طراحی سیستم کنترل بهینه انطباقی با استفاده از هوش مصنوعی (مورد مطالعه: خط تولید پالایشگاه قطران)

نظام‌الدین فقیه ■
استاد دانشگاه شیراز □□
مجیدرضا داوری ■
دانشجوی دکتری مدیریت دانشگاه تهران □□

چکیده
در این مقاله، مسأله کنترل بهینه تطبیقی یک پالایشگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا پس از استخراج مدل ریاضی و حل آن، نقطه کار بهینه پالایشگاه تعیین گردید. سپس پاسخهای بهینه مدل ریاضی به عنوان داده‌های آموزشی شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت و سرانجام یک شبکه عصبی حاصل شد که با دادن مقدار نیاز هر محصول به عنوان ورودی، سود آن محصول را به‌گونه‌ای به‌عنوان خروجی تحویل می‌دهد که با آن سود، نقطه کار بهینه پالایشگاه با ورودیهای جدید همچنان حفظ می‌شود. در این شبکه، مقادیری به عنوان ورودی به شبکه عصبی داده می‌شود و در خروجی مقدار خوراک و سودهای پیشنهادی محصولات ظاهر می‌گردد. سیستم طراحی شده به‌عنوان یک مشاور برای مدیران قابل استفاده است. اگر با قیمتها و مقدار خوراک پیشنهادی شبکه، سود پالایشگاه بیشتر از حالتی باشد که با قیمتهای متوسط و خوراک متوسط تولید می‌شود، می‌توان از خروجیهای شبکه استفاده کرد. در پایان با تحلیل آماری، احتمال برتری سیستم کنترل تطبیقی نسبت به کار در شرایط متوسط مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که این سیستم از کارایی قابل توجهی برخوردار است.

کلید واژه‌ها: شبکه‌های عصبی، کنترل بهینه انطباقی، برنامه‌ریزی خطی

۱. مقدمه
تصمیم‌گیری در فعالیتهای مدیریتی، اقتصادی و تولیدی نیاز به پردازش اطلاعات کمّی و دانش کیفی دارد. از دیر باز تلاش دانشمندان مدیریتی بر آن بوده تا همواره بتوانند با استفاده از تکنیکهای موجود علمی، مفاهیم کیفی را با توجه به مقادیر کمّی به یکدیگر پیوند زده، با تلفیق

این دو، معضلات سازمانها و مؤسسات را از میان بردارند [۱].

شبکه‌های عصبی و سیستمهای خبره ازجمله این تکنیکهایند که روشهایی را برای وارد کردن جنبه‌های کیفی اطلاعات ودانش در مسأله تصمیم‌گیری ارائه می‌دهند [۲]. در این تحقیق نیز سعی بر آن است که از این تکنیک (شبکه‌های‌عصبی) در بهینه سازی خط تولید پالایشگاه قطران استفاده شود.

پالایشگاه قطران یک واحد تولیدی است که قطران ذغال سنگ را به عنوان ورودی دریافت کرده، با پالایش آن، محصولات مفیدی همچون نفتالین، انواع قیر وروغنهای سبک،نیمه سنگین وسنگین تولید می‌کند. تا قبل از احداث این پالایشگاه درسال ۱۳۷۵ قطران حاصل از فرآوری ذغال‌سنگ در ذوب آهن به عنوان ضایعات به حوضچه‌های بازبیرون از کارخانه منتقل می‌گردید و در این حوضچه‌ها انبار می‌شد. این فرایند دارای دو نقیصه بزرگ بود: اولاً این ماده که یک ماده اقتصادی محسوب می‌گردد ضایع می‌شد و هیچ بهره‌ای از آن عاید نمی‌گردید و ثانیاً به منظور احداث حوضچه‌های جدید، هزینه سنگینی را بابت ذخیره به ذوب آهن اصفهان تحمیل می‌کرد.

از آنجا که بهینه سازی واحدهای تولیدی، از جمله این پالایشگاه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، در این تحقیق سعی شده که تولید این واحد از نظر سودهی در شرایط بهینه قرار گیرد. به این ترتیب، مسأله فعالیت درنقطه بهینه به ازای تغییر تقاضای مشتریان مورد توجه قرار گرفته است [۳].

در این تحقیق سعی گردیده که ابتدا یک مدل ریاضی برای تولید پالایشگاه قطران طراحی شود[۴] و شرایط بهینه تولید از نظر سوددهی محاسبه گردد. به عبارت دیگر، شرایطی فراهم شود که سود پالایشگاه در حداکثر مقدار ممکن باشد، یعنی با مشخص بودن قیمت فروش و قیمت تمام شده هر محصول، مقدار تولید محصولات به گونه‌ای تعیین شود که سود حداکثر باشد. لکن نکته مهم، نگهداری پالایشگاه در شرایط بهینه است؛ بدین صورت که با مشخص شدن میزان تقاضای هر محصول، قیمتهایی از طرف پالایشگاه به متقاضی پیشنهاد داده شود که پالایشگاه در آن میزان تولید، در نقطه بهینه خود باشد.

