

فصل ۱

شبکه‌های عصبی مصنوعی

۱.۱ ساختار سلول‌های عصبی طبیعی

مغز انسان به عنوان یک سیستم پردازش اطلاعاتی با ساختار موازی از ۱۰^{۱۱} نرون‌های به هم مرتبط با تعداد کل ۱۰^{۱۶} ارتباط تشکیل شده است. نرون‌ها ساده‌ترین واحد ساختاری سیستم‌های عصبی هستند. بافت‌هایی که عصب نامیده می‌شوند، اجتماعی از نرون‌ها می‌باشند.

این نرون‌ها پیام‌ها را از یک قسمت بدن به قسمت دیگر منتقل می‌کنند. پیام‌ها از نوع ایمپالس‌های^۱ الکتروشیمیایی هستند. بیشترین تعداد نرون‌ها در مغز و مابقی در نخاع و سیستم‌های عصبی جانبی تمرکز یافته‌اند. گرچه همگی نرون‌ها کارکرد یکسانی دارند ولی اندازه و شکل آن‌ها بستگی به محل قرارگیری آن‌ها در سیستم عصبی دارد. با وجود تنوع زیاد، بیشتر نرون‌ها از سه قسمت اصلی تشکیل شده‌اند: بدنه سلول که شامل هسته و قسمت‌های حفاظتی دیگر می‌باشد. دندریت.

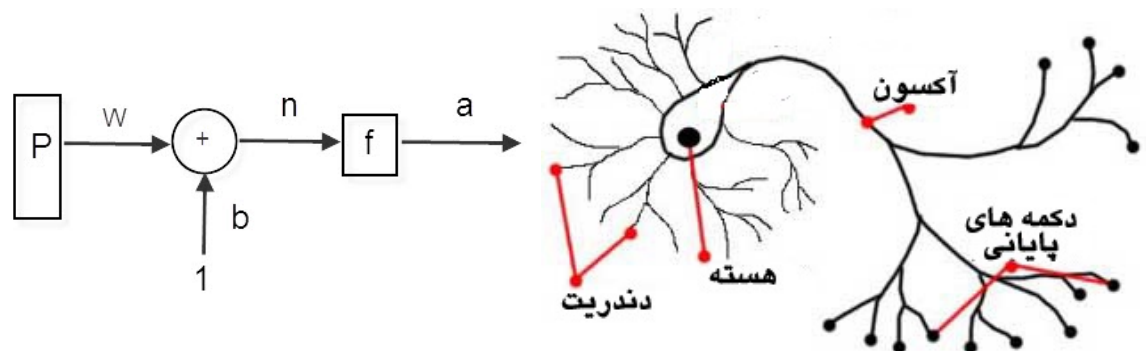
اکسون.

که دو تای آخر عناصر ارتباطی نرون را تشکیل می‌دهند. نرون‌ها براساس ساختارهایی که پیام‌ها بین آن‌ها هدایت می‌شوند به سه دسته تقسیم می‌گردند:

۱- نرون‌های حسی که اطلاعات را از ارگان‌های حسی به مغز و نخاع می‌فرستند.

۲- نرون‌های محرک که سیگنال‌های فرمان را از مغز و نخاع به ماهیچه‌ها و غدد هدایت می‌کنند.

^۱ Impulse



شکل ۲.۱: نواحی اصلی یک نرون حرکتی

شکل ۱.۱: نواحی اصلی یک سلول عصبی بیولوژیک

۳- نرون‌های ارتباطی که نرون‌ها را به هم متصل می‌کنند.
شکل‌های ۱.۱ و ۲.۱ ساختار سلول‌های عصبی را نشان می‌دهند.

