دانشگاه کاشان

دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین

گروه مرتع و آبخیزداری

پایان‌نامه

جهت اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی منابع طبیعی – آبخیزداری

عنوان

مدل‌سازی بارش–رواناب با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی

(مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی بابل‌رود)

اساتید راهنما

دکتر هدی قاسمیه

دکتر سید جواد ساداتی‌نژاد

استاد مشاور

دکتر عباسعلی ولی

به وسیله‌ی

مهین نظری

شهریور ۱۳۹۱

تقدیم به

پدر،

مادر

و خانواده‌ام

تشکر و سپاس

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. اکنون که توانسته‌ام با استعانت از پروردگار متعال، این مرحله‌ی تحصیلی را پشت سر بگذارم، بر خود لازم می‌دانم از تمامی اساتید بزرگوار به ویژه اساتید دوره‌ی کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده‌اند، تشکر نمایم.

از اساتید بزرگوار و گرامی **سرکار خانم دکتر هدی قاسمیه** و **جناب آقای دکتر سیدجواد ساداتی‌نژاد** که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش پایان‌نامه تقبل نموده‌اند، نهایت تشکر و سپاس‌گزاری را دارم.

از **جناب آقای دکتر عباسعلی ولی** به عنوان استاد مشاور که با راهنمایی‌های خود مرا مورد لطف قرار دادند، کمال تشکر را دارم.

همچنین از تشریک مساعی **آقایان دکتر رضا قضاوی** و **دکتر امیررضا کشتکار** به عنوان اساتید داور که این پایان‌نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه‌ی دفاع شرکت نموده‌اند، تشکر می‌نمایم.

همچنین از جناب **آقای دکتر علی نجفی ایوکی** به عنوان نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی که مدیریت جلسه‌ی دفاع اینجانب را بر عهده داشته‌اند، تشکر می‌نمایم.

مهین نظری

شهریور۱۳۹۱

چکیده

فرایند بارش- رواناب یکی از پیچیده‌ترین فرایندهای هیدرولوژی است. یکی از روش‌های نوین در مدل‌سازی بارش – رواناب، مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی است. هدف از این تحقیق، مقایسه‌ی مدل‌های شبکه‌ی عصبی MLP و RBF و رگرسیون چند متغیره در مدل‌سازی بارش- رواناب حوضه‌ی بابل‌رود است. به منظور انجام این تحقیق، آمار ۲۸ سال (۸۷-۱۳۶۰) بارندگی و رواناب ماهانه‌ی حوضه‌ی رودخانه‌ی بابل‌رود مربوط به ایستگاه‌های قرآن‌طالار و کشتارگاه تهیه شد و پس از آزمون همگنی و نرمال‌سازی داده‌ها، مدل‌سازی برای دو ایستگاه قرآن‌طالار و کشتارگاه به صورت مجزا انجام شد. سپس معیارهای گزینش شبکه در مرحله‌ی آموزش و تست شامل RMSE، MSE، NMSE ، R و R^2 به دست آمدند. در نهایت در هر کدام از مدل‌ها، داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده مربوط به بارندگی و رواناب ماهانه مقایسه شدند. نتایج نشان داد که بهترین مدل در ایستگاه قرآن‌طالار، مدل RBF با الگوریتم مومنتم و تابع انتقال تانژانت هایپربولیک و ۱۸۶ تکرار و ۲۰ نرون در لایه‌ی میانی اول و ۱۵ نرون در لایه‌ی میانی دوم با R=۰/۷۰۷، R^2=۰/۴۹۹، NMSE =۰/۵۷۰، RMSE =۰/۲۰۷ و MSE=۰/۰۴۳ است. در ایستگاه کشتارگاه نیز، مدل شبکه‌ی عصبی RBF نسبت به سایر مدل‌ها دارای کارایی بالاتری بود و بهترین مدل با معماری ۴ نرون در لایه‌ی میانی اول، ۶ نرون در لایه‌ی میانی دوم و الگوریتم مومنتم و تابع انتقال بایاس و ۱۳۷ تکرار با R=۰/۷۱۶، R^2=۰/۵۱۲، NMSE=۰/۴۹۵، RMSE =۰/۱۳ و MSE=۰/۰۱۷ به دست آمد.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی بارش- رواناب، مدل MLP، مدل RBF، رگرسیون چند متغیره، ایستگاه قرآن‌طالار، ایستگار کشتارگاه، حوضه‌ی رودخانه‌ی بابل‌رود

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- فصل اول	۲
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- کلیات	۲
۱-۲-۱- بارندگی	۲
۱-۲-۲- رواناب سطحی	۳
۱-۲-۳- مدل و مدل‌سازی	۴
۱-۲-۳-۱- مدل فیزیکی	۴
۱-۲-۳-۲- مدل منطقی	۵
۱-۲-۴- شبکه‌های عصبی مصنوعی	۵
۱-۲-۴-۱- تاریخچه‌ی شبکه‌ی عصبی مصنوعی	۵
۱-۲-۴-۲- تعریف شبکه‌ی عصبی مصنوعی	۶
۱-۲-۴-۳- ساختار شبکه‌ی عصبی مصنوعی	۷
۱-۲-۴-۴- مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی	۸
۱-۲-۴-۵- مزایای استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی	۱۱
۱-۳- اهمیت موضوع و ضرورت تحقیق	۱۲
۱-۴- اهداف تحقیق	۱۳
۱-۵- سؤالات تحقیق	۱۴
۲- فصل دوم.	۱۶
۲-۱- مقدمه	۱۶
۲-۲- پیشینه‌ی تحقیق در خارج کشور	۱۶
۲-۳- پیشینه‌ی تحقیق در داخل کشور	۲۱
۳- فصل سوم	۲۹
۳-۱- مقدمه	۲۹
۳-۲- علت انتخاب منطقه‌ی مورد مطالعه	۲۹
۳-۳- مواد	۳۰
۳-۳-۱- مشخصات عمومی حوزه‌ی آبخیز بابل‌رود	۳۰
۳-۳-۲- مشخصات فیزیوگرافی حوزه‌ی آبخیز بابل‌رود	۳۰
۳-۳-۳- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه‌ی آبخیز بابل‌رود	۳۱
۳-۳-۳-۱- ایستگاه قرآن‌طالار	۳۱
۳-۳-۳-۲- ایستگاه کشتارگاه	۳۱
۳-۳-۴- مشخصات اقلیمی حوزه‌ی آبخیز بابل‌رود	۳۳
۳-۳-۵- مشخصات زمین‌شناسی حوزه‌ی آبخیز بابل‌رود	۳۳
۳-۳-۶- مشخصات عمومی رودخانه‌ی بابل‌رود	۳۳

