64592	33	121
0,3048	1,6	0,78	1,3716	4,08432	0	24,93264	1,0668	34	122
0,39624	5	1,82	1,46304	3,68808	8,1	24,93264	1,0668	34	123
0,48768	5	1,82	1,3716	3,87096		24,93264	1,0668	34	124
0,33528	0,25	0,17	0,67056	4,23672	16	9,144	0,762	34	125
0,27432	0,3	0,15	1,15824	2,01168	8	9,144	0,762	34	126
0,762	4,7	2,85	1,524	5,334	22	9,144	0,762	34	127
0,1524	0,26	0,16	0,79248	3,6576		9,144	0,762	35	128
0,70104	8	2,5	1,76784	5,15112	14	9,144	0,762	35	129
0,67056	55	11,5	1,15824	3,5052	20	9,144	0,762	36	130
0,82296	55	11,5	0,9144	3,59664	31,8	9,144	0,762	36	131

0,39624	0,54	0,185	0,73152	2,22504		9,6012	0,762	37	132
0,42672	0,54	0,185	0,9144	2,77368		9,6012	0,762	38	133
0,88392	8	2,2	1,70688	6,00456	18	8,26008	1,34112	38	134
0,6096	0,75	0,3	1,49352	4,48056	18	8,26008	1,34112	39	135
1,28016	1,3	0,59	1,524	5,91312	18	10,18032	1,3716	39	136
0,51816	29	17	1,40208	3,07848		8,93064	1,00584	39	137
0,73152	27	10	1,46304	2,37744		8,93064	1,00584	39	138
0,48768	16	5	1,79832	3,07848		11,8872	1,12776	39	139
0,73152	16	5	2,1336	2,86512		11,8872	1,12776	39	140
0,39624	16	5	1,58496	1,55448		11,8872	1,12776	40	141
0,97536	29	17	1,9812	3,38328		11,8872	1,3716	41	142
0,73152	29	17	1,6764	2,04216		11,8872	1,31064	41	143
0,9144	29	17	2,1336	3,2004		11,8872	1,34112	41	144
0,4572	16	6,8	0,85344	2,04216		10,30224	0,6096	41	145
0,48768	1,3	0,69	0,240792	0,88392		8,5344	0,6858	41	146
0,73152	1,3	0,69	0,323088	0,88392		8,5344	0,6858	41	147
0,4572	1,3	0,69	0,496824	1,0668		8,5344	0,6858	41	148
0,39624	1,3	0,69	0,323088	0,79248		8,5344	0,6858	41	149
0,42672	1,3	0,69	0,539496	1,40208		8,5344	0,6858	41	150
0,39624	1,3	0,69	0,65532	1,70688		8,5344	0,6858	42	151
0,42672	1,3	0,69	0,188976	0,6096		8,5344	0,6858	42	152
0,54864	1,3	0,69	0,188976	0,97536		8,5344	0,6858	42	153
0,39624	1,3	0,69	0,384048	0,88392		8,5344	0,6858	42	154
1,3716	1,6	0,7	0,969264	4,93776		10,668	0,9144	42	155
0,97536	1,6	0,7	0,527304	6,46176		10,668	0,9144	43	156
1,55448	1,6	0,7	0,865632	6,49224		10,668	0,9144	43	157

در این جدول:  

$$E$$
 :  $L$  ( $m$ )،  $L$  :  $L$  ( $deg$ )،  $M$  :  $L$  :  $L$ 

## Abstract

Scouring of bridge piers is one of the main causes of bridge failure. Therefore, accurate prediction of scour depth around bridge piers is important both for determining sufficient depth for foundation of new bridge piers and for evaluating and monitoring existing bridge safety. In this study, a new artificial intelligence (AI) model, called Intelligent Inference Radial Bases Neural Network (IFRIM), is presented. This model combines radial neural network (RBFNN), fuzzy logic (FL) and optimization algorithms, in which the input data using fuzzy logic is converted to fuzzy then the most optimal fuzzy network parameters. The resulting nerve is obtained by the optimization algorithm and finally the fuzzy outputs obtained by defuzzification functions are converted to numerical outputs. In the lead study, bee colony optimization (ABC), genetic algorithm (GA) and population distribution (PSO) algorithms were used on two laboratory data sets and field data collected by the US Mapping Agency. Finally, the verification is verified by a series of other field data collected by Froholich. In this study, root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE) and correlation coefficient (CC) between predicted values and actual values were used to describe the analyzes. These values for the bee colony optimization algorithm are respectively 0.1, 0.019 and 0.81 for laboratory data, 0.089, 0.018 and 0.93 for field data, and 0.085, 0.019 and 0.94 for Froholich data other performance algorithms, respectively, compared to other algorithms in total performance. Better. Comparing the performance of this study with other similar studies on this topic, it can be concluded that the error in this study is reduced, which is discussed in detail in the context of this study.

Keywords: Scour, Artificial Intelligence, Fuzzy-Neural Network, Optimization, Bee Colony Algorithm, Particle swarm optimization Algorithm, Genetic Algorithm



## Faculty of Civil engineering

## M.Sc.Thesis in Water and hydrolic structures

## Hybrid intelligent inference model for enhancing prediction accuracy of scour depth around bridge piers

By: Mohammad reza Zehfroush

Supervisor: Dr. A.Ahmadi Dr. A.Abedini

October,2019