بدین ترتیب نه فقط تولید پالایشگاه به صورت بهینه کنترل می‌شود، بلکه کنترل آن از نوع تطبیقی است و با شرایط تطبیق حاصل می‌کند. از این رو، چنین ساز و کاری به عنوان «کنترل بهینه تطبیقی» شناخته می‌شود [۴]. سیستمهای خبره به صورت مجموعه‌ای از برنامه‌های کامپیوتریِ مبتنی بر روشهای هوش مصنوعی تعریف می‌شوند که به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری طراحی شده‌اند [۲]. همین تعریف درمورد شبکه‌های عصبی نیز صادق است [۲]. سیستمی که براساس یکی از دو راهکار سیستمهای خبره یا شبکه‌های عصبی ایجاد شده باشد

«سیستم هوشمند» خوانده می‌شود [۲].

شروع تحقیقات در مورد شبکه‌های عصبی به مقاله مک کلوچ و پیتز[1] در سال ۱۹۴۳ برمی‌گردد. در این مقاله نشان داده شد که به کمک شبکه‌های عصبی ساده می‌توان هرتابع ریاضی یا منطقی را محاسبه کرد. در سال ۱۹۴۹ هب [۵] درکتاب خود، روش یادگیری جدیدی را برای نرونها ارائه کرد. در سال ۱۹۵۸ اولین نروکامپیوتر به نام «پرسپترون» توسط روزنبلات [۵]ارائه شد.

هر شبکه عصبی یک سیستم پردازش موازی اطلاعات است که به فرم یک گراف جهت دار با مشخصات زیر نمایش داده می‌شود [۶]:

۱. گره‌های گراف را پردازنده‌های عصبی تشکیل می‌دهند واصطلاحاً به هر پردازنده «نرون» گفته می‌شود.

۲. رابطهای گراف را «اتصالات شبکه» می‌نامند. هر اتصال شبیه یک کانال یکطرفه حامل سیگنال عمل می‌کند. انتقال در کانال به صورت لحظه‌ای انجام می‌گیرد وکانال دارای تأخیر نیست و هر اتصال دارای یک وزن است که روی سیگنال عبوری از کانال تأثیر می‌گذارد.

۳. هر نرون می‌تواند به میزان دلخواه ورودی داشته باشد. این ورودیها ازطریق اتصالات ورودی (سیناپسها)[2] به نرون وارد می‌شوند.

۴. هرنرون می‌تواند سیگنال خروجی خود را به انشعابات متعدد تقسیم کند. سیگنال انتخابی در تمام این انشعابات یکسان و برابر با سیگنال خروجی نرون است.

۵. نرونها می‌توانند دارای حافظه محلی باشند. وزن اتصالات ورودی به نرون و خروجی از نرون در زمانهای گذشته در صورت نیاز در این حافظه ذخیره می‌شوند.

شبکه‌ها انواع مختلفی دارند؛ از جمله شبکه‌های هاپفیلد، پرسپترون تک لایه، پرسپترون چند لایه، و شبکه همینگ [۷]. در این تحقیق، از شبکه پرسپترون چند لایه استفاده می‌گردد.

۲. مدل برنامه‌ریزی خطی برای فعالیتهای تولیدی پالایشگاه قطران

در این پروژه از برنامه ریزی خطی برای مدلسازی فعالیتهای تولیدی پالایشگاه قطران استفاده شده است.

در طراحی مدل توسط برنامه‌ریزی خطی باید تابع هدف را مشخص کرد. تابع هدف بیانگر هدفی است که مسأله دنبال می‌کند.

در این تحقیق، با توجه به ماهیت مسأله، تابع هدف را می‌توان سود سالانه پالایشگاه تعریف کرد که منظور بیشینه‌سازی آن است. این تابع، یک ترکیب خطی از میزان تولید تمام

1. Mcculloch & Pitts
2. symapse

محصولات برحسب تن است. این پالایشگاه دارای ۱۶ محصول عمده است که نام آنها همراه سود هر محصول بر حسب ریال بر کیلوگرم در جدول ۱ آمده است. بدیهی است که ضریب Ci (سودحاصل ازفروش یک کیلوگرم محصولi) از تفاضل قیمت فروش و قیمت تمام شده محصول iاُم به‌دست می‌آید.

جدول ۱ تعریف متغیرها وسود هریک از آنها

نام‌متغیر	شرح متغیر	میزان‌سود(ریال‌برکیلوگرم)
x_1	مقدار تولید نفتالین صنعتی	۹۰۰
x_2	مقدار تولید نفتالین خالص	۱۳۰۰
x_3	مقدار تولید قیرمخصوص آندآلومینیوم	۶۰۰
x_4	مقدارتولیدقیرالکترودگرافیتی	*-۱۲۰۰
x_5	مقدار تولید قیرتلقیح	-۱۲۰۰
x_6	مقدار تولید قیر سخت	۶۰۰
x_7	مقدار تولید قیر نرم	۵۰۰
x_8	مقدار تولید لعاب پوشش لوله‌های فلزی	۴۰۰
x_9	مقدار تولید آنتراسین	-۹۰۰
x_{10}	مقدار تولید روغن کروزوت	۰
x_{11}	مقدار تولید روغن کربولیک	۳۰۰
x_{12}	مقدارتولیدروغن‌جذب بنزول	-۹۰۰
x_{13}	مقدار تولید روغن استفنن	-۹۰۰
x_{14}	مقدار تولید روغن کربوزلیک	-۹۵۰
x_{15}	مقدار تولید روغن سبک	-۸۰۰
x_{16}	مقدارتولیدروغن‌مخلوط‌سنگین	۵۳۰

* علامت منفی بیانگر زیان محصول است.