۳-۴- روش تحقیق ۳۴
۳-۴-۱- استفاده از کتب و مقالات معتبر داخلی و خارجی مرتبط با موضوع ۳۵
۳-۴-۲- استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی ۳۵
۳-۴-۳- جمع‌آوری آمار مورد نیاز ۳۵
۳-۴-۴- آزمون همگنی داده‌ها ۳۶
۳-۴-۵- حذف داده‌های پرت ۳۶
۳-۴-۶- نرمالیزه کردن داده‌ها با استفاده از معادله‌ی مربوطه ۳۶
۳-۴-۷- استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره برای آنالیز داده‌های مورد آزمون ۳۷
۳-۴-۸- استفاده از نرم‌افزارهای موجود در شبکه‌ی عصبی برای آنالیز داده‌های مورد آزمون ۳۷
۳-۴-۹- رسم نمودار مربوط به داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی شده ۴۱
۳-۴-۱۰- آنالیز حساسیت مدل‌های ساخته شده ۴۲
۳-۴-۱۱- مقایسه‌ی نتایج سه مدل رگرسیون چندمتغیره، MLP و RBF و انتخاب بهترین مدل ۴۲
۴- فصل چهارم ۴۴
۴-۱- مقدمه ۴۴
۴-۲- نتایج جمع‌آوری آمار مورد نیاز ۴۴
۴-۳- نتایج آزمون همگنی داده‌ها ۴۴
۴-۴- نتایج حذف داده‌های پرت و نرمال‌سازی ۴۵
۴-۵- نتایج استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره در ایستگاه‌های هیدرومتری ۴۵
۴-۵-۱- ایستگاه قرآن‌طالار ۴۶
۴-۵-۲- ایستگاه کشتارگاه ۴۸
۴-۵-۳- رسم نمودار مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده در هر دو ایستگاه ۵۰
۴-۶- نتایج استفاده از نرم‌افزارهای شبکه‌ی عصبی مصنوعی در ایستگاه‌های هیدرومتری ۵۳
۴-۶-۱- ایستگاه قرآن‌طالار ۵۳
۴-۶-۲- ایستگاه کشتارگاه ۵۵
۴-۶-۳- رسم نمودار مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده در هر دو ایستگاه ۵۸
۴-۶-۴- نتایج انجام آنالیز حساسیت مدل‌های ساخته شده ۵۹
۵- فصل پنجم ۶۳
۵-۱- مقدمه ۶۳
۵-۲- تحلیل‌های مربوط به ایستگاه قرآن‌طالار ۶۳
۵-۳- تحلیل‌های مربوط به ایستگاه کشتارگاه ۶۴
۵-۴- نتیجه‌گیری نهایی ۶۴
۵-۵- پیشنهادها ۶۵
منابع و مآخذ ۶۶

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- مشخصات فیزیوگرافی حوزه‌ی آبخیز بابل‌رود ۳۰
جدول ۳-۲- شیب کل حوزه‌ی آبخیز بابل‌رود ۳۱
جدول ۴-۱- نتایج آنالیز رگرسیونی در ایستگاه قرآن‌طالار ۴۶
جدول ۴-۲- نتایج مربوط به انواع ضرایب در سه مدل رگرسیونی در ایستگاه قرآن‌طالار ۴۶
جدول ۴-۳- ضرایب رگرسیونی در سه مدل رگرسیونی در ایستگاه قرآن‌طالار ۴۷
جدول ۴-۴- نتایج مدل‌سازی با روش رگرسیون چند متغیره در ایستگاه قرآن‌طالار ۴۸
جدول ۴-۵- نتایج آنالیز رگرسیونی در ایستگاه کشتارگاه ۴۸
جدول ۴-۶- نتایج مربوط به انواع ضرایب در سه مدل رگرسیونی در ایستگاه کشتارگاه ۴۹
جدول ۴-۷- ضرایب رگرسیونی در دو مدل رگرسیونی در ایستگاه کشتارگاه ۴۹
جدول ۴-۸- نتایج مدل‌سازی با روش رگرسیون چند متغیره در ایستگاه کشتارگاه ۵۰
جدول ۴-۹- نتایج به دست آمده از مدل‌سازی با MLP در ایستگاه قرآن‌طالار ۵۴
جدول ۴-۱۰- نتایج به دست آمده از مدل‌سازی با RBF در ایستگاه قرآن‌طالار ۵۵
جدول ۴-۱۱ نتایج به دست آمده از مدل‌سازی با MLP در ایستگاه کشتارگاه ۵۶
جدول ۴-۱۲ نتایج به دست آمده از مدل‌سازی با RBF در ایستگاه کشتارگاه ۵۷
جدول ۴-۱۳- آنالیز حساسیت مدل MLP در ایستگاه قرآن‌طالار ۶۰
جدول ۴-۱۴- آنالیز حساسیت مدل RBF در ایستگاه قرآن‌طالار ۶۰
جدول ۴-۱۵- آنالیز حساسیت مدل MLP در ایستگاه کشتارگاه ۶۰
جدول ۴-۱۶- آنالیز حساسیت مدل RBF در ایستگاه کشتارگاه ۶۱
جدول ۵-۱- نتایج مدل‌سازی با استفاده از سه مدل به کار برده شده در ایستگاه قرآن‌طالار ۶۳
جدول ۵-۲- نتایج مدل‌سازی با استفاده از سه مدل به کار برده شده در ایستگاه کشتارگاه ۶۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- ساختار نرون طبیعی مغز انسان ۷
شکل ۱-۲- ساختار نرون مصنوعی ۷
شکل ۱-۳- ساختار پرسپترون چند لایه با نرون‌های پنهان و نرون‌های خروجی با تابع خطی ۸
شکل ۱-۴- نمونه‌ای از یک شبکه‌ی عصبی پرسپترون ۹
شکل ۱-۵- تابع سیگموییید ۱۰
شکل ۱-۶- نمونه‌ای از یک شبکه‌ی عصبی شعاعی ۱۱
شکل ۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه ۳۲
شکل ۳-۲- تعیین مدل شبکه در نرم‌افزار Neurosolution ۳۸
شکل۳-۳- تعیین تعداد نرون، الگوریتم، تابع انتقال در نرم‌افزار Neurosolution ۳۹
شکل ۳-۴- صفحه‌ی مربوط به مقادیر پیش‌بینی شده و تعیین شاخص‌های خطا در نرم‌افزار Neurosolution ۳۹
شکل ۴-۱- نمودار آموزش مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده در ایستگاه قرآن‌طالار ۵۱
شکل ۴-۲- نمودار آزمایش مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده در ایستگاه قرآن‌طالار ۵۱
شکل ۴-۳- نمودار آموزش مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده در ایستگاه کشتارگاه ۵۲
شکل ۴-۴- نمودار آزمایش مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده در ایستگاه کشتارگاه ۵۲
شکل ۴-۵- نمودار رواناب واقعی و پیش‌بینی شده از بهترین مدل به دست آمده در MLP برای ایستگاه قرآن‌طالار ۵۸
شکل ۴-۶- نمودار رواناب واقعی و پیش‌بینی شده از بهترین مدل به دست آمده در RBF برای ایستگاه قرآن‌طالار ۵۸
شکل ۴-۷- نمودار رواناب واقعی و پیش‌بینی شده از بهترین مدل به دست آمده در MLP برای ایستگاه کشتارگاه ۵۹
شکل ۴-۸- نمودار رواناب واقعی و پیش‌بینی شده از بهترین مدل به دست آمده در RBF برای ایستگاه کشتارگاه ۵۹

