دانشگاه سیستان و بلوچستان
تحصیلات تکمیلی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته‌ی علوم کامپیوتر گرایش محاسبات علمی

عنوان:

بهینه‌سازی شبکه‌ی عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی

استاد راهنما:
دکتر حسن رضایی

تحقیق و نگارش:
شهاب بالو

شهریور ۱۳۹۱

بسمه تعالی

این پایان‌نامه با عنوان **بهینه‌سازی شبکه‌ی عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی** قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد **علوم کامپیوتر** توسط دانشجو **شهاب بالو** با راهنمایی استاد پایان‌نامه **دکتر حسن رضایی** تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می‌باشد.

شهاب بالو

این پایان‌نامه ..... واحد درسی شناخته می‌شود و در تاریخ ..... توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:	دکتر حسن رضایی		
استاد راهنما:			
استاد مشاور:			
داور ۱:	دکتر امین راحتی		
داور ۲:	دکتر مریم عرب عامری		
نماینده تحصیلات تکمیلی:	دکتر جواد جمالی زاده		

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب شهاب بالو تعهد می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: شهاب بالو

امضاء

تقدیم به:

عزیزترین

مهربانترین

دوستداشتنی ترین و ...

مادر

سپاسگزاری

با سـپاس از درگاه الهی که فرصت به انجام رساندن این پایان‌نامه را در تقدیرم رقم زد.

با سـپاس فراوان از استاد بزرگوارم، جناب دکتر رضایی که پشتیبان و راهنمایم بودند. امید است که همواره در پناه حق، سربلند و پایدار باشند.

با سـپاس از داوران گرامی که این پایان‌نامه را در مسیر بهبود، چراغ راه بوده‌اند.

با سـپاس از تمامی معلمان و اساتید خود که تمامی ایشان سهیم در ایجاد این اثر می‌باشند.

با سـپاس از دوسـتان عـزیـزم حـامد دمرچی‌لو، حسـین صفـری، مصطفی عباسی‌کـیا، جمشـید عـزیـزی، ناصـر کـاظمی، عـادل نجـفی و مـرتـضی هنـرور که در دوران سخت، یاورم بوده‌اند.

و

با سـپاس از برادرانـم.

چکیده:

شبکه‌ی عصبی مصنوعی شبیه‌سازی ساده‌ای از مکانیزم سیستم عصبی بیولوژیکی است که به دلیل قدرت یادگیری مسایل مختلف، تنها بر پایه‌ی آموزش از طریق ارایه‌ی الگوهای نمونه‌ی ورودی-خروجی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. یافتن وزن‌های مناسب شبکه‌ی عصبی مصنوعی مهم‌ترین عامل در یادگیری آن محسوب می‌شود. الگوریتم پس‌انتشار خطا به عنوان الگوریتم استاندارد شبکه‌ی عصبی مصنوعی بسیار کارآمد است، اما به دلیل ماهیت مبتنی بر گرادیان خود، احتمال بالایی برای گیر افتادن در بهینه‌ی محلی دارد. علاوه بر آن طراحی بهینه‌ی یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی نیز چالشی دیگر در به کار گیری آن به حساب می‌آید. طراحی شبکه شامل تعیین ساختار معماری شبکه، توابع فعال‌ساز نرون‌های شبکه و قانون یادگیری شبکه است.

در این پژوهش از الگوریتم‌های تکاملی ژنتیک، جستجوی هارمونی و بهینه‌سازی اجتماع ذرات که توانایی جستجوی عمومی را فراهم می‌کنند، برای بهینه‌سازی آموزش و طراحی شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده شده است. مقایسه‌ی کارایی روش‌های مورد استفاده، از طریق بررسی خطای شبکه‌ی عصبی مصنوعی در تقریب توابع محک انجام شده است.