** مقدار قطران ورودی را در کل سال می‌توان با I نمایش داد.

پس از بررسی نهایی، مدل برنامه ریزی خطی فعالیتهای تولید پالایشگاه قطران، با هدف به حداکثر رساندن سود آن، به صورت زیر مدلسازی گردید:

$$\begin{cases} z=\left[\sum_{i\in I} c_i x_i\right] + c_{۷}\left[x_{۷}-۰/۵x_{۸}\right] + c_{۹}\left[x_{۹}-۰/۱۵x_{۸}\right] + ۰/۷c_{۱۱}x_{۱۱} + ۰/۸c_{۱۲}x_{۱۲} \\ \text{تابع هدف} \\ I=\{۱,۲,۳,۴,۵,۶,۸,۱۰,۱۳,۱۴,۱۵,۱۶\} \end{cases}$$

محدودیتها

۱) $۰/۰۷f \le ۱/۰۲x_۱ + ۱/۰۷۴x_۲ < ۰/۰۹f$ محدودیت نفتالین صنعتی وخالص

۲) $۱۲۰۰ \le x_۶ \le ۲۰۰۰$ محدودیت قیر سخت

۳) $x_۸ \le ۱۰۰۰۰$ سقف لعاب پوششی

۴) $x_۷ - ۰/۵x_۸ \ge ۰$ برای تولید هر واحد $x_۸$ نیاز به ۵۰ درصد واحد $x_۷$ داریم

۵) $\sum_{i=۳}^{۷} \frac{x_i}{\beta_i} = ۰/۵۸f \qquad \beta_۳=\beta_۴=۰/۵۳ \qquad \beta_۵=۰/۵۴ \qquad \beta_۶=\beta_۷=۰/۵۸$

محدودیت تولید قیرها

۶) $x_۹ + x'_۹ = ۰/۰۲f$ محدودیت تولیدآنتراسین

۷) $x_{۱۰} + x'_{۱۰} = ۰/۱۲f$ محدودیت روغن کروزوت فروشی و انتقالی به $x_{۱۶}$

۸) $x_{۱۳} + x'_{۱۳} = ۰/۲f$ محدودیت روغن استفنن فروشی و انتقالی به $x_{۱۶}$

۹) $x_{۱۴} + x'_{۱۴} = ۰/۰۴f$ محدودیت‌روغن‌کربوزولیک‌فروشی و انتقالی به $x_{۱۶}$

$X'_{۱۴}$ و $X'_{۱۳}$ و $X'_{۱۰}$ و $X'_۹$ به ترتیب مقادیری از روغنهای سنگین هستند که در ترکیب روغن مخلوط قرار گرفته، با سود $C_{۱۶}$ به فروش می‌رسند.

محدودیت تولید روغن سنگین

۱۰) $x_{۱۶} = x'_۹ + x'_{۱۰} + x'_{۱۳} + x'_{۱۴} + ۰/۰۲x_۱ + ۰/۰۷۴x_۲ + ۰/۰۹۴x_۳ + ۰/۰۹۴x_۴ + ۰/۰۹۲x_۵ + ۰/۳x_{۱۱} + ۰/۲x_{۱۲}$

۱۱) $۰/۰۲f \le x_{۱۱} + x_{۱۵} \le ۰/۰۴f$ حداکثر وحداقل توان تولیدی روغن سبک

۱۲) $x_{۱۲} \le ۰/۱f$ حداکثرتوان تولیدروغن جذب بنزول

۱۳) $x_۹ - ۰/۱۵x_۸ \ge ۰$ برای تولید هر واحد به ۱۵ درصد نیاز است

۱۴) $\sum_{i=۹,۱۰,۱۳,۱۴} x'_i + \sum_{i=۱}^{۱۵} (x_i + y_i) \le f$ محدودیت کل ظرفیت تولید

محدودیت ضایعات شرکت

$$\text{۱۵)}\quad \begin{cases} y_1 = x_1 + ۰/۰۲x_1 + ۰/۰۲۱x_2 \\ y_2 = ۰/۰۵۳x_2 \\ y_i = \left[\dfrac{x_i - \beta_i}{\beta_i}\right] x_i \qquad i = ۳,۴,۵,۶,۷ \text{ ***} \\ y_i = ۰ \qquad i = ۸,۹,\ldots,۱۵ \end{cases}$$

y_i ضایعات ناشی از تولید x_i است.