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱– فصل اول

۱–۱– مقدمه

برنامه‌ریزی، توسعه، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های منابع آب، نیازمند اطلاعات متنوع و متعددی در زمینه‌های هواشناسی، هیدرولوژی، اقتصادی، اجتماعی و ... است. در این میان، ریزش‌های جوی به ویژه بارندگی یکی از مهم‌ترین فرایندهای چرخه‌ی هیدرولوژیکی است که در صورت وقوع آن، فرایندهایی نظیر سیلاب، فرسایش، رسوب‌گذاری، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و ... به وقوع می‌پیوندد. این فرایند از بیشترین تغییرات مکانی و زمانی برخوردار است و کمیت بخشیدن به آن در مکان و زمان همواره مورد توجه محققین مختلف بوده است. معمولاً اطلاعات بارندگی در مطالعات بیلان حوزه‌ی آبخیز سطحی، برآورد نیاز آبی گیاهان موجود در الگوی کشت، تحلیل منطقه‌ای، آنالیز دوره‌ی خشکسالی و ترسالی و پیش‌بینی به هنگام سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد (پولادی، ۱۳۶۲).

آمار موجود نشانگر این است که میانگین بارندگی در ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر و توزیع بارش به لحاظ زمانی و مکانی نامناسب است، به طوری که بیش از ۵۰ درصد نزولات جوی در زمستان و کمتر از ۱۸ درصد در تابستان رخ می‌دهد. به این ترتیب در بسیاری از نقاط کشور از اواسط بهار، آب‌های جاری رودخانه‌ها به سرعت کاهش می‌یابند.

پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک، علاوه بر ایجاد سیلاب‌های مخرب موجب هدر رفتن رواناب سطحی می‌شود. بنابراین مهار رواناب سطحی و بهره‌برداری مناسب از آن می‌تواند راه‌کار مناسبی برای جلوگیری از هدررفت آب باشد. به منظور مدیریت ریزش‌های جوی و رواناب، ابتدا باید شناخت دقیقی از هر کدام از آن‌ها داشت.

۱–۲– کلیات

۱–۲–۱– بارندگی

به طور کلی بارندگی[1]، به عنوان هر رطوبتی که متراکم شود و به سطح زمین ریزش کند، تعریف می‌شود. در ابتدای هر بارندگی، آب باران بر اثر تبخیر به اتمسفر باز می‌گردد و یا به داخل زمین نفوذ می‌کند. ولی با افزایش سرعت و مدت بارندگی، به تدریج مقدار تبخیر کاهش می‌یابد و بارش بیش از مقداری می‌شود که زمین قادر است جذب کند. در این هنگام، آب در سطح زمین جاری می‌شود. این آب‌ها ابتدا به صورت قشر نازکی از آب و یا تعداد زیادی از جویبارهای بسیار کوچک و درهم جریان می‌یابند و سپس در مجاری معینی متمرکز می‌شوند.

1. Precipitation

این مجاری شاخه‌های اولیه‌ی رود هستند. این شاخه‌ها مرتباً به هم می‌پیوندند و رودخانه‌ی اصلی را به وجود می‌آورند.
تعیین ارتباط بین بارش و رواناب در یک حوضه، یکی از مهم‌ترین مسایلی است که مهندسین هیدرولوژی و هیدرولوژیست‌ها به منظور طراحی و مدیریت، نیازمند آن هستند. این روابط معمولاً غیرخطی و پیچیده است.