کلمات کلیدی: شبکه‌ی عصبی مصنوعی – الگوریتم تکاملی – بهینه‌سازی– الگوریتم ژنتیک – بهینه‌سازی اجتماع ذرات – الگوریتم جستجوی هارمونی – تقریب تابع

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: پیشگفتار ۱

۱-۱– مقدمه ۲

۱-۲- بهینه‌سازی ۲

۱-۳- فرایند بهینه‌سازی ۳

۱-۴- یادگیری، تطبیق پذیری و تعبیر پذیری ۴

۱-۵- مقدمه‌ای بر مدلسازی، شناسایی و تقریب ۵

۱-۶- تقریب تابع ۶

۱-۷- شبکه‌ی عصبی مصنوعی به عنوان تقریبگر ۷

۱-۸- ابزار مورد نیاز در راستای این پایان‌نامه ۷

فصل دوم: کلیات و مفاهیم ۹

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۱۰

۲-۲-۱- انتظارات از شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۱۲

۲-۲-۲- اجزای شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۱۳

۲-۲-۳- ساختار شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۱۶

۲-۲-۴- آموزش شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۱۷

۲-۲-۵- الگوریتم پس‌انتشار خطا ۱۸

۲-۳- الگوریتم‌های تکاملی ۲۰

۲-۳-۱- الگوریتم ژنتیک ۲۱

۲-۳-۱-۱- عملگر انتخاب ۲۲

۲-۳-۱-۲- عملگر تقاطع ۲۴

۲-۳-۱-۳- عملگر جهش ۲۴

۲-۳-۲- الگوریتم جستجوی هارمونی ۲۶
۲-۳-۳- الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات ۳۰
فصل سوم: بهینه‌سازی شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۳۴
۳-۱- مقدمه ۳۵
۳-۲- نمایش شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۳۶
۳-۲-۱- نمایش ساختار ۳۷
۳-۲-۲- نمایش وزن‌ها ۳۸
۳-۳- تکامل شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۳۹
۳-۳-۱- جستجوی تکاملی وزن‌های ارتباطی ۴۱
۳-۳-۲- جستجوی تکاملی معماری ۴۳
۳-۳-۳- جستجوی تکاملی قوانین یادگیری ۴۵
فصل چهارم: مشاهدات و نتایج ۴۶
۴-۱- مقدمه ۴۷
۴-۲- توابع محک ۴۸
۴-۳- بهینه‌سازی وزن‌های شبکه ۵۰
۴-۳- بهینه‌سازی ساختار شبکه ۵۳
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۵۸
۵-۱- مقدمه ۵۹
۵-۲- ملاحظات ۵۹
۵-۳- پیشنهادات ۶۰
مراجع ۶۲
پیوست‌ها ۶۵
پیوست (الف): فرمول‌بندی الگوریتم پس‌انتشار خطا ۶۵
پیوست (ب): واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۷۰
پیوست (ج): واژه‌نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۷۳

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۴-۱. مقایسه‌ی میانگین خطای روش‌های مورد استفاده برای آموزش شبکه‌ی عصبی تقریب زننده‌ی رابطه‌ی $sin(2\pi x)\, cos(4\pi x)$ ۵۱

جدول ۴-۲. مقایسه‌ی میانگین خطای روش‌های مورد استفاده برای آموزش شبکه‌ی عصبی تقریب زننده‌ی رابطه‌ی $sin(2\pi x)\, sin(3\pi x)\, sin(5\pi x)$ ۵۱

جدول ۴-۳. مقایسه‌ی میانگین خطای روش‌های مورد استفاده برای آموزش شبکه‌ی عصبی تقریب زننده‌ی رابطه‌ی $sin(5\pi x)\, sin(7\pi x)\, sin(11\pi x)\, log(1+x)$ ۵۲

جدول ۴-۴. مقایسه‌ی میانگین خطای روش‌های مورد استفاده برای آموزش شبکه‌ی عصبی تقریب زننده‌ی رابطه‌ی $x^2 + y^2$ ۵۲

جدول ۴-۵. مقایسه‌ی میانگین خطای روش‌های مورد استفاده برای آموزش شبکه‌ی عصبی تقریب زننده‌ی رابطه‌ی $100(y - x^2)^2 + (1 - x)^2$ ۵۳

جدول ۴-۶. نتایج روش افزایشی برای یافتن تعداد نرون‌های لازم در لایه‌ی مخفی ۵۵

جدول ۴-۷. نتایج الگوریتم ژنتیک برای یافتن تعداد نرون‌های لازم در لایه‌ی مخفی ۵۵

جدول ۴-۸. نتایج الگوریتم جستجوی هارمونی برای یافتن تعداد نرون‌های لازم در لایه‌ی مخفی ۵۶