پس از استخراج، مدل فوق توسط نرم‌افزار MATLAB حل گردید و پاسخهای بهینه به‌دست آمد. در شرایط عادی و زمانی که تقاضای خاصی برای محصولات اعلام نشده، پالایشگاه بر اساس قیمتهای هرکدام از محصولات اقدام به برنامه ریزی تولید می‌کند. در شرایطی هم ممکن است لازم باشد که پالایشگاه تولید خود را با تقاضای موجود تطبیق دهد که در این شرایط، مقدار مورد نیاز هر یک از محصولات توسط خریدار به پالایشگاه اعلام می‌شود. پالایشگاه نیز بر اساس این مقادیر، میزان خوراک مورد نیاز را محاسبه کرده، سرانجام قیمتهای پیشنهادی خود را به خریدار اعلام می‌کند. بنابراین بر حسب تقاضای خریدار، مقدار خوراک وقیمتهای پیشنهادی پالایشگاه تغییر می‌کند.

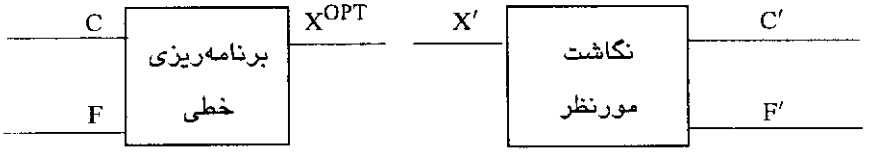
این تغییر آن چنان انجام می‌شود که با خوراک محاسبه شده و قیمتهای پیشنهادی، میزان تقاضای هر محصول و مقدار بهینه آن از لحاظ سود پالایشگاه محاسبه گردد. در واقع، این شیوه کار، کنترل بهینه تطبیقی پالایشگاه را تشکیل می‌دهد؛ زیرا پالایشگاه با توجه به تقاضای خریدار، خود را با شرایط تطبیق می‌دهد [۴]. اما نکته مهم اینکه تطبیق مزبور باید به گونه‌ای باشد که پالایشگاه در وضعیت بهینه خود باقی بماند. از این رو، تکنیک فوق، «کنترل بهینه تطبیقی» نامیده می‌شود.

۳. حل معکوس مدل با استفاده از شبکه‌های عصبی

پس از حل مدل باید با استفاده از مدل کنترل بهینه تطبیقی (مدل فوق الذکر) مدل را عکس حالت قبل حل کرد. در اینجا با داشتن مقدار هر محصول، سود ومقداری از خوراک را جستجو می‌کنیم که به ازای آنها، این مقادیر از محصولات بهینه باشند. به بیان دیگر اگر Ci سود فروش هر واحد از محصول اُم [c1 ,c2 ... c16] = C بردار سود همه محصولات، F خوراک پالایشگاه برحسب تن و همچنین $X^{opt}=X^{opt}(C,F)$ بردار شامل مقادیر بهینه هر کدام از محصولات به ازای سود C و خوراک F باشد، آنگاه به دنبال مقادیری از F' و C' هستیم که به ازای آن‌ها بتوان بردار دلخواه X را به صورت زیر بیان کرد:

$$X' = X^{opt}(C',F') \text{ ۲}$$

چنان که ملاحظه خواهد گردید، این مسأله در حالت کلی فاقد جواب تحلیلی و فرم بسته ریاضی است؛ اما توسط شبکه عصبی قابل حل است [۷،۸].



نمودار ۱ مقایسه حل مدل برنامه‌ریزی خطی و حل نگاشت معکوس

در واقع، اگر حل برنامه ریزی خطی به عنوان یک نگاشت درنظر گرفته شود که ورودی آن خوراک و سود باشد و خروجی آن، مقادیر بهینه محصولات، آنگاه باید معکوس این نگاشت را جستجو کرد. مسائلی شبیه این مسأله در مبحث کنترل سیستمها نیز وجود دارد. در آنجا یک سیستم که چند ورودی و چند خروجی دارد، مد نظر قرار می‌گیرد و هدف آن است که با توجه به خروجی، ورودی سیستم به‌دست آید. یکی از راهکارهایی که برای چنین مسائلی پیشنهاد شده و از موفقیت چشمگیری برخوردار است، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی است که توانایی آنها در مدلسازی معکوس یک سیستم نشان داده شده است[۹].

در واقع با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، بدون توجه به پیچیدگیها و میزان غیر خطی بودن نگاشت مورد نظر و فقط با تربیت شبکه به وسیله داده‌هایی که در اختیار است، می‌توان مسأله را حل کرد؛ ضمن اینکه توانایی شبکه عصبی در تعمیم، یعنی ارائه خروجی به ازای ورودیهایی که در مرحله آموزش مشاهده نگردیده‌اند، از نقاط قوت آن به شمار می‌رود[۱۰].

پس به طور خلاصه می‌توان روش کار را چنین توصیف کرد: ابتدا مقادیر مختلفی از C و F را به عنوان ورودی به برنامه خطی مورد نظر ارائه و به ازای هرکدام X^{OPT} متناظر آن را محاسبه می‌کنیم. سپس با استفاده از همین داده‌ها، شبکه عصبی آموزش می‌بیند؛ بدین صورت که X^{OPT} به ورودی شبکه (X') اعمال و سعی می‌شود که خروجی به F و C متناظر آن نزدیک گردد.