فعالیت‌های نرون‌های حسی و حرکتی توسط نرون‌های ارتباطی به هم مربوط می‌شوند. نرون‌ها را عموماً سلول‌هایی با تعداد بسیار بیشتر موسوم به گلیا^۲ همراهی می‌کنند. سلول‌های گلیا نرون‌ها را طوری احاطه می‌کنند که در جایشان ثابت بمانند و موجب رسیدن مواد غذایی به نرون می‌شوند. دندریت‌ها به عنوان مناطق دریافت سیگنال‌های الکتریکی، شبکه‌هایی تشکیل یافته از فیبرهای سلولی هستند که دارای سطح نامنظم و شاخه‌های انشعابی بی‌شمار می‌باشند. به همین خاطر آن‌ها شبکه‌های دریافتی درخت گونه گویند. دندریت‌ها سیگنال‌های الکتریکی را به هسته سلول منتقل می‌کنند. بدنه‌ی سلول، انرژی لازم را برای فعالیت نرون فراهم نموده و بر روی سیگنال‌های دریافتی عمل می‌کند که با یک عمل ساده جمع و مقایسه با یک سطح آستانه مدل می‌گردد. اکسون برعکس دندریت‌ها از سطحی هموارتر و تعداد شاخه‌های کمتر برخوردار می‌باشد. اکسون طول بیشتری دارد و سیگنال الکتروشیمیایی دریافتی از هسته سلول را به نرون‌های دیگر منتقل می‌کند. محل تلاقی یک اکسون از یک سلول به دندریت‌های سلول دیگر را سیناپس می‌گویند. سیناپس‌ها واحدهای ساختاری کوچک تابعی^۳ هستند که ارتباطات بین نرون‌ها را برقرار می‌سازند. سیناپس‌ها انواع مختلفی دارند که یکی از مهمترین آن‌ها، سیناپس‌های شیمیایی هستند [۴].

^۲Glia
^۳Functional



شکل ۳.۱: مدل نرون تک ورودی

۲.۱ مدل ریاضی نرون و ساختار کلی شبکه‌های عصبی

در این قسمت مدل ساده‌ای از یک نرون واقعی ارائه می‌شود و سپس توضیح خواهیم داد که چگونه می‌توان ساختارهای مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی را از ترکیب و کنار هم گذاشتن تعداد زیادی از این نرون‌ها به وجود آورد.

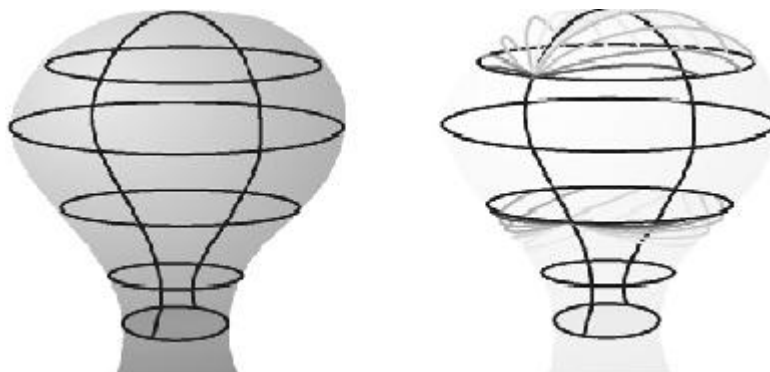
۱.۲.۱ ساختار شبکه‌های عصبی

باید توجه داشت که معمولاً حتی یک نرون با تعداد ورودی‌های زیاد نیز به تنهایی برای حل مسائل فنی-مهندسی کفایت نمی‌کند. مثلاً برای مدل‌سازی نگاشت‌هایی که دارای دو خروجی هستند احتیاج به دو نرون داریم که به‌طور موازی عمل کنند. یک سلول عصبی یا نرون به عنوان واحد پردازش اطلاعات و نیز عناصر سازنده‌ی شبکه‌های عصبی در نظر گرفته می‌شود. شکل ۳.۱ ساختار یک نرون تک ورودی را نشان می‌دهد. اسکالرها p و a به ترتیب ورودی و خروجی می‌باشند.

میزان تأثیر p روی a بوسیله مقدار اسکالر w تعیین می‌شود. ورودی دیگر، که مقدار ثابت ۱ است در جمله‌ی بایاس b ضرب شده و سپس با wp جمع می‌شود این حاصل جمع، ورودی خالص n برای تابع محرک f (تابع فعالیت^۵) خواهد بود. بدین ترتیب خروجی نرون با معادله‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$a = f(wp + b) \quad (1.1)$$