۱-۲-۲- رواناب سطحی

هر گاه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیشتر باشد، بخشی از آب حاصله از بارندگی در سطح حوضه باقی می‌ماند. این آب پس از پر کردن گودی‌های سطح زمین که به آن چالاب گفته می‌شود، در امتداد شیب زمین جریان پیدا می‌کند و از طریق شبکه‌ی آبراهه‌ها و سپس رودخانه‌ی اصلی از حوضه خارج می‌شود. به این بخش از بارندگی که می‌توان مقدار آن را در رودخانه‌ها اندازه‌گیری کرد، رواناب سطحی[1] می‌گویند (علیزاده، ۱۳۸۲).
رواناب به پارامترهای زیادی نظیر رطوبت اولیه‌ی خاک، نوع کاربری زمین، نفوذ، تبخیر، توزیع زمانی بارندگی و سایر موارد بستگی دارد (طوفانی‌نژاد، ۱۳۸۳). ریزش‌های جوی مهم‌ترین منبع تأمین آب شیرین و رواناب حاصل از این بارش‌ها، اصلی‌ترین شکل دریافت آب در بیشتر مناطق دنیا هستند. بنابراین برآورد حجم رواناب حاصل از بارندگی جهت به کارگیری روش‌های جمع‌آوری و مهار آب‌های سطحی از نظر تأمین آب، روز به روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. در دهه‌های اخیر به علت افزایش تعداد سیلاب‌ها و خسارات ناشی از آن‌ها، نیاز به پیش‌بینی دقیق و سریع رواناب از روی آمار بارندگی و نیاز به ایجاد سیستم هشدار سیل افزایش یافته است. علاوه بر آن طراحی و ساخت سازه‌های آبی و مدیریت خشکسالی‌ها و جلوگیری از خسارات آن‌ها از جمله موضوعاتی است که به عنوان واقعیت‌های ضروری مطرح است. بنابراین توسعه و اجرای روش‌های مناسب پیش‌بینی رواناب از روی داده‌های بارش بسیار ضروری به نظر می‌رسد. لذا پیش از هر گونه عملیات حفاظت خاک مانند تراس‌بندی، ساختن بندهای رسوب‌گیر، آبراهه‌های انحرافی و کارهای مشابه باید میزان رواناب در یک فرکانس معین مشخص شود. اگر هدف از انجام عملیات حفاظتی، هدایت آب از محلی به محل دیگر است، تعیین حداکثر دبی رواناب و اگر هدف ذخیره‌ی رواناب است، تعیین حجم کل رواناب در فرکانس مورد نظر ضروری است (طوفانی‌نژاد، ۱۳۸۳).
البته لازم به ذکر است که علی‌رغم پیچیدگی رابطه‌ی بین رواناب و بارندگی، در بسیاری از پروژه‌ها مانند تأسیسات زهکشی، آبراهه‌ی آزادراه‌ها، تأسیسات کوچک کنترل آب، طرح دفع

1. Surface Runoff

آب‌های سطحی و فاضلاب شهرها و ظرفیت آب‌گذری پل‌ها، میزان رواناب سطحی به صورت درصدی از کل بارندگی در نظر گرفته می‌شود.
امروزه با استفاده از مدل‌ها و تکنیک‌های شبیه‌سازی ریاضی و کامپیوتری در زمان کوتاهی، حجم رواناب به ازای بارندگی محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر روش‌های متعددی به منظور مدل‌سازی بارش- رواناب توسعه یافته‌اند که از این میان، می‌توان به مدل‌های هیدرولوژیکی، روابط رگرسیونی و توابع انتقال اشاره کرد. اما در دهه‌های اخیر، مطالعات بیشتر به سمت روش‌هایی متمایل شده‌اند که بتوانند شرایط طبیعی را تا حدودی درک کنند و نتایج حاصل از آن‌ها از دقت و صحت مناسب برخوردار باشد. یکی از روش‌هایی که در چند دهه‌ی اخیر در بسیاری از علوم از جمله هیدرولوژی توسعه یافته است، استفاده از روش‌های هوش مصنوعی نظیر منطق فازی[1] و شبکه‌های عصبی مصنوعی[2] به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب است.

۱-۲-۳- مدل و مدل‌سازی

مدل نمایش ساده‌ای از یک سیستم پیچیده است. اصولاً با مدل‌سازی می‌توان حرکات و واکنش‌های یک سیستم حقیقی را به سادگی در اختیار گرفت. معمولاً کنترل این حرکات در طبیعت امکان‌پذیر نیست و یا این که متضمن صرف هزینه و وقت زیاد است. گذشته از این در علوم مهندسی اغلب مواردی مشاهده می‌شود که طراح مایل به جایگزین کردن سیستم جدید به جای سیستم اصلی است تا در نهایت بتواند بهترین انتخاب را داشته باشد. این موضوع در عمل تقریباً غیر قابل اجراست. بنابراین به وسیله‌ی مدل‌سازی می‌توان با هزینه‌ی کم این بررسی را انجام داد.
به طور کلی مدل‌ها به دو گروه ریاضی و فیزیکی تقسیم می‌شوند. مدل‌های ریاضی خود به دو زیرگروه نظری و تجربی و مدل‌های فیزیکی به دو زیرگروه قیاسی و حقیقی طبقه‌بندی می‌شوند.

.

در این فصل از آن جایی که هدف، شناخت روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل و طراحی سیستم است، دو مدل فیزیکی و منطقی توضیح داده می‌شود.

۱-۲-۳-۱- مدل فیزیکی

مدل فیزیکی تصویری از سیستم است که چگونگی انجام کار را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، عملیات سیستم را به همان ترتیبی که به طور واقعی رخ می‌دهد، در مکانی که در آن رخ می‌دهد، با وسیله و یا شخصی که آن را انجام می‌دهد، نشان می‌دهد.

1. Fuzzy Logic
2. ANN: **A**rtifical **N**eural **N**etwork

۱-۲-۳-۲- مدل منطقی

مدل منطقی، تصویری از سیستم است که آنچه باید در سیستم انجام شود، نشان می‌دهد. در این مدل به ترتیب واقعی و وسایل پردازش عملیات، توجهی نمی‌شود. بلکه عملیات سیستم به صورت شبکه‌ای از فعالیت‌های مختلف و ضروری برای سیستم نمایش داده می‌شود و بر جریان و حرکت منطقی داده‌ها در طول سیستم تکیه دارد.