اگر حل برنامه ریزی خطی را به عنوان یک نگاشت از F و C به ازای X^{OPT} درنظر بگیریم، این نگاشت نه پوشا است، نه یک به یک و لذا فقدان این دو خاصیت منجر به بروز مشکلاتی در محاسبه معکوس این نگاشت می‌شود.

نگاشت برنامه ریزی خطی، پوشا نیست؛ یعنی هر بردار دلخواه از مقدار محصولات لزوماً مقدار بهینه محصولات به ازای یک F و C نیست؛ بدین توضیح که ممکن است به ازای هیچ F و C

جواب بهینه برنامه ریزی خطی برابر X نباشد. به بیان دیگر، مقدار X در ناحیه قابل قبول جواب قرار نمی‌گیرد. اما یک به یک نبودن برنامه‌ریزی خطی بدین معنا است که امکان دارد مقادیر مختلفی از F و C به یک جواب بهینه منجر شوند و اگر اختلاف این Fها و Cها با یکدیگر زیاد باشد، نمی‌توان در زمان آموزش شبکه به‌خوبی شبکه عصبی را آموزش داد.

البته نمی‌توان گفت که هرمسأله برنامه‌ریزیِ خطی فاقد خاصیت پوشایی است، ولی مسلم است که مسأله مورد بحث پوشا نیست؛ زیرا اگر شبکه عصبی را بدون توجه به خاصیت فقدان پوشایی آن تربیت کنیم، نمی‌توان هر بردار را به عنوان ورودی به آن اعمال کرد و انتظار خروجی صحیح داشت؛ چرا که اساساً معیار آموزش شبکه این نیست و شبکه با چنین ورودیهایی آموزش ندیده است. به بیان دیگر، ما در مرحله آموزش شبکه نمی‌توانیم هر X' را به شبکه داده F' و C' به‌دست آوریم و مجدد از طریق برنامه‌ریزی خطی، این F' و C' را وارد مدل برنامه‌ریزی خطی کرده X را استخراج کنیم؛ زیرا در این صورت، حل مدل آن قدر زمان‌بر می‌شود که دیگر امکان استفاده از شبکه به صورت کارا از ما سلب خواهد شد. از سوی دیگر اساساً ممکن است جوابی که شبکه به ما می‌دهد در نقطه‌ای باشد که فاقد پاسخ برنامه ریزی خطی است و از این بابت، دامنه و برد این تابع همدیگر را پوشش نخواهند داد و لذا این مسأله فاقد خاصیت پوشایی است.

با توجه به این مطلب باید درمرحله استفاده از شبکه عصبی، ابتدا یک پیش پردازش برروی X (مقدار محصولات پیشنهادی خریدار) انجام داد وسپس بردار حاصل به عنوان ورودی به شبکه عصبی اعمال شود که این موضوع در جای خود مورد بحث قرار خواهد گرفت. اما یک به یک نبودن نگاشت برنامه ریزی خطی بدین معنا است که امکان دارد مقادیر مختلفی از C و F به یک جواب بهینه یکتا منجر شود و اگر اختلاف این مقادیر(C و Fها) با یکدیگر زیاد باشد، نمی‌توان شبکه عصبی را به درستی آموزش داد؛ زیرا چند مقدار ورودی شبکه باید به چند مقدار از خروجی شبکه نگاشت شود و در مرحله آموزش، شبکه به اصطلاح «گیج» می‌شود. برای رفع مشکل این تدبیر اندیشیده شده که از میان تمام مقادیر C و F که به یک جواب منجر می‌شوند، فقط آن مقدار C و F برای تربیت به شبکه اعمال شود که مقدار سود به ازای آن بیشینه باشد. با این کار نه فقط بهینه بودن مقدار محصولات مورد توجه است، بلکه سود حاصل نیز اهمیت دارد.

باتوجه به عملکرد مناسبی که ازشبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه برای مدلسازی در این [۹] معکوس یک نگاشت (نگاشت معکوس)[1] گزارش شده [۸،۱۱،۱۲] تحقیق نیز از این شبکه استفاده شد که باتوجه به پیچیدگی مسأله، شبکه دارای دولایه پنهان است

1. inverse mapping

لایه ورودی دارای ۸ نرون است که بردار ورودی را دریافت کرده، به لایه پنهان تحویل می‌دهد. لایه پنهان اول دارای ۱۰ نرون و لایه پنهان دوم دارای ۲۰ نرون است و به علاوه ۱۷ نرون هم در لایه خروجی قرار دارد که ۱۶ تا مربوط به سود محصولات و یک نرون مربوط به مقدار خوراک پالایشگاه است.

تابع انتقال نرونهای لایه پنهان ازنوع سیگموئید وتابع انتقال نرونهای لایه خروجی از نوع خطی است [۲].

برای آموزش شبکه از الگوریتم معروف «پس انتشار خطا»[1] استفاده شد. همچنین معیار آموزش شبکه به حداقل رساندن مجموع توان دوم اختلاف خروجی و مقدار مطلوب نرونها است که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرد[۲،۱۳].

آنچه سرانجام عملکرد سیستم «کنترل بهینه تطبیقی»[2] را تعیین می‌کند، حداقل بودن فاصله بین بردار $X'^{opt}(C',F')$ و $T\ X^{opt}(C,F)$ است.