جدول ۴-۹. نتایج الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات برای یافتن تعداد نرون‌های لازم در لایه‌ی مخفی ۵۶

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۱-۱. فرایند بهینه‌سازی ۴

شکل ۲-۱. روال یادگیری شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۱۲

شکل ۲-۲. ساختار یک نرون ۱۴

شکل ۲-۳. نمودار توابع (الف) خطی، (ب) و (ج) زیگموید و (د)گاوسی استاندارد ۱۵

شکل ۲-۴. یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی با سه لایه ۱۶

شکل ۲-۵. عملگر تقاطع تک نقطه‌ای ۲۴

شکل ۲-۶. روال الگوریتم ژنتیک ۲۵

شکل ۲-۷. روال الگوریتم جستجوی هارمونی ۲۹

شکل ۲-۸. روال الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات ۳۳

شکل ۳-۱. کدگذاری ساختار شبکه‌ی عصبی با استفاده از نمایش دودویی ۳۷

شکل ۳-۲. مثالی از شبکه‌ی عصبی مصنوعی پیش‌خور فارغ از لایه ۳۸

شکل ۳-۳. کدگذاری وزن‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی با استفاده از نمایش ارزشی ۳۹

شکل ۳-۴. سطوح تکاملی شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۴۰

شکل ۳-۵. روال بهینه‌سازی تکاملی وزن‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۴۳

شکل ۳-۶. چهارچوب تکامل شبکه‌ی عصبی مصنوعی ۴۴

شکل ۴-۱. نمودار تابع $sin(2\pi x)\,cos(4\pi x)$ ۴۸

شکل ۴-۲. نمودار تابع $y = sin(2\pi x)\,sin(3\pi x)\,sin(5\pi x)$ ۴۹

شکل ۴-۳. نمودار تابع $y = sin(5\pi x)\,sin(7\pi x)\,sin(11\pi x)\,log(1+x)$ ۴۹

شکل ۴-۴. نمودار تابع $z = x^2 + y^2$ ۴۹

شکل ۴-۵. نمودار تابع $z = 100(y - x^2)^2 + (1-x)^2$ ۵۰

فهرست علائم

علامت	نشانه
$\sum$	مجموع
$\vec{x}$	بردار x
e	عدد اویلر (به ثابت نپر نیز مشهور است) تقریباً برابر با ۲/۷۱۸۲۸۱۸۲۸۴۵۹
μ	میانگین
σ	انحراف از معیار
$\mathcal{R}$	مجموعه اعداد حقیقی
$\in$	عضویت
α	ضریب یادگیری
δ	حساسیت خطا
x^T	ترانهاده‌ی بردار (یا ماتریس) x
$\dot{f}$	مشتق تابع f

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

در این فصل، در ابتدا مفهوم بهینه‌سازی را شرح می‌دهیم و پس از آن تعریفی از یادگیری ارایه می‌شود. سپس درباره‌ی چگونگی بیان مسئله بحث کرده و شیوه‌ی تصمیم‌گیری و حل را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در ادامه توضیحی مختصر در مورد تقریب تابع و شبکه‌ی عصبی مصنوعی به عنوان گونه‌ای از یک تقریبگر آورده شده است.

۱-۲- بهینه‌سازی

بهینه‌سازی به فرآیند بهتر کردن هر چیزی اطلاق می‌شود. در بسیاری از مسایل مهندسی و علوم، با تابع هدفی روبرو هستیم که قصد بهینه کردن آن را داریم. یک مهندس و یا یک محقق، ایده‌ی جدیدی را خلق می‌کند و بهینه‌سازی به این ایده‌ی خلق شده کیفیت بخشیده و یک جواب بهتر تولید می‌کند. واژه‌ی جواب بهتر، دال بر این می‌باشد که بیش از چند جواب با مقادیر متفاوت برای مسئله‌ی مورد بررسی وجود دارد. در طی فرایند بهینه‌سازی تغییراتی بر روی ایده‌ی اولیه انجام می‌شود و با نتایج حاصل از این تغییرات، ایده‌ی اولیه بهبود می‌یابد. بهتر در نظر گرفتن یک جواب، به مسئله‌ی مورد بررسی، روش بررسی مسئله و محدوده‌ی تغییرات بستگی دارد. مادامی که بتوان ایده‌ی مورد نظر را به صورت مجموعه‌ای از اعداد بیان کرد، کامپیوتر وسیله‌ای مناسب برای بهینه‌سازی خواهد بود.

عنصر کلیدی دیگر در مسایل بهینه‌سازی، انتخاب تابع هدف می‌باشد. کارکرد این تابع، ارزش‌گذاری کیفیت راه‌حل‌های کاندید شده است. ممکن است، انتخاب واضحی برای تابع هدف وجود نداشته باشد و باید از سوی فرد متخصص و بر اساس نوع مسئله، تعریفی برای آن ارایه گردد. در واقع تابع هدف، بخش اساسی در تعریف مسئله محسوب می‌شود. انتخاب نامناسب این تابع روال بهینه‌سازی را منحرف و جواب‌های به دست آمده را

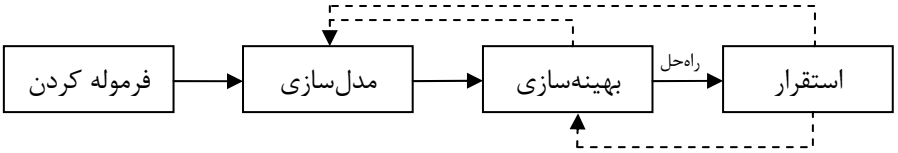
نامعتبر می‌سازد. همچنین انتخاب ضعیف تابع هدف مانعی در پیشرفت بهینه‌سازی بوده و آن را ناکارامد خواهد ساخت.

فارغ از نوع مسئله، می‌توان تابع هدف را به گونه‌ای تعریف کرد که مسئله‌ی بهینه‌سازی، معادل با یافتن مینیمم تابع هدف باشد. از این رو، اکثر روش‌های بهینه‌سازی جستجوگرهایی هستند که به دنبال یافتن مقدار مینیمم تابع هدف می‌باشند. این روش‌های جستجو به دو دسته‌ی کلی جستجوگرهای محلی و جستجوگرهای سراسری تقسیم می‌شوند. جستجوگرهای محلی با داشتن اطلاعاتی از تابع هدف، به جستجوی موضعی در اطراف ایده‌ی اولیه می‌پردازند؛ این جستجوگرها به دنبال جوابی هستند که مقدار تابع برای آن، از مقادیر تابع در همسایگانش بهینه‌تر باشد. در مقابل، جستجوگرهای سراسری هستند که با روش‌هایی شبه تصادفی و هوشمند به دنبال یافتن بهترین جواب برای تمام مقادیر ممکن ورودی هستند؛ در این میان، الگوریتم‌های تکاملی با توجه به کارایی بالای خود، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

۱-۳- فرایند بهینه‌سازی

- **فرموله کردن مسئله:** در این مرحله، یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری، همراه با یک ساختار کلی از آن تعریف می‌شود. این ساختار کلی ممکن است خیلی دقیق نباشد اما وضعیت کلی مسئله را، که شامل فاکتورهای ورودی و خروجی و اهداف مسئله است، بیان می‌کند. شفاف‌سازی و ساختاردهی به مسئله، ممکن است برای بسیاری از مسایل بهینه‌سازی، کاری پیچیده باشد.
- **مدل‌سازی مسئله:** در این مرحله یک مدل ریاضی کلی برای مسئله، ساخته می‌شود. مدل‌سازی ممکن است از مدل‌های مشابه در پیشینه‌ی موضوع کمک بگیرد. این گام موجب تجزیه مسئله به یک یا چند مدل بهینه‌سازی می‌گردد.
- **بهینه‌سازی مسئله:** پس از مدل‌سازی مسئله، روال حل، یک راه‌حل خوب برای مسئله تولید می‌کند. این راه‌حل ممکن است بهینه یا تقریباً بهینه باشد. نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که راه‌حل به دست آمده، راه‌حلی برای مدل طراحی شده است، نه برای مسئله‌ی واقعی. در هنگام فرموله کردن و مدل‌سازی ممکن است تغییراتی در مسئله واقعی به وجود آمده و مسئله‌ی جدید، نسبت به مسئله‌ی واقعی تفاوت زیادی داشته باشد.

- **استقرار مسئله:** راه‌حل به دست آمده توسط تصمیم‌گیرنده بررسی می‌شود و در صورتی که قابل قبول باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد و در صورتی که راه‌حل قابل قبول نباشد، مدل یا الگوریتم بهینه‌سازی باید توسعه داده شده و فرایند بهینه‌سازی تکرار گردد[۳۳].



شکل ۱-۱. فرایند بهینه‌سازی.

۱-۴- یادگیری، تطبیق پذیری و تعبیر پذیری

همیشه در سیستم‌های کنترل مدرن و هوشمند، دغدغه‌ی اصلی جوامع علمی و مهندسی این بوده است که کنترل و هدایت فرایندهای صنعتی به دست ماشین‌هایی انجام گیرد که از هوشی در حد و اندازه‌ی انسان برخوردار باشند که البته به نظر می‌رسد چنین هدفی در آینده‌ی نزدیک، دور از دسترس باشد. اما مطالعات گسترده در زمینه‌ی بیولوژیک انسان‌ها این امکان را به دانشمندان داده است تا الگوریتم‌ها و ماشین‌هایی را طراحی کنند که با الگوبرداری از برخی از مهم‌ترین رفتارهای هوشمندانه انسان یعنی یادگیری (آموزش)، تطبیق‌پذیری (سازش) و تعبیر پذیری، به طور نسبی رفتار هوشمندانه داشته باشند.

- **یادگیری:** مغز انسان از آغاز زندگی تا زمان فرا رسیدن مرگ همواره در حال یادگیری از جهان پیرامون خود می‌باشد. مغز از طریق حواس پنجگانه، داده‌هایی را در یک حوزه‌ی خاص از دنیای بیرون دریافت می‌کند و به کمک آنها سیستم پردازشی و استدلال‌گر خود را می‌سازد و یا تقویت می‌کند. بدین ترتیب اگر در آینده با داده‌های جدیدی در همان حوزه برخورد کند، توانایی بروز واکنش در برابر آنها را دارد. یک سیستم مصنوعی که طراحان آن ادعا می‌کنند هوشمند است باید بتواند با استفاده از داده‌های بیرونی، محیط درونی خود را شکل دهد؛ یعنی پارامترهای مجهول مورد نیاز برای ایجاد پاسخ نهایی به محیط را برآورد کند.

- **تطبیق پذیری:** جهانی که در آن زندگی می‌کنیم و فرایندهایی که در آن رخ می‌دهد، همگی دارای یک ماهیت تصادفی هستند. حتی فرایندهایی که به نظر منظم و قابل پیش‌بینی می‌آیند نیز این ویژگی را دارند. تطابق با شرایط غیر مترقبه و پیش‌بینی نشده، عاملی ضروری برای زنده نگه داشتن سیستم‌ها در کنار دیگر سیستم‌ها است. بنابراین یک سیستم دارای هوش مصنوعی باید توانایی پاسخگویی مناسب به داده‌هایی را که در شرایط غیر منتظره وارد آن می‌شود، داشته باشد؛ یعنی تطبیق پذیر باشد.
- **تعبیر پذیری:** یک سیستم مصنوعی هوشمند باید واکنش‌هایی متناسب با داده‌های ورودی داشته باشد و این پاسخ‌ها باید منطقی و قابل قبول باشد هر چند از سرعت واکنش‌دهی بکاهد. سیستم پاسخگویی بیشتر انسان‌ها، یک سیستم تعبیرپذیر است، یعنی پاسخ و واکنشی که بروز می‌دهند، متناسب با داده‌ها و پرسش‌های دریافتی است؛ برای مثال، هنگامی که از فردی، نتیجه‌ی حاصلضرب دو عدد، خواسته شود، فرد ممکن است بی‌درنگ، یک جواب نه چندان دقیق یا بی‌ربط با سوال پرسیده شده بدهد و یا اینکه با کمی درنگ، پاسخ درست و منطقی بدهد. همواره تعبیر پذیری در مقابل دقت و سرعت عمل بوده است و به سختی می‌توان این دو را همزمان با هم داشت؛ هزینه کردن برای تعبیر پذیری، کاهش دقت و سرعت را در پی خواهد داشت و بالعکس[۱۵].

۱-۵- مقدمه‌ای بر مدل‌سازی، شناسایی و تقریب

تقریب و مدل‌سازی سیستم نقش بسیار بزرگی در زمینه‌هایی مانند کنترل، سیستم‌های خبره، ارتباطات و... ایفا می‌کند. بیشتر ساختارهای کنترلی بکار رفته در صنعت بر پایه‌ی نظریه‌ی کنترل کلاسیک می‌باشد. این در حالیست که نظریه‌ی کنترل کلاسیک برای کنترل فرایندهای خطی که مدل دقیق آنها معلوم است، مناسب می‌باشد. به هر حال بیشتر سیستم‌های فیزیکی در دنیای واقعی شامل روابط غیرخطی پیچیده‌اند که به سختی مدل‌سازی می‌شوند. هدف اصلی یادگیری به کمک داده‌ها، یافتن خانواده‌ای از قانون‌هاست که این داده‌های مورد نظر را پوشش دهد.

هوش مصنوعی و سیستم‌های خودکار در دانش و صنعت امروزی نقش بزرگی دارند و امروزه موضوع تقریب و مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده و غیرخطی، به ویژه به روش‌های مدرن و هوشمند، بسیار مورد توجه

دانشمندان علوم گوناگون قرار گرفته است. شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم‌های تکاملی و هوش جمعی نیز در دسته‌ی تقریبگرها و شناساگرهای محبوب و مشهور هستند[۲۲].

همزمان با افزایش سرعت و کارایی پردازشگرها، الگوریتم‌های شناسایی و روش‌های تقریب نیز بهتر و سریع‌تر شده‌اند که در این میان محاسبات هوشمند نقش بسزایی در این پیشرفت داشته‌اند.

با گذشت زمان، تکنولوژی و صنعت پیشرفت کرده و در دنیای واقعی سیستم‌هایی پدید آمده‌اند که بسیار پیچیده‌تر از قبل شده‌اند. با توجه به چنین وضعیتی، توسعه سیستم‌هایی که دارای زمان واکنش کوتاه بوده و وابستگی کمتری به نیروی انسانی داشته باشد، یکی از اهداف توسعه گران و صاحبان صنایع می‌باشد. روش‌های کلاسیک که هسته‌ی کاری آنها روش‌های عددی است، دیگر جوابگوی چنین هدفی نیست. هر چند پردازشگرهای امروزی مانند ابرکامپیوترها، توان پردازشی بسیار بالایی دارند، اما در کنار آنها وجود برنامه‌ها و نرم‌افزارهای محاسباتی پیشرفته‌تر لازم است تا در کنار استفاده از توان پردازشی آنها، بیشترین بهره‌وری را داشت.

روش‌های تقریب هوشمند نسبت به روش‌های کلاسیک شاید سریع‌تر نباشند، اما تعبیر پذیری بهتری دارند؛ در واقع این روش‌ها با الگوبرداری از تکنیک‌های پردازشی مغز انسان و خرد جمعی، تجربیات گذشته را نگه داشته و در تقریب‌های آینده از آنها بهره می‌برند. به عبارت دیگر این الگوریتم‌ها تلاش می‌کنند تا حد امکان، شبیه به انسان رفتار کنند. در سال‌های نزدیک به ۱۹۵۰ میلادی، دانشمندان در راستای پیاده‌سازی برنامه‌هایی که از فرایند اندیشیدن انسان‌ها پیروی کند، آزمایشاتی انجام دادند و نتایج حاصل از آن آزمایش‌ها، همان قواعد کلی اثبات شده‌ی امروزی بود[۱۷].

۱-۶- تقریب تابع

نیاز به تقریب تابع در بسیاری از شاخه‌های علوم و به طور خاص در ریاضیات کاربردی و علوم کامپیوتر وجود دارد. در حالت کلی، یک مسئله‌ی تقریب تابع به دنبال یافتن تابعی در میان کلاسی از توابع خوش‌تعریف است به طوری که بر طبق معیار مشخص شده‌ای، این تابع (به طور تقریبی) مطابق با تابع هدف باشد.