۱-۲-۴- شبکه‌های عصبی مصنوعی

۱-۲-۴-۱- تاریخچه‌ی شبکه‌ی عصبی مصنوعی

شبکه‌ی عصبی مصنوعی، نامی نوین در علوم مهندسی است که به طور ابتدایی توسط روزن‌بلات در سال ۱۹۴۲ و به شکل جدی و تأثیرگذار در سال ۱۹۸۶ توسط رومل هارت و مک‌کلند با ابداع و ارائه‌ی مدل پرسپترون توسعه یافت و به جهان معرفی شد. ماهیت و ذات تجربی این مدل باعث می‌شود تا در مسائلی مانند مقوله‌ی پیش‌بینی به خوبی قابل استفاده باشد (شریفی و همکاران، ۱۳۸۴).

مدل MLP[1] شبکه‌ی عصبی مصنوعی در سال ۱۹۴۶ توسط مک کالوخ و پیت مطرح شد که یک مدل ساده‌ی خطی بود. در سال ۱۹۴۹، هب قانون آموزش را بیان کرد و استفاده از آن را در آموزش شبکه‌ی عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار داد (شکاری، ۱۳۹۰). سپس روزن‌بلات، پرسپترون الگوریتم‌های یادگیری را ارائه نمود. سال ۱۹۶۹، آغاز افول موقت شبکه‌ی عصبی مصنوعی بود، زیرا عدم توانایی شبکه‌های عصبی در حل مسائل غیرخطی آشکار شد. شبکه‌های آن زمان، فقط قادر به حل مسائلی بودند که می‌توان پاسخ‌های آن مسأله را توسط یک خط در محور مختصات از هم جدا کرد. در سال ۱۹۸۲، هاپفیلد با معرفی شبکه‌های چند لایه و الگوریتم‌های یادگیری دارای بازخورد[2]، راه حلی برای حل موارد غیرخطی ارائه نمود و در این زمان بود که شبکه‌های بازگشتی خود سازمانده[3] در بخش یادگیری هیبیان مطرح شد. از نیمه‌ی دهه‌ی ۹۰، نسل سوم شبکه‌های عصبی مصنوعی مطرح شدند که در این زمان، محدودیت‌های تئوری و عملی شبکه، عمومیت و حدود آن و نیز شبکه‌های عصبی ترکیبی، الگوریتم‌های ژنتیکی و منطق فازی مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت، امروزه استفاده‌ی عملی و پیاده‌سازی تجاری و سخت‌افزاری شبکه‌های عصبی مصنوعی ممکن شده است (البرزی، ۱۳۸۸).

میسکی و پاپرت در سال ۱۹۶۹ در تحقیقی، محدودیت‌های سامانه‌های تک لایه و چند لایه‌ی پرسپترون را تشریح کردند. نتیجه‌ی این کتاب، پیش‌داوری و قطع سرمایه‌گذاری برای تحقیقات

1. MLP: **M**ulti **L**ayer **P**erceptron
2. Feedback
3. Autoregressive RBF

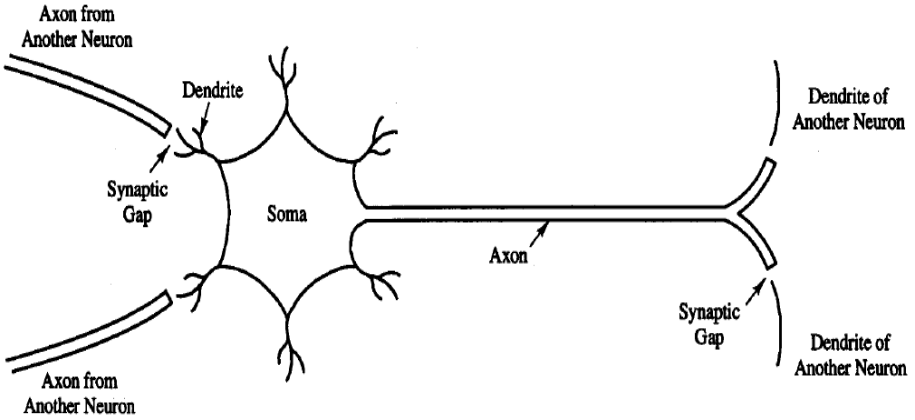
در زمینه‌ی شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی بود. آن‌ها با طرح این موضوع که مدل پرسپترون قادر به حل هیچ مسأله‌ی جالبی نیست، تحقیقات در این زمینه را برای مدت چندین سال متوقف کردند. با وجود این که اشتیاق عمومی و سرمایه‌گذاری‌های موجود به حداقل خود رسیده بود، برخی محققان تحقیقات خود را برای ساخت ماشین‌هایی که توانایی حل مسائلی از قبیل تشخیص الگو را داشته باشند، ادامه دادند. از جمله گراسبگ که شبکه‌ای تحت عنوان Avalanch را برای تشخیص صحبت پیوسته و کنترل دست ربات مطرح کرد. همچنین وی با همکاری کارپنتر، شبکه‌های ART را بنا نهاد که با مدل‌های طبیعی تفاوت داشت. اندرسون و کوهونن نیز از اشخاصی بودند که تکنیک‌هایی برای یادگیری ایجاد کردند. ورباس در سال ۱۹۷۴ شیوه‌ی آموزش پس انتشار خطا را ایجاد کرد که یک شبکه‌ی پرسپترون چند لایه با قوانین نیرومندتر آموزشی بود (البرزی، ۱۳۸۸).

بنابراین می‌توان بیان نمود پیشرفت‌هایی که در سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ به دست آمد، برای جلب توجه به شبکه‌های عصبی بسیار مهم بود. برخی فاکتورها نیز در تشدید این مسأله دخالت داشتند (البرزی، ۱۳۸۸).

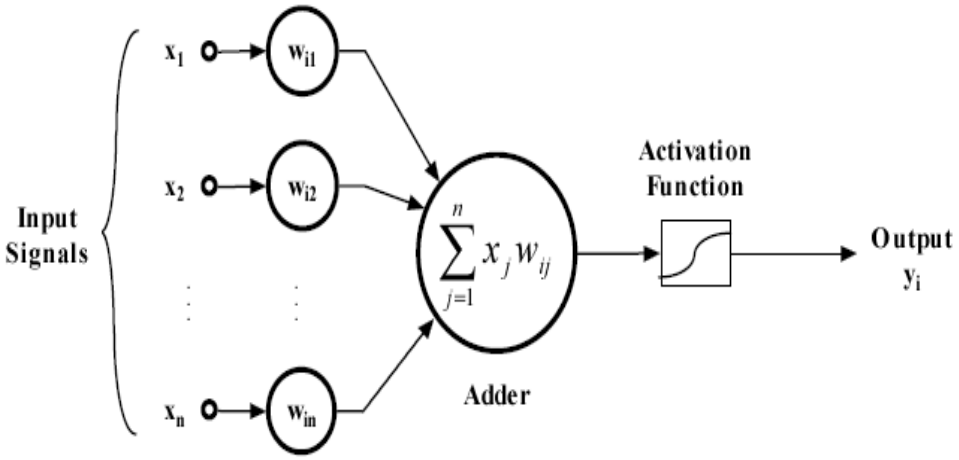
۱-۲-۴-۲- تعریف شبکه‌ی عصبی مصنوعی

شبکه‌ی عصبی مصنوعی یک سامانه‌ی پردازشی داده است که از مغز انسان ایده گرفته و پردازش داده‌ها را به عهده‌ی پردازنده‌های کوچک و بسیار زیادی سپرده است که به صورت شبکه‌ای به هم پیوسته و موازی با یکدیگر رفتار می‌کنند تا یک مسأله را حل نمایند. در این شبکه‌ها به کمک دانش برنامه‌نویسی، ساختار داده‌ای طراحی می‌شود که می‌تواند همانند نرون[1] عمل کند. این ساختار داده، گره نامیده می‌شود. سپس با ایجاد شبکه‌ای بین این گره‌ها و اعمال یک الگوریتم آموزشی، شبکه مورد آموزش قرار می‌گیرد. در این حافظه یا شبکه‌ی عصبی، گره‌ها دارای دو حالت فعال (روشن یا ۱) و غیرفعال (خاموش یا ۰) هستند و هر یال (سیناپس یا ارتباط بین گره‌ها) دارای یک وزن است. یال‌های با وزن مثبت، موجب تحریک یا فعال کردن گره‌ی غیرفعال بعدی می‌شوند و یال‌های با وزن منفی، گره‌ی متصل بعدی را در صورتی که فعال باشد، غیرفعال یا مهار می‌کنند (البرزی، ۱۳۸۰). در شکل ۱-۱، نمونه‌ای از ساختار نرون طبیعی مغز انسان و در شکل ۱-۲، ساختار یک نرون مصنوعی نشان داده شده است.

1. Neuron



شکل ۱-۱- ساختار نرون طبیعی مغز انسان



شکل ۱-۲- ساختار نرون مصنوعی

۱-۲-۴-۳- ساختار شبکه‌ی عصبی مصنوعی

شبکه‌ی عصبی مصنوعی شامل اجزای سازنده‌ی لایه‌ها و وزن‌هاست. رفتار شبکه به ارتباط بین اعضا بستگی دارد. در حالت کلی، در شبکه‌های عصبی سه نوع لایه‌ی نرونی وجود دارد که عبارتند از (شکاری، ۱۳۹۰):

۱. لایه‌ی ورودی: این لایه، اطلاعات خامی را که به شبکه تغذیه شده است، دریافت می‌کند.

۲. لایه‌های پنهان: عملکرد این لایه‌ها به وسیله‌ی ورودی‌ها و وزن ارتباط بین آن‌ها و لایه‌های پنهان تعیین می‌شود. وزن‌های بین واحدهای ورودی و پنهان تعیین می‌کنند که چه وقت یک واحد پنهان باید فعال شود.

۳. لایه‌ی خروجی: عملکرد لایه‌ی خروجی بستگی به فعالیت واحد پنهان و وزن ارتباط بین واحد پنهان و خروجی دارد.

۱-۲-۴-۴- مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی

انواع مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی مورد استفاده عبارتند از:

- شبکه‌ی عصبی پرسپترون ساده

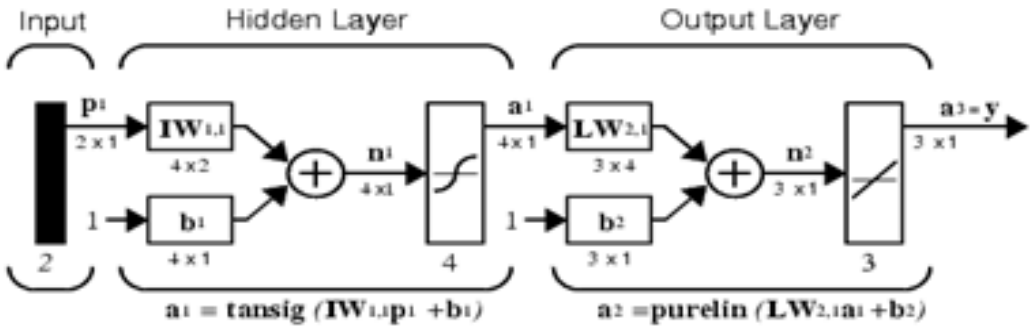
روزن بلات با اتصال نرون‌ها به طریقی ساده، پرسپترون را ایجاد و ابداع کرد و برای نخستین بار، این مدل را در کامپیوترهای دیجیتال شبیه‌سازی، تحلیل نمود.

- شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه‌ی MLP و تک‌لایه‌ی SLP

نوع خاصی از شبکه‌های عصبی چندلایه به نام پرسپترون تک‌لایه‌ی SLP[1] وجود دارد. این شبکه از یک لایه‌ی ورودی و یک لایه‌ی خروجی تشکیل شده است.

در بسیاری از مسائل پیچیده‌ی ریاضی که به حل معادلات بغرنج غیرخطی منجر می‌شود، یک شبکه‌ی پرسپترون چندلایه می‌تواند به سادگی با تعریف اوزان و توابع مناسب مورد استفاده قرار گیرد. در این نوع شبکه‌ها، از یک لایه‌ی ورودی جهت اعمال ورودی‌های مسأله، یک لایه‌ی پنهان و یک لایه‌ی خروجی که در نهایت پاسخ‌های مسأله را ارائه می‌نماید، استفاده می‌شود (شریفی و صالحی، ۱۳۸۴).

معمولاً الگوریتم آموزش در پرسپترون چندلایه، پس انتشار[2] است. پرسپترون، برداری از ورودی‌های با مقادیر حقیقی را دربرمی‌گیرد و یک ترکیب خطی از این ورودی‌ها را محاسبه می‌کند. اگر نتیجه‌ی به دست آمده از یک مقدار آستانه بیشتر باشد، خروجی پرسپترون برابر ۱ و در این صورت، معادل ۱- است. گره‌هایی که در لایه‌ی ورودی هستند، نرون‌های حسی و گره‌های لایه‌ی خروجی، نرون‌های پاسخ‌دهنده هستند. در لایه‌ی پنهان نیز، نرون‌های پنهان وجود دارند (شریفی و صالحی، ۱۳۸۴). نمونه‌ای از یک شبکه‌ی پرسپترون چندلایه در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.

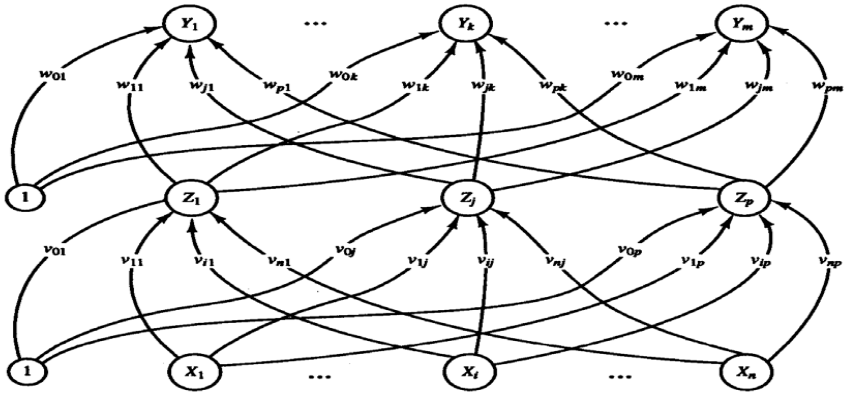


شکل ۱-۳- ساختار پرسپترون چند لایه با نرون‌های پنهان و نرون‌های خروجی با تابع خطی

1. SLP: **S**ingle **L**ayer **P**erception
2. Feedback

شبکه‌های پرسپترون چندلایه می‌توانند با هر تعداد لایه ساخته و به کار گرفته شوند، ولی یک شبکه‌ی پرسپترون سه لایه قادر است هر نوع فضایی را تفکیک کند. این قضیه که قضیه‌ی کولموگوروف[1] نامیده می‌شود، بیانگر مفهوم بسیار مهمی است که می‌توان در ساخت شبکه‌های عصبی از آن استفاده کرد (البرزی، ۱۳۸۸).

قاعده‌ی فراگیری پرسپترون چندلایه "قاعده‌ی کلی دلتا[2]" یا "قاعده‌ی پس انتشار[3]" نامیده می‌شود. نحوه‌ی عمل پرسپترون چندلایه بدین صورت است که الگویی به شبکه عرضه می‌شود و خروجی آن محاسبه می‌گردد. مقایسه‌ی خروجی واقعی و خروجی مطلوب باعث می‌شود که ضرایب وزنی شبکه تغییر یابد، به طوری که در دفعات بعد، خروجی صحیح‌تری حاصل شود (البرزی، ۱۳۸۸). در شکل ۱-۴، نمونه‌ای از یک شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه نشان داده شده است.



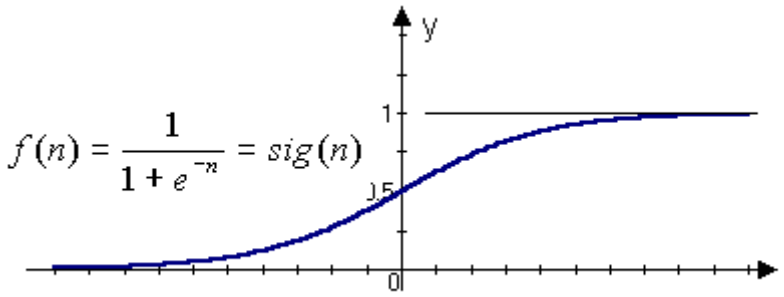
شکل ۱-۴- نمونه‌ای از شبکه‌ی عصبی پرسپترون

در شکل ۱-۴، لایه‌ی x، لایه‌ی ورودی، لایه‌ی z، لایه‌ی پنهان و لایه‌ی y، لایه‌ی خروجی است. در شبکه‌ی عصبی توابع تحریک مختلفی استفاده می‌شود که تابع سیگموید، یکی از آنهاست و در شکل ۱-۵، نشان داده شده است. در این نوع شبکه‌ها، شرایط زیر وجود دارد:

- نرون‌های هر لایه تنها به نرون‌های لایه‌ی بعدی متصل می‌شوند.
- هر نرون به تمامی نرون‌های لایه‌ی بعد متصل است.
- نرون‌های لایه‌ی ورودی عملی را انجام نمی‌دهند و وزن‌های آن‌ها ثابت و برابر یک است. این نرون‌ها، فاقد تابع فشرده‌سازی هستند.
- انتشار عملگر رو به جلو است. تمامی نرون‌ها به غیر از لایه‌ی ورودی جمع کننده هستند و هر نرون می‌تواند تابع فشرده‌سازی مستقلی داشته باشد.

1. Kolmogrov's theorem
2. Delta General Rule
3. Back – Propogation Rule

- هر نرون می‌تواند دارای بایاس مستقل باشد.
- تعداد لایه‌های پنهان مشخص نیست.



شکل ۱-۵- تابع سیگموید

– شبکه‌های عصبی شعاعی

یکی از مهم‌ترین انواع شبکه‌های عصبی، تابع شعاع‌مدار (RBF[1]) است. این شبکه با توجه به کاربردهای متنوعش به یکی از معروف‌ترین شبکه‌های عصبی تبدیل شده است و مهم‌ترین رقیب پرسپترون چند لایه محسوب می‌شود. این شبکه‌ها بیشترین الهام را از تکنیک‌های آماری طبقه‌بندی الگوها گرفته‌اند (البرزی، ۱۳۸۸).

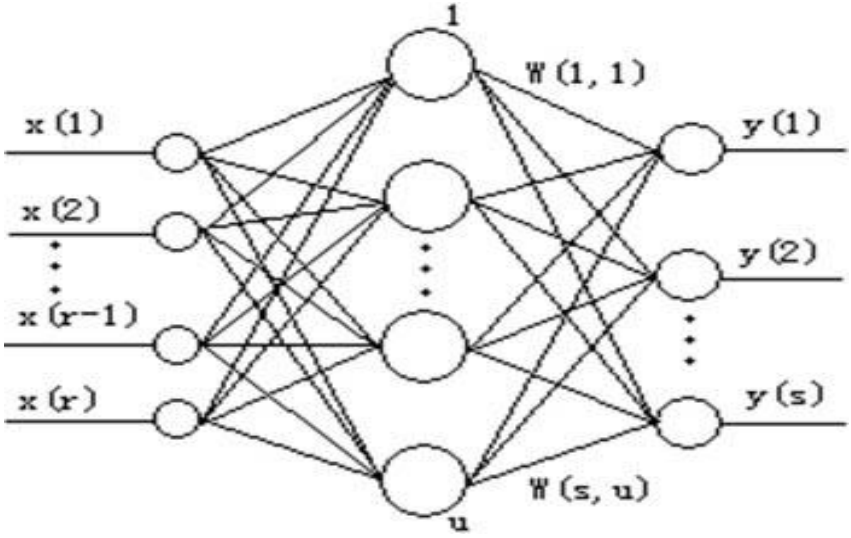
نخستین تحقیقات روی این شبکه در سال ۱۹۸۵ توسط پاول صورت گرفت و در سال ۱۹۹۲ توسط لایت ادامه یافت. این شبکه‌ها روش متفاوتی نسبت به شبکه‌های عصبی مانند MLP ارائه می‌کنند. شبکه‌های RBF در حل بسیاری از مسائل متفاوت، به ویژه در مسائل طبقه‌بندی، الگوشناسی و تحلیل سری‌های زمانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (شکاری، ۱۳۹۰).

معماری اصلی RBF متشکل از یک شبکه‌ی سه لایه است. لایه‌ی ورودی فقط یک لایه‌ی کشنده است و در آن هیچ پردازشی صورت نمی‌گیرد. لایه‌ی دوم یا لایه‌ی پنهان، یک انطباق غیر خطی مابین فضای ورودی و یک فضا (معمولاً) با بعد بزرگ‌تر برقرار می‌کند که در آن، الگوها به صورت تفکیک‌پذیر خطی در می‌آیند. در نهایت لایه‌ی سوم، جمع وزنی را به همراه یک خروجی خطی تولید می‌کند. در صورتی‌که از RBF برای تقریب تابع استفاده شود، چنین خروجی مفید خواهد بود. ولی در صورتی که نیاز به طبقه‌بندی الگوها شود، یک محدودکننده‌ی سخت یا یک تابع سیگموئید را می‌توان بر روی عصب‌های خروجی قرار داد تا مقادیر خروجی صفر یا یک تولید شوند.

RBF مزایای زیادی در مقابل پرسپترون چندلایه‌ی MLP دارد. یکی از مزیت‌های آن، سرعت بیشتر و ایجاد محدوده‌های تصمیم‌گیری بهتر است. مزیت دیگر RBF این است که در این

1. RBF: **R**aidial **B**asis **F**unction

شبکه، تغییر و تفسیر لایه‌ی خروجی به مراتب آسان‌تر از یک مدل MLP انجام می‌شود (البرزی، ۱۳۸۸). در شکل ۱-۶، نمونه‌ای از یک شبکه‌ی عصبی شعاعی نشان داده شده است.



شکل ۱-۶- نمونه‌ای از شبکه‌ی عصبی شعاعی

۱-۲-۴-۵- مزایای استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی با توانایی قابل توجه خود در استنتاج نتایج از داده‌های پیچیده می‌توانند در استخراج الگوها و شناسایی گرایش‌های مختلفی که برای انسان‌ها و کامپیوتر بسیار دشوار است، استفاده شوند. از جمله مزایای شبکه‌های عصبی عبارتند از (البرزی، ۱۳۸۸):

الف- یادگیری تطبیقی

یادگیری تطبیقی، توانایی یادگیری این مسأله است که چگونه وظایف خود را براساس اطلاعات داده شده به آن و یا تجارب اولیه انجام دهد. در واقع این نوع یادگیری به معنای اصلاح شبکه است.

ب- خودسازماندهی

یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی به صورت خودکار می‌تواند سازماندهی داده‌هایی را که در طول آموزش دریافت می‌کند، انجام دهد. نرون‌ها با قاعده‌ی یادگیری، سازگار می‌شوند و پاسخ به ورودی تغییر می‌یابد.

ج- عملگرهای بی‌درنگ

محاسبه‌ها در شبکه‌ی عصبی مصنوعی می توانند به صورت موازی و به وسیله‌ی سخت افزارهای مخصوصی که طراحی و ساخت آن برای دریافت نتایج بهینه‌ی قابلیت‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی است، انجام شود.