چنان که پیش از این بیان گردید، برای بالاتر بردن قابلیت اعتماد به خروجیهای شبکه عصبی باید یک مرحله پیش پردازش بر روی بردار ورودی اضافه شود. با توجه به این پیش محدودیتهای ذکر شده قبلی و بسته بودن حدود محصولات روی این X^6، X^7 و X^8 پردازش بر محصولات صورت گرفت.

۴. ارزیابی سیستم کنترل بهینه تطبیقی

سرانجام پس از تربیت شبکه واعمال داده‌های آموزشی که بالغ بر ۱۰۰۰ داده بود [۱۳] ارزیابی سیستم کنترل تطبیقی صورت گرفت. بدین منظور سیستم کنترل تطبیقی در برابر سیستم غیر تطبیقی (کار در شرایط عادی با خوراک وسود متوسط) مورد ارزیابی قرار گرفت. این مقایسه به ازای حالات بسیاری از تقاضای خریدار انجام شد. بدین منظور ۱۰/۰۰۰ داده به عنوان متغیرهای تصادفی تولید شد که هر کدام از این داده‌ها میزان تقاضای خریدار برای S_1 محصولات مختلف را نشان می‌داد. در نگاه اول باید سود حاصل از فروش محصولات در شرایط استفاده از کنترل تطبیقی با شرایط عادی مقایسه می‌شد. برای این کار دو مقدار سود و S_2 بر اساس نمودار ۲ و ۳ به ترتیب زیر محاسبه شد:

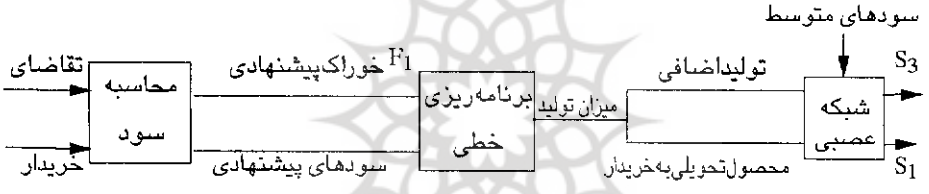
- S_1: ابتدا تقاضای خریدار وارد شبکه عصبی شده، در خروجی شبکه، مقادیر خوراک F_1 سودهای پیشنهادی شبکه محاسبه می‌گردد. با توجه به مقدار خوراک و سود، مدل برنامه‌ریزی خطی اجرا و مقدار بهینه تولید هر محصول به ازای مقادیر خوراک و سود پیشنهادی محاسبه می‌شود و به ازای هر محصول، اگر مقدار تقاضا بیشتر از مقدار تولید

1. baclpropagation
2. adaptive optimal control

باشد، تمام تولید به خریدار فروخته می‌شود واگر مقدار تولید بیشتر از تقاضا باشد، مازاد آن به‌عنوان تولید اضافی در نظر گرفته خواهد شد. آنگاه سود حاصل از فروش محصولات به در خریدار با سود پیشنهادی شبکه عصبی به عنوان S_1 نظر گرفته می‌شود.

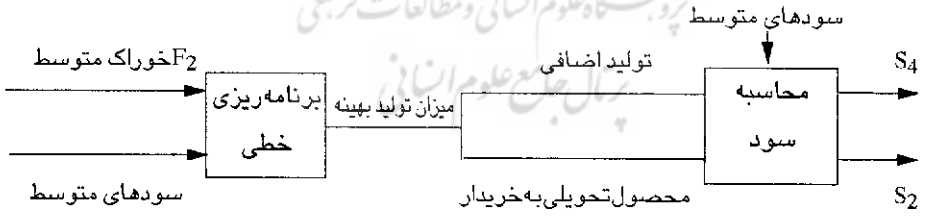
- S_2: دراین حالت، مدل برنامه ریزی خطی به ازای خوراک متوسط F_2 و قیمتهای متوسط حل شده، به طریق مشابه قبلی، S_2 نیز محاسبه می‌شود؛ با این تفاوت که S_2 سود حاصل از فروش تولید عادی با قیمت متوسط است. در شکل ۲ و ۳ دیاگرام بلوکی مربوط به محاسبه مقادیر S_1 و S_2 نشان داده شده است.

با مقایسه سود S_1 و S_2 تولید شده مشخص شد که فقط در ۶۳ درصد موارد $S_1 > S_2$ است و در ۳۷ درصد بقیه $S_2 > S_1$ است؛ اما با کمی بررسی مشخص شد که مقایسه S_1 و S_2 به عنوان سود حاصل از فروش به خریدار مورد نظر، ملاک حقیقی برای ارزیابی سیستم کنترل



نمودار ۲ دیاگرام بلوکی محاسبه S_3 و S_1

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



نمودار ۳ دیاگرام بلوکی محاسبه S_4 و S_2

تطبیقی نیست؛ زیرا تولید اضافی که به خریدار مورد نظر فروخته نمی‌شود، به دور ریخته نخواهد شده و باید سود حاصل از فروش این تولید اضافی را هم در مقایسه منظور داشت. به‌همین دلیل، مقادیر S_3 و S_4 به ترتیب به عنوان سود حاصل از فروش اضافی تولید در حالت کنترل تطبیقی و در شرایط عادی در نظر گرفته شد و برای مقایسه دو روش تولید، مقادیر

S_1+S_3 و S_2+S_4 باید با یکدیگر مقایسه شدند.