می‌توان مسئله‌ی تقریب تابع را به دو دسته‌ی اصلی تقسیم کرد: در حالت اول که شاخه‌ای از آنالیز عددی محسوب می‌شود، تابع هدف مشخص است و به دنبال بررسی چگونگی تقریب تابع هدف با استفاده از کلاس

خاصی از توابع (برای مثال توابع چندجمله‌ای، مثلثاتی یا رابطه‌ای) است که دارای خصوصیات مطلوب (محاسبات غیرپیچیده، پیوستگی، قابلیت انتگرال‌گیری و...) هستند.

در حالت دوم، تابع هدف ممکن است ناشناخته باشد؛ به عبارت دیگر به جای رابطه‌ای مشخص برای تابع، فقط مجموعه‌ای از نقاط به صورت زوج‌های مرتب <ورودی، خروجی> داریم. وابسته به ساختار دامنه و برد تابع هدف، روش‌های مختلفی را می‌توان برای تقریب تابع استفاده کرد. برای مثال اگر تابع هدف عملگری بر روی اعداد حقیقی باشد می‌توان روش‌های درون‌یابی، برون‌یابی، تحلیل رگرسیون و برازش منحنی را به کار برد. چنانچه برد تابع هدف، مجموعه‌ای متناهی باشد آنگاه با مسئله‌ی طبقه‌بندی روبرو هستیم[۲۷].

۱-۷- شبکه‌ی عصبی مصنوعی به عنوان تقریبگر

از لحاظ تئوری، ویژگی کلیدی شبکه‌ی عصبی مصنوعی، توانایی آن در تقریب توابع ناشناخته پیوسته است؛ که این کار به وسیله آموزش از طریق داده‌های مشاهده شده، تحت شرایط تحلیلی صورت می‌گیرد. به ویژه که نظریه‌ی تقریب سیبنکو[1] بیان می‌کند یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی پیش‌خور (بدون بازخورد) با یک لایه مخفی که شامل تعداد متناهی نرون است و نرون‌های آن دارای تابع فعال‌ساز مناسب هستند، می‌تواند به عنوان یک تقریبگر عمومی برای هر تابع پیوسته‌ی مقدار حقیقی روی دامنه‌ی n بعدی ($f: \mathcal{R}^n \to \mathcal{R}$) تعریف شده روی $[0,1]^n$ عمل کند. تقریب حاصل بر حسب نرم بی‌نهایت آن در بازه $[0,1]^n$ یکنواخت است[۵]. هورنیک[2] و همکاران ثابت کردند که شبکه‌ی عصبی مصنوعی بدون بازخورد با واحدهای دارای تابع فعال‌ساز مناسب در تنها لایه‌ی مخفی خود، می‌تواند هر تابع یکنواخت $f: \mathcal{R}^n \to \mathcal{R}^m$ را تقریب بزند[۱۴].

۱-۸- ابزار مورد نیاز در راستای این پایان‌نامه

سیستم‌های عصبی تقریبگرهای عمومی هستند که می‌توانند به ازای یک مجموعه از جفت داده‌های آموزشی شامل مقادیر ورودی و مقادیر هدف، به همراه مجموعه‌ای دیگر از داده‌ها برای آزمایش، سیستمی را

[1] Cybenko
[2] Hornik

بسازند که نزدیک‌ترین رفتار به داده‌های ورودی و هدف ارایه شده به سیستم را داشته باشد. بنابراین، در این کار پژوهشی نیاز به گردآوری یک سری داده‌های نمونه داریم تا بتوان نتایج به دست آمده از روش‌های پیشنهادی خود را با روش اصلی مقایسه کرد. از آنجا که طرح این پایان‌نامه بر اساس بررسی تقریب توابع، بنا نهاده شده است، ورودی‌های مورد نیاز به صورت جفت‌های مرتب برداری به شکل <ورودی، خروجی> می‌باشد.

به منظور پیشبرد اهداف این پایان‌نامه و محک زدن کارایی مدل پیشنهاد شده، از توابع محک استفاده شده است. توانایی تقریب این توابع به وسیله‌ی شبکه‌ی عصبی مصنوعی در هر روش با دیگر روش‌ها مقایسه شده است.

فصل دوم

کلیات و مفاهیم