Input Net^۴
Function Activity^۵



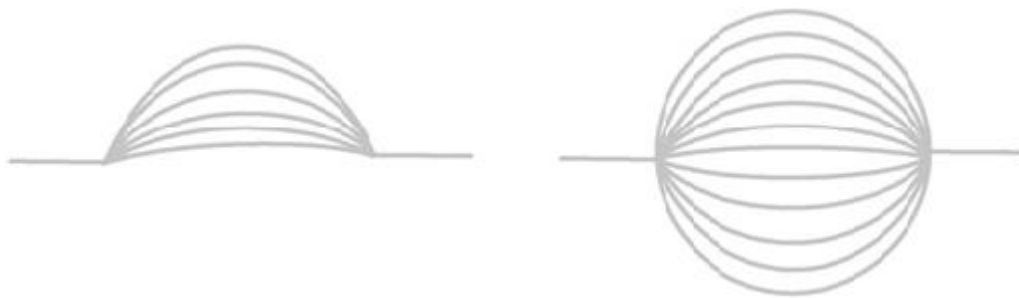
شکل ۴.۱: مدل غیر خطی از یک نرون

با مقایسه این مدل تک ورودی با یک نرون بیولوژیکی، عملاً w ، معادل شدت سیناپس، جمع کننده و تابع محرک معادل هسته سلول و a سیگنال خروجی نرون، معادل سیگنال گذرنده از اکسون خواهند بود.

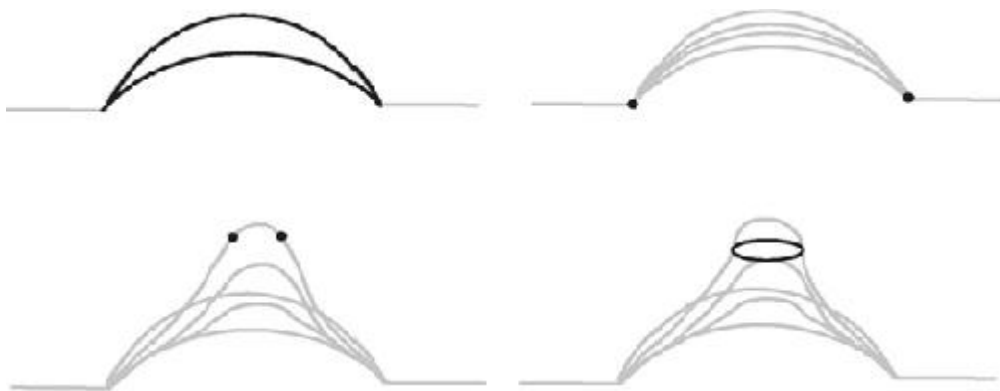
باید توجه داشت که پارامترهای وزن و بایاس قابل تنظیم هستند و تابع محرک نیز توسط طراح انتخاب می‌شود. بر اساس انتخاب f و نوع الگوریتم یادگیری، پارامترهای w و b تنظیم می‌شوند. یادگیری بدین معنی است که p و w طوری تغییر می‌کنند که رابطه ورودی و خروجی نرون با هدف خاصی مطابقت نماید. بلوک دیاگرام ۴.۱ نیز مدل یک نرون چند ورودی را نشان می‌دهد، این مدل به عنوان مبنای طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به صورت ریاضی، می‌توان یک نرون k را با زوج معادلات زیر توصیف نمود:

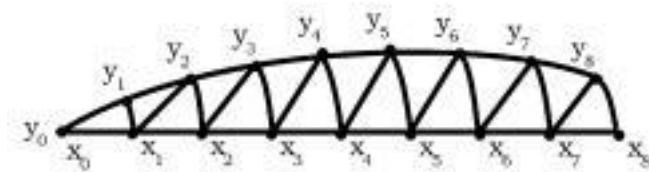
تابع خطی در شکل ۵.۱ نمایش داده شده است. اهمیت جمله‌ی بایاس b را در شکل می‌بینیم. پاسخ نرون، a برحسب ورودی p رسم شده است، جمله بایاس b موجب جابجایی منحنی در فضای ورودی می‌گردد و عبارتی موجب می‌شود نرون به زیرفضایی از فضای ورودی متمایل گردد که خود انتخاب کلمه بایاس را برای پارامتر b توجیه می‌کند. قرار دارد که در حالت اخیر تابع را تابع محرک آستانه‌ای دو مقداره متقارن گویند. در فصل چهارم به‌طور مفصل توضیح داده خواهد شد، اشاره نمود.



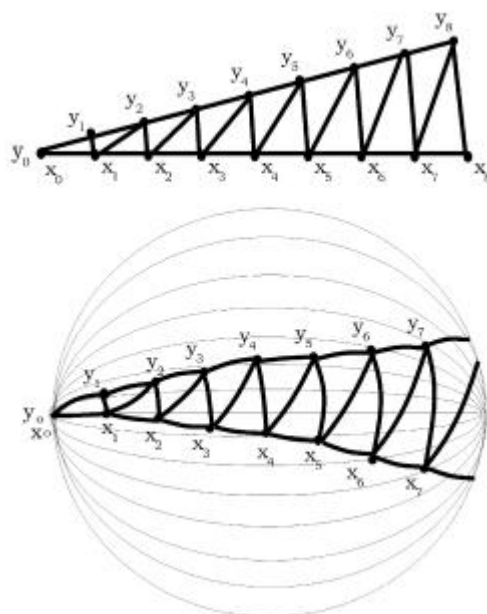
شکل ۵.۱: تابع محرک خطی



شکل ۶.۱: تابع محرک آستانه‌ای



شکل ۷.۱: تابع محرک سیگموئید لگاریتمی



شکل ۸.۱: بلوک دیاگرام یادگیری با معلم

۳.۱ ویژگی‌های شبکه‌های عصبی

واضح است که شبکه‌های عصبی، توان محاسباتی خود را اول از ساختار موازی و توزیع شده و دوم از توانایی‌اشان برای یادگیری و تعمیم دادن به دست می‌آورند. این دو توانایی پردازش اطلاعات باعث شده‌اند تا شبکه‌های عصبی قابلیت حل مسائل پیچیده را داشته باشند. شبکه‌های عصبی به دلیل دارا بودن ویژگی‌های زیر بسیار مورد توجه هستند [؟]: هدف آن این است که شبکه عصبی بتواند از معلم تقلید کند.

[یادگیری بدون معلم یا خودسازمانده:]^۶

در یادگیری بانظارت، فرایند یادگیری تحت کنترل و سرپرستی یک معلم صورت می‌گیرد. اما، در گونه‌ی دیگری که یادگیری بدون معلم نامیده می‌شود، از معلم خارجی برای انجام فرایند یادگیری استفاده نمی‌شود. پارامترهای شبکه عصبی تنها توسط پاسخ سیستم اصلاح و تنظیم می‌شوند. به عبارتی تنها سیگنال دریافتی از محیط به شبکه را بردارهای ورودی تشکیل می‌دهند. یک معیار سنجش کیفیت مطلوب در یادگیری شبکه استفاده شده و پارامترهای

آزاد شبکه با توجه به آن معیار تنظیم می‌شوند. [یادگیری با ارزیابی یا تقویت یافته:]^۷ در این روش یادگیری مانند روش یادگیری با نظارت نیاز به یک معلم می‌باشد. اما در این روش معلم تعیین نمی‌کند که خروجی واقعی چه اندازه با خروجی مطلوب تفاوت دارد بلکه مشخص می‌کند که خروجی واقعی همان خروجی مطلوب است یا خیر. در حین آموزش ورودی به شبکه اعمال شده، پاسخ خروجی محاسبه می‌شود در این‌جا معلم، تعیین‌کننده‌ی خروجی هدف نمی‌باشد، بلکه نشانه قبول یا رد می‌باشد. نشانه قبول بیان می‌کند که خروجی واقعی همان خروجی مطلوب است و نشانه رد، بیانگر مغایرت این دو است. در صورت عدم تطابق خروجی مطلوب و واقعی، شبکه، پارامترهای خود را به طور مکرر تعدیل می‌نماید تا به خروجی مطلوب برسد.

در واقع در این نوع یادگیری، به جای فراهم نمودن جواب واقعی به شبکه یک عدد که نشانگر میزان عملکرد شبکه است ارایه می‌شود. این بدین معنی است که اگر شبکه عصبی پارامترهایش را به گونه‌ای تغییر داد که منجر به یک حالت مساعد شد آنگاه تمایل سیستم یادگیر جهت تولید آن عمل خاص تقویت یا تشدید می‌شود.

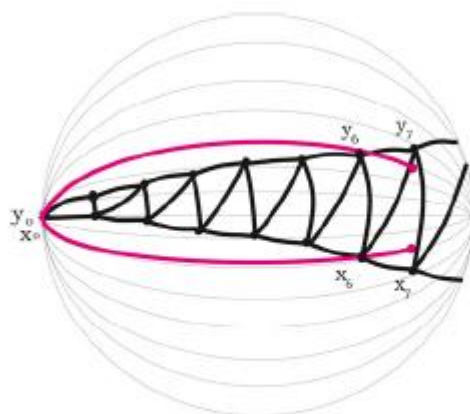
شبکه‌های تک لایه‌ی پیش‌خور یا بدون بازخورد:^۸ در لایه‌بندی شبکه‌های عصبی نورون‌ها در قالب لایه‌ها سازمان‌دهی می‌شوند. در ساده‌ترین حالت لایه‌بندی شبکه، یک لایه‌ی ورودی از گره‌های مبدأ، که به لایه‌ی خروجی از نورون‌ها (گره‌های محاسباتی) تصویر می‌شوند، را داریم. به عبارت دیگر این شبکه اکیدا پیش‌خور و یا بدون دور است، که در شکل ۹.۱ نمایش داده شده است. به چنین شبکه‌ای، شبکه‌ی تک لایه گفته می‌شود. طراحی تک لایه به لایه‌ی خروجی از گره‌های محاسباتی اشاره می‌کند، ورودی از گره‌های مبدأ را به حساب نمی‌آوریم چون هیچ محاسباتی در این لایه انجام نمی‌شود.

شبکه‌های پیش‌خور می‌توانند کاملاً متصل باشند اگر هر نورون در هر لایه از همه‌ی نورون‌های لایه قبل ورودی گرفته باشد. اما، اگر بعضی از اتصالات سیناپتیکی حذف شده باشند، شبکه حاصل را متصل جزئی گویند.

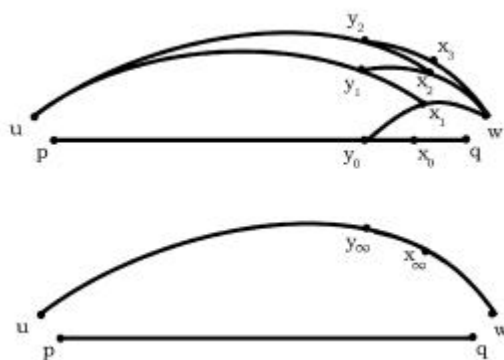
شبکه‌های پیش‌خور چند لایه:^۹ دومین کلاس از شبکه‌های عصبی پیش‌خور که خود را با یک یا چند لایه‌ی میانی متمایز می‌کنند، که نودهای محاسباتی، متناظر با نورون‌های میانی یا واحدهای میانی هستند. شکل ۱۰.۱ نمونه‌ای از این نوع شبکه را نمایش می‌دهد.

شبکه‌های عصبی پس‌خور:^{۱۰} تفاوت شبکه‌های پس‌خور و شبکه‌های پیش‌خور در این

^۷ Reinforcement
^۸ Networks Feedforward Single-Layer
^۹ Networks Feedforward Multilayer
^{۱۰} Networks Neural Backward



شکل ۹.۱: شبکه تک لایه پیش‌خور



شکل ۱۰.۱: شبکه عصبی پیش‌خور چند لایه با یک لایه میانی و یک لایه خروجی

است که در شبکه‌های پس‌خور، حداقل یک سیگنال برگشتی از یک نرون به همان نرون یا نرون‌های همان لایه و یا لایه قبل وجود دارد. دیاگرام؟؟ این نوع شبکه عصبی را نمایش می‌دهد. منظور از سیگنال تابع در شکل، همان سیگنال ورودی است که نرون به نرون در شبکه منتشر می‌شود و در انتهای شبکه به عنوان سیگنال خروجی ظاهر می‌شود. علت این‌که به آن سیگنال تابع می‌گویند این است که در هر نرون شبکه که سیگنال تابع عبور می‌کند، سیگنال به عنوان تابعی از ورودی‌ها و وزن‌های متناظر با آن‌ها محاسبه می‌شود. سیگنال‌های خطا: سیگنال خطا که از نرون خروجی شروع می‌شود و لایه به لایه در طول شبکه به عقب منتشر می‌شود.