لازم به ذکر است که هر دو مقدار S_3 و S_4 به‌عنوان سود فروش با سود متوسط درنظر گرفته می شوند. پس از استفاده از این معیار مشخص شد که در برخی موارد $F_1>F_2$ و در بقیه موارد $F_1<F_2$. بدیهی است چنانچه $F_1>F_2$ باشد کوچکتر بودن S_1+S_3 نسبت به S_2+S_4 نمی‌تواند دلیل بر ضعف سیستم کنترل تطبیقی باشد؛ زیرا با خوراک کمتر، سود کمتری حاصل می‌شود. همین طور اگر $F_1 < F_2$ باشد، بزرگتر بودن S_1+S_3 نسبت به S_2+S_4 دلیل برتری کنترل تطبیقی نیست.

برای اینکه این مقایسه دقیقتر انجام شود، حالت $F_1<F_2$ و $F_1>F_2$ از یکدیگر تفکیک شدند و در هر حالت، مقایسه متفاوتی به صورت زیر انجام گرفت:

اگر $F_2<F_1$ باشد باید سود حاصل از فروش تولید به ازای خوراک F_1-F_2 که آن را با S_6 نمایش می‌دهیم، به مقدار S_4+S_2 اضافه شود و آنگاه S_3+S_1 با $S_2+S_4+S_6$ مقایسه گردد.

همچنین در حالتی که $F_1<F_2$ باشد باید سود حاصل از فروش تولید به ازای خوراک F_2-F_1 (یعنی S_5) به مقدار S_4+S_2 اضافه و آنگاه با S_4+S_2 مقایسه شود.

پس به طور خلاصه، منصفانه‌ترین روش مقایسه دو شیوه کنترل تطبیقی و کار در شرایط عادی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد.

۱. اگر $F_1>F_2$ باشد باید $S_2+S_4+S_6$ را با S_1+S_3 مقایسه کرد.

۲. اگر $F_1<F_2$ باشد باید S_4+S_2 را با $S_1+S_3+S_5$ مقایسه کرد.

با این روش ۱۰/۰۰۰ داده آزمایشی که شبیه داده‌های آموزشی شبکه تولید شدند، مورد آزمایش قرار گرفتند که نتایج زیر به‌دست آمد:

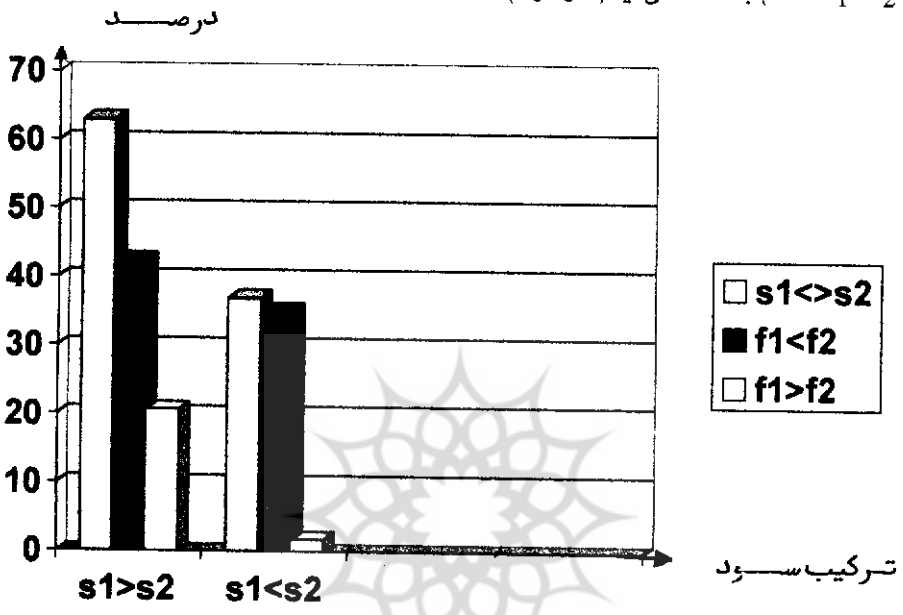
۱. در ۶۳ درصد موارد $S_1>S_2$ و در ۳۷ درصد بقیه $S_2>S_1$ به دست آمد، در حالی که $F_1<F_2$ بود.

۲. در ۶۶ درصد موارد که $S_2>S_1$ بود $F_2>F_1$ به‌دست آمد که همگی در شرط $S_1+S_3+S_5>S_2+S_4$ صدق می‌کردند. همچنین در تمام مواردی که $F_2>F_1$ بود، $S_1+S_3>S_2+S_4+S_6$ به‌دست آمد. بنابراین در کلیه حالاتی که $S_2>S_1$ بود، کنترل تطبیقی عملکرد بهتری نسبت به کار در شرایط عادی نشان داد.

۳. در ۹۵ درصد حالاتی که $S_2>S_1$ بود، شرط $F_2>F_1$ نیز صدق می‌کرد و در تمام این موارد $S_1+S_3+S_5>S_2+S_4$ بود.

۴. اما در ۵ درصد از حالاتی که $S_2>S_1$ بود، شرط $F_2<F_1$ نیز برقرار بود. در تمام این موارد $S_1+S_3<S_2+S_4+S_6$ حاصل شد. با توجه به موارد فوق، عدم موفقیت سیستم کنترل

تطبیقی تقریباً ۲ درصد بود که از حاصلضرب ۳۷ درصد (کل مواردی کـه $S_1<S_2$ بـود) و ۵ درصد (کل حالاتی که $S_1<S_2$ است و $F_1>F_2$باشد) و ۱۰۰ درصد (حالاتی که هم $S_1<S_2$ و هم $F_1>F_2$ است) به‌دست می‌آید (نمودار ۴).



نمودار ۴ خلاصه نتایج

به این ترتیب، کنترل تطبیقی اجرا شده در ۹۸ درصد موارد می‌تواند بهتر از شرایط عادی پالایشگاه عمل کند که این به خوبی بیانگر تواناییهایی بالقوه سیستم شبکه عصبی برای کاربرد در برنامه‌ریزی تولید است که راه را برای محققان آتی و نیز بهره‌گیری از آن در صنعت بـاز می‌کند.

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، هدف، شبیه سازی یک سیستم کنترل تطبیقی بهینه برای پالایشگاه قطران بود. ابتدا با مصاحبه‌ها و مذاکراتی که با متخصصان پالایشگاه انجام گرفت سعی شد مدلی برای آن طراحی شود. بسپس با توجه به خطی بودن محدودیتها و نوع تابع هدف، بـرنامه‌ریزی خـطی برای طراحی مدل به کار رفت و برای پیاده سازی سیستم، شبکه عصبی به‌کار گرفته شد. آنگاه با استفاده از مدلسازی معکوس، سیستمی طراحی شد که بتواند به عنوان مشـاور مـدیریت، مدیران را در برآورده کردن نیازهای متقاضیان محصول با ضریب اطمینان ۹۸ درصد یاری

کند و در عین حال، هدف اصلی که حفظ نقطه بهینه و منافع شرکت - اعم از سود و رضایت نسبی مشتری - بود نیز کسب گردد.

در پایان ذکر این نکته ضروری است که این تحقیق می‌تواند به محققان علاقه‌مند به کارگیری مفاهیمی این چنین در حیطه مدیریت و کاربردی کردن آنها کمک کند. امیدواریم که این محققان بتوانند نقاط ضعف و محدودیتهای این تحقیق را برطرف کرده، به نتایجی بهتر دست یابند.

۶ منابع

[1] Cookes, Steves *et al, Making Management Decision,* 2nd ed, 1991.

[2] Zahedi, F, *Intelligent Systems for Business, Expert Sytems with Neural Network,* Worth Publishing Co., 1993, PP. 4-12.

[۳] گزارش توجیه اقتصادی احداث پالایشگاه قطران، اصفهان، ۱۳۶۰.

[4] Wooju, Kim and Lee Jae, *Neural Network Based Adaptive Optimal Controller on Optimization Models,* Decision Support Systems ,1996, PP. 43-62.

[۵] منهاج، محمدباقر، مبانی شبکه‌های عصبی ۱، تهران، مرکز نشر پرفسور حسابی، ۱۳۷۷، ص ۳۰-۲۷.

[6] Nielsen ,F. Hecht, *Neuro Computing,* Addision Wesley, New York, 1990.

[7] Medsker E. Turban and R. Trippi, *Neural Network Fundamentals for Financial Analysts,* Probus Publishing Co., 1993, PP. 3-27.

[8] Deif. H. M. and J. M. Zurada, *Inverse Mapping of Continuous Function Using Feedforward Neural Network,* In Proceeding of the 1997 International IEEE Conference on Neural Networks, June 1997, PP. 744-748.

[9] Gan, W.S, *Applications of Neural Networks to Ocean Acoustic Proceeding of Oceans*, 1991, PP. 1707-1712.

[10] Stephan,Y, *Neural Inversion of Gastom* ,in Tomographic Proceedings of Oceans, 1990, PP.656-659 .

[11] Malinowski, A. Cholewo and T. J. Zurad, *Inverse Mapping with Neural Networks for Control of Nonlinear Systems*, Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 1996, PP. 454-457.

[12] Zurada, J. M. and A. Lozowski, *Yield Improvement Far Gaas I C Manufacturing Using Neural Network Inverse Modeling*, in Proceeding of the 1997 International IEEE Conference on Neural Networks, june 1997,Vol. 2. pp 800 - 805.

[13] Lawrence , Steve, Lee Giles, Tsoi and Ah Chung, " What Size Neural Network Gives Optimal Generalization? Convergence Properties of Backpropagation ", *Technical Repoprt UMIAC S* - TR -96-22 AND CS -TR-3617, Institute for Advanced Computer Studies , University of Maryland College Park MD 20742, August 1996.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی