

کاربرد یادگیری ماشینی برای پیش بینی راه حل های پیچیده تو در تو در برنامه ریزی سلسله مراتبی

مهدی بهرامی^۱

یعقوب علوی متین^۲

سلیمان ایران زاده^۳

(تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۷/۹ - تاریخ تصویب ۱۴۰۳/۹/۳)

نوع مقاله: علمی پژوهشی

چکیده

امروزه با توجه به لزوم کاهش هزینه ها و افزایش بهره وری همواره شاهد ظهور روشهای جدیدی در زمینه مدیریت تولید و عملیات هستیم، برنامه ریزی تولید سلسله مراتبی نیز به عنوان یکی از این روشها مطرح است که در طی چند دهه گذشته تحقیقات قابل توجهی در رابطه با آن صورت گرفته است.، بنابراین تحقیق حاضر به دنبال کاربرد یادگیری ماشینی برای پیش بینی راه حل های

۱- دانشجوی دکتری، گروه رشته مدیریت صنعتی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

۲- دانشیار، دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، ایران (نویسنده مسئول) Alavimatin@iut.ac.ir

۳- استاد تمام، دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، ایران

پیچیده تو در تو در برنامه ریزی سلسله مراتبی می باشد، این پژوهش از لحاظ هدف، پژوهشی کاربردی است و از نظر روش، از نوع همبستگی و نحوه ی گردآوری داده ها، این پژوهش توصیفی- تحلیلی است و از مطالعات کتابخانه ای جهت جمع آوری اطلاعات استفاده شده است. پژوهش های توصیفی به بررسی شرایط موجود جهت شناخت بیشتر به منظور کمک به فرآیند تصمیم گیری مورد استفاده قرار می گیرند. جامعه آماری تحقیق حاضر شرکت فولاد مبارکه اصفهان می باشد. با توجه به اینکه داده های تحقیق کمی است. استخراج داده ها از اسناد و مدارک موجود صورت می گیرد. در نتیجه نمونه مورد مطالعه داده های مربوط به عملکرد تولید، هزینه و مالی در سال های ۱۳۹۵-۱۳۹۹ می باشد. نمونه گیری در این پژوهش هدفمند می باشد. جهت جمع آوری اطلاعات در این تحقیق از روش های کتابخانه ای و میدانی استفاده گردید. از مطالعات کتابخانه ای به عنوان شالوده ای جهت تدوین چارچوب نظری تحقیق استفاده شد و از روش میدانی نیز جهت دریافت اطلاعات شرکت فولاد مبارکه بهره گرفته شد.

واژه های کلیدی: یادگیری ماشینی، پیش بینی راه حل ها، برنامه ریزی، سلسله مراتبی.

۱. مقدمه

در سال های اخیر رقابت بین شرکت های تولیدی در رابطه با ارائه کالاها و محصولات مورد نیاز مشتریان در حال افزایش است، در زمان حاضر مشتریان تمایل به دریافت کالاهای مورد نیاز خود در حداقل زمان و با کم ترین هزینه ممکن را دارند. در این میان شرکت هایی که بتوانند هزینه های خود را کاهش دهند و درعین حال کالاها را در زمان کمتر و بدون تأخیر به مشتریان خود تحویل دهند از توانایی جذب تعداد بیشتری از مشتریان برخوردار هستند، از این رو می توان گفت برنامه ریزی و زمانبندی تولید نسبت به گذشته اهمیت روزافزونی یافته است و امروزه تأثیر بسزایی در کسب مزیت رقابتی برای شرکت ها دارد. این پژوهش در سه محور برنامه ریزی تولید سلسله مراتبی، برنامه ریزی مالی و شرایط عدم قطعیت مورد بحث قرار می گیرد که در ادامه به آن پرداخته می شود (لطفی، ۱۳۹۰). در برنامه ریزی تولید و زمان بندی باید با توجه به هماهنگی بخش های مختلف تولید مانند بخش تولید، بخش مالی و حسابداری، بخش بازاریابی و فروش، بخش انبار و تدارکات و غیره تصمیماتی به منظور حل مسائل مختلف گرفته

شود (شباهنگ، ۱۳۸۶). این هماهنگی اغلب در برنامه‌های ایجاد شده وجود ندارد که باعث می‌شود برنامه‌های تهیه شده هنگام اجرا با مشکلاتی روبرو شوند. از این رو با توجه به ساختار سازمانی که در شرکت‌ها وجود دارد، در هر یک از سطوح سازمان تصمیماتی در رابطه با برنامه تولید شرکت گرفته می‌شود به صورتی که تصمیمات کلی تر در مورد میزان تولید، میزان فروش، سطوح اضافه کاری و غیره در طول یک سال بر مبنای خط مشی بلندمدت و سیاست‌های سازمان توسط مدیران ارشد گرفته می‌شود. حالآنکه در هر دوره ماهانه، هفتگی و در نهایت روزانه برنامه تولید به چه صورت باشد تا هزینه‌ها حداقل گردد و بتوان حداکثر تقاضای بازار را پاسخگو بود، در سطوح بعدی ساختار سازمانی گرفته می‌شود به نحوی که برنامه‌های جزئی تر توسط مدیران تولید و سرپرست‌ها تهیه می‌شود. بنابراین تهیه برنامه‌هایی که نظرات مدیران در سطوح مختلف در آن لحاظ شده باشد و ساختار سلسله مراتبی آن از انعطاف‌پذیری لازم برخوردار باشد اهمیت دارد (ینرادی و پیلمان‌تورن، ۲۰۱۱).

مسئله‌ای که گاهی موجب ایجاد مشکل می‌شود، عدم هماهنگی در تصمیمات گرفته شده بین بخش مالی و حسابداری و بخش برنامه ریزی می‌باشد به عبارت دیگر واحد برنامه ریزی تولید با تهیه برنامه ادغامی به تعیین میزان تولید محصولات در هر دوره، میزان خرید مواد اولیه در هر دوره، تعیین تعداد نیروی کار و میزان اضافه کاری و غیره باهدف کاهش هزینه‌ها می‌پردازد اما با توجه به اینکه سازمان دارای سرمایه و بودجه تولید محدودی است لذا ممکن است تصمیماتی که از طرف واحد برنامه ریزی گرفته می‌شود در عمل بدلیل محدودیت‌های مالی شرکت قابل پیاده سازی نباشند به عنوان مثال با توجه به برنامه ادغامی واحد برنامه ریزی تولید، در دوره‌ای تصمیم به بکارگیری نیروی انسانی، خرید مواد اولیه برای دوره‌های بعدی و غیره با هدف حداقل نمودن هزینه‌ها را دارد اما از طرفی ممکن است هزینه اجرایی نمودن این تصمیمات حتی با تأمین مالی از طریق وام و به رهن گذاشتن حسابهای دریافتی در آن زمان از میزان بودجه بخش تولید بیشتر بوده و قابلیت اجرایی نداشته باشد. با توجه به این موضوع هدف ما این است که مدل برنامه ریزی ادغامی تولیدی را به نحوی توسعه دهیم تا ضمن حداکثر نمودن ارزش فعلی نقدینگی شرکت در هر دوره که در واقع به نحوی سود شرکت را حداکثر می‌کند، محدودیت بودجه شرکت را نیز در اخذ تصمیمات خود لحاظ نماییم (سایتومبول و

اقازاف، ۲۰۱۱). در بازدیدهای به عمل آمده از تعدادی از شرکت های تولیدی مشاهده گردید که به دلیل تغییراتی که در عمل در تقاضای محصولات و ظرفیت تولید در دسترس در دوره های مختلف اتفاق می افتد، موجب تغییرات پی در پی در برنامه تولید می گردد که این امر باعث ایجاد عدم هماهنگی بین تصمیمات گرفته شده در سطوح مختلف و آشفتگی کل سیستم می گردد. با توجه به آنچه در واقعیت رخ می دهد، تقاضای محصول در دوره های مختلف را نمی توان به طور قطعی و دقیق تعیین نمود به همین دلیل با توجه به ماهیت آن به صورت احتمالی در نظر می گیریم و از طرف دیگر منابع در دسترس شامل نیروی انسانی یا تجهیزات به دلایل مختلفی مثل غیبت نیروی انسانی، خرابی ماشین آلات و دستگاه ها، خرابی ابزارآلات و غیره دارای ماهیت غیرقطعی است و دارای کارایی و کاربری کامل نمی باشند، بنابراین با استفاده از سوابق و داده های گذشته که در مورد کارایی و کاربری منابع تولید در دسترس است می توان با توجه به ماهیت تصادفی آنها، میزان منابع تولیدی در دسترس در هر دوره را با استفاده از یک توزیع احتمال شناخته شده مشخص نمود تا موجب افزایش ثبات و یکنواختی برنامه ها گردد و در عمل قابلیت پیاده سازی داشته باشد. از طرف دیگر، با توجه به تحقیقات انجام شده در این زمینه، بیشتر مدل های سلسله مراتبی ارائه شده تصمیمات گرفته شده در سطوح بالاتر به صورت محدودیت های قطعی به سطوح پایین تر اعمال می شوند، فرض کردن این پارامترها به صورت دقیق باعث می شود که نتیجه بدست آمده موجه نبوده و در عمل قابل پیاده سازی نباشد. به منظور افزایش انعطاف پذیری در مدل و همچنین تعیین تصمیمات بهینه با توجه به خط مشی مدیران در رابطه با سطح خدمت دهی به مشتریان می توان از برنامه ریزی شانس استفاده نمود. به همین منظور در این پایان نامه هدف ما ایجاد یک مدل برنامه ریزی سلسله مراتبی دو سطحی با استفاده از برنامه ریزی احتمالی است تا بتوان علاوه بر تهیه ی برنامه هایی باثبات و هماهنگ نمودن تصمیمات در سطوح مختلف، سودآوری شرکت را حداکثر نموده و از طرف دیگر بتوان رضایت مشتریان را با تأمین به موقع تقاضای آنان برآورد (ترابی و همکاران، ۲۰۱۰).

با توجه به اینکه داده های بدست آمده از تحقیق حاضر داده های شرکت فولاد مبارکه اصفهان می باشد. نتایج تحقیق حاضر می تواند برای فولاد مبارکه اصفهان حائز اهمیت باشد. شرکت فولاد مبارکه اصفهان، بزرگ ترین واحد صنعتی خصوصی در ایران و بزرگ ترین مجتمع تولید فولاد در کشور ایران است، که در جنوب شهر کرکوند و جنوب غربی شهر مبارکه قرار دارد.

فولاد مبارکه هم‌اکنون محرک بسیاری از صنایع بالادستی و پایین‌دستی است. در همین جهت تحقیق حاضر به خاطر توجه به یک شرکت مهم می‌تواند به صورت مستقیم و غیر مستقیم بر عملکرد صنعت فولاد تاثیر داشته باشد، در همین جهت به خاطر توجه ویژه‌ای این تحقیق به یک صنعت بزرگ حائز اهمیت و ضرورت است.

مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده که به چند مورد آن اشاره می‌کنیم:

- رحمانی و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهش یک مدل استوار برای مسئله برنامه‌ریزی تولید با در نظر گرفتن ظرفیت در یک محیط چند محصولی، چند دوره‌ای و با سیستم تولید دومرحله‌ای ارائه می‌شود. در این مدل هزینه‌های مرتبط با تولید و نیز تقاضای مشتریان احتمالی در نظر گرفته می‌شود و از یک مدل استوار برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط به منظور برنامه‌ریزی استفاده شده است و هدف حداقل نمودن مقدار متوسط و واریانس کل هزینه‌های مؤثر بر برنامه است.

- سایتومبول و آقا‌زاده (۲۰۱۱)، در پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی دو سطحی به منظور مدل سازی یکپارچه برنامه‌ریزی تولید و تعمیرات و نگهداری ارائه می‌گردد، در سطح اول برای خانواده محصولات در طول یک افق سالانه با دوره‌های ماهانه برنامه تولید ادغامی تهیه می‌شود، در این سطح ماشین‌آلات به عنوان یک خط تولید واحد ادغام می‌شوند که به صورت پیشگیرانه تعمیر و نگهداری می‌گردند و هدف حداقل نمودن هزینه‌های تولید، نگهداری موجودی، راهاندازی و هزینه تعمیرات و نگهداری می‌باشد. در سطح دوم (برنامه جزئی) میزان تولید محصولات نهایی مرتبط با هر خانواده محصول تعیین می‌شود، در این سطح تابع هدف حداقل نمودن تقاضای برآورد نشده و متوسط انحراف مطلق میزان تولید محصولات نهایی مربوط به یک خانواده و مقادیر تعیین شده توسط برنامه ادغامی است. همچنین می‌توان مدلی یکپارچه به منظور برنامه ریزی تولید با در نظر گرفتن برنامه‌های واحد بازاریابی و فروش با هدف حداکثر نمودن سود انجام داد.

- بنگ و کیم (۲۰۱۰)، در تحقیقی یک مدل برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی برای استفاده در صنایع تولید بردهای مجتمع نیمه هادی، در دو سطح ارائه می‌شود. در سطح اول یک مدل خطی برای برنامه ریزی تولید ادغامی و در سطح دوم (سطح شکست) یک مدل جزئی تر با هدف

گرفتن تصمیمات عملیاتی با استفاده از روش های زمان بندی مبتنی بر قواعد اولویت بندی معرفی می شود و با استفاده از شبیه سازی به ارزیابی برنامه ارائه شده پرداخته می شود و در نهایت از یک رویکرد تکرارشونده برای رسیدن به برنامه موجه استفاده می گردد. در این مقاله تابع هدف مدل شامل حداقل نمودن هزینه های نگهداری موجودی، هزینه تولید و هزینه سفارش های معوق می باشد و تقاضا و ظرفیت قطعی در نظر گرفته می شوند که در شرایط واقعی بدلیل وقوع اتفاقات غیرمنتظره باعث تغییر برنامه ها می گردد که اگر این تغییرات زیاد رخ دهند باعث تغییر مکرر برنامه ریزی می شود.

- وو و ایراپرتیتو (۲۰۰۷)، در تحقیقی به منظور برنامه ریزی سلسله مراتبی در حالت تولید پیوسته، مدلی دو سطحی با استفاده برنامه ریزی احتمالی چند مرحله ای ارائه شده است. در سطح ادغامی برای تقاضا سناریوهایی را در هر مرحله با استفاده از توزیع گسسته تهیه می شوند و هدف مدل حداقل نمودن هزینه های عملیاتی، هزینه نگهداری موجودی، هزینه کمبود و هزینه مواد اولیه می باشد و در سطح دوم یک مدل توالی عملیات با هدف حداقل نمودن هزینه های عملیاتی، هزینه موجودی، کمبود، مواد اولیه و جریمه انحراف از مقادیر تولید تعیین شده توسط مدل سطح ادغامی ارائه می شود. در این مقاله محدودیت ظرفیت نیز در نظر گرفته می شود اما راهکاری برای عدم قطعیت در ظرفیت تولید که ناشی از خرابی یا توقف های ناگهانی ماشین آلات یا غیبت نیروی انسانی است، در نظر گرفته نمی شود. به منظور ارتباط دوره های مختلف از سیاست افق غلطان استفاده می شود و با استفاده از یک رویکرد بازگشتی سطوح به یکدیگر مرتبط می شوند.

۲. اهداف پژوهش:

-هدف اصلی

بکارگیری یادگیری ماشینی در برنامه ریزی سلسله مراتبی بمنظور بهبود عملکرد سیستم تولید

- اهداف فرعی

- تعیین تأثیر محدودیت های مالی و هزینه در تهیه برنامه تولید شرکت بمنظور بهبود عملکرد سیستم تولید.

- تعیین میزان سطح اطمینان موردنظر مدیران و کارشناسان در ارتباط با تصمیمات اتخاذ شده بمنظور بهبود عملکرد سیستم تولید.

- تعیین ساختار سلسله مراتبی در تهیه برنامه‌های کاربردی بمنظور بهبود عملکرد سیستم تولید.

۳. روش شناسی تحقیق

این پژوهش از لحاظ هدف، پژوهشی کاربردی است و از نظر روش، از نوع همبستگی و نحوه‌ی گردآوری داده‌ها، این پژوهش توصیفی-تحلیلی است و از مطالعات کتابخانه‌ای جهت جمع‌آوری اطلاعات استفاده شده است. پژوهش‌های توصیفی به بررسی شرایط موجود جهت شناخت بیشتر به منظور کمک به فرآیند تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جامعه آماری تحقیق حاضر شرکت فولاد مبارکه اصفهان می‌باشد. با توجه به اینکه داده‌های تحقیق کمی است. استخراج داده‌ها از اسناد و مدارک موجود صورت می‌گیرد. در نتیجه نمونه مورد مطالعه داده‌های مربوط به عملکرد تولید، هزینه و مالی در سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۹ می‌باشد. نمونه‌گیری در این پژوهش هدفمند می‌باشد.

جهت جمع‌آوری اطلاعات در این تحقیق از روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی استفاده گردید. از مطالعات کتابخانه‌ای به عنوان شالوده‌ای جهت تدوین چارچوب نظری تحقیق استفاده شد و از روش میدانی نیز جهت دریافت اطلاعات شرکت فولاد مبارکه بهره گرفته شد.

۴. نتایج و تجزیه و تحلیل یافته‌ها

مراحل اجرای الگوریتم C۴.۵ در این تحقیق:

- **پیش‌پردازش داده‌ها:** در ابتدا، داده‌های ورودی پیش‌پردازش می‌شوند. این داده‌ها شامل تقویم کارخانه، برنامه تولید سالانه، موجودی خطوط، پیش‌بینی سفارشات، حداقل تولید ماهانه هر خانواده محصول در هر خط، توان تولید هر خط، سطح بهینه هر انبار، قسمت محصولات، هزینه‌های مواد اولیه و تولید و خرید محصولات، و سیکل‌های تولید محصولات می‌باشند. پس از پیش‌پردازش، داده‌ها به صورت یک مجموعه داده یکپارچه آماده استفاده در الگوریتم می‌شوند.

- **محاسبه شاخص اطلاعات:** برای هر ویژگی در مجموعه داده‌ها، شاخص اطلاعات بر

اساس فرمول محاسبه می شود تا بهترین ویژگی برای تقسیم داده ها مشخص شود.

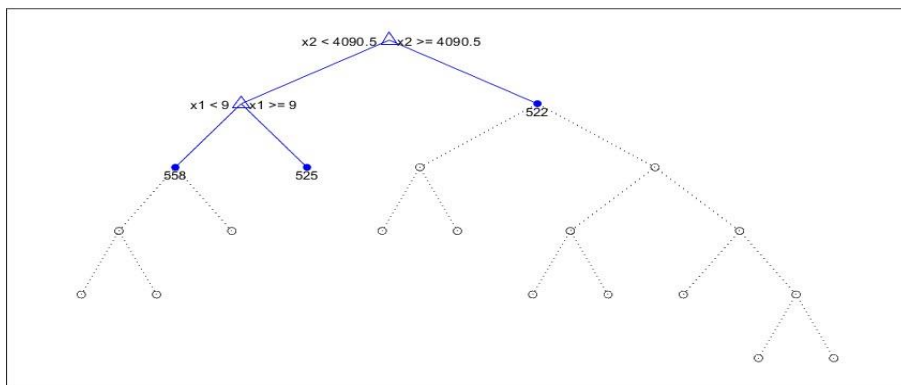
- **ساخت درخت تصمیم:** با استفاده از شاخص اطلاعات، ویژگی با بیشترین شاخص انتخاب شده و داده ها بر اساس آن تقسیم می شوند. این فرایند تا زمانی ادامه می یابد که تمام ویژگی ها استفاده شوند یا معیار توقف برآورده شود..

- **برنامه ریزی تولید:** بر اساس درخت تصمیم ایجاد شده، برنامه تولید به تفکیک ماه برای هر محصول و مقدار خرید مواد اولیه تعیین می شود. این مرحله شامل استفاده از درخت تصمیم برای پیش بینی مقادیر خروجی بر اساس داده های ورودی است.

۵-۴ نتایج شبیه سازی

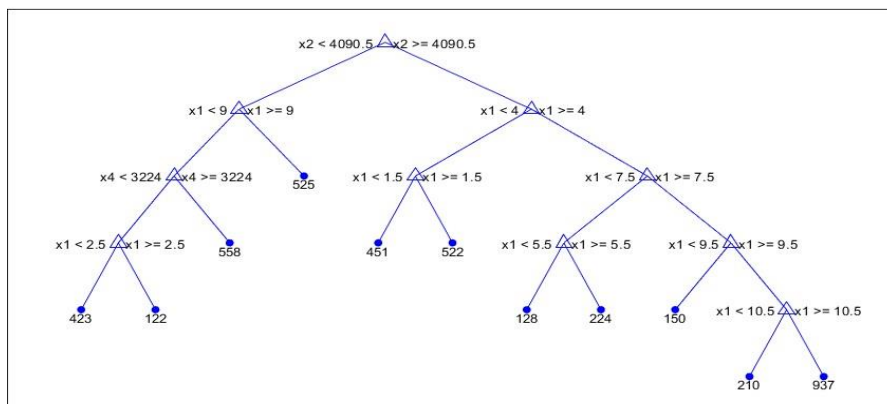
در این بخش، نتایج حاصل از اجرای الگوریتم درخت تصمیم C۴.۵ بر روی داده های جمع آوری شده برای بهبود عملکرد سیستم تولید شرکت فولاد مبارکه ارائه می شود. نتایج شبیه سازی شامل ارزیابی دقت مدل، تحلیل متغیرهای ورودی و خروجی، و بررسی تأثیر هر یک از متغیرها بر خروجی های مدل است. همچنین، جدول های مختلفی برای نمایش نتایج خروجی ارائه شده است:

(نمودار ۱): خروجی شبیه سازی درخت تصمیم برای ۱۰۰ نمونه اول با هرس اولیه منبع



داده های پژوهش.

(نمودار ۲): خروجی نهایی شبیه‌سازی درخت تصمیم برای ۱۰۰ نمونه اول منبع داده‌های



پژوهش.

دقت مدل:

. مدل درخت تصمیم C4.5 با استفاده از مجموعه داده‌های آموزشی و آزمایشی آموزش داده شد و دقت آن ارزیابی شد. دقت مدل با استفاده از معیار درصد پیش‌بینی‌های صحیح محاسبه شد. جدول ۱ نتایج دقت مدل را نشان می‌دهد:

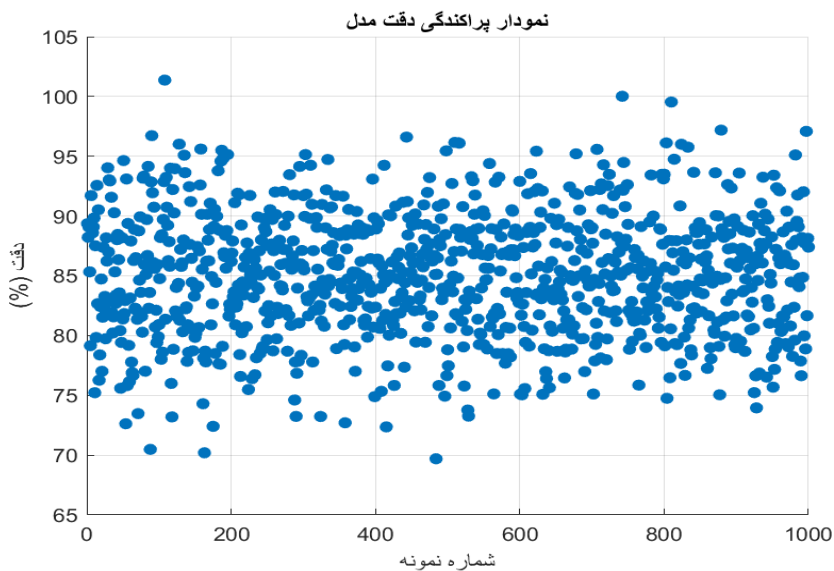
(جدول ۱): اعتبارسنجی مدل پژوهش با روش درخت تصمیم

مقدار	معیار
۱۰۰۰	تعداد نمونه‌ها
۷۰٪	درصد داده‌های آموزشی
۳۰٪	درصد داده‌های آزمایشی
۸۵٪	دقت مدل

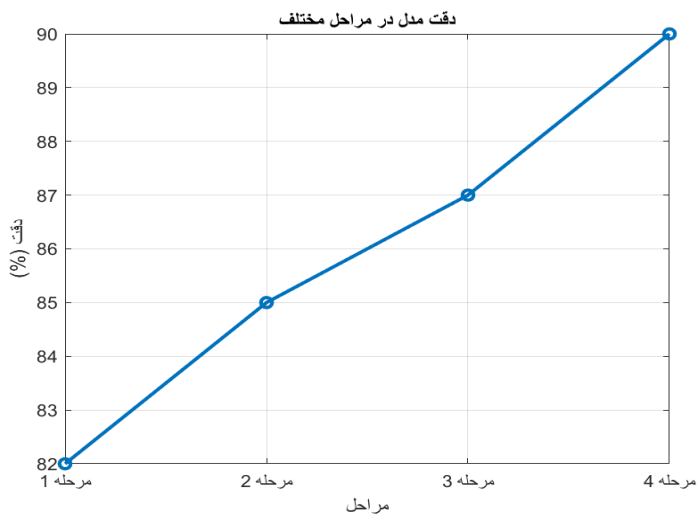
این نتایج نشان می‌دهند که مدل توانسته است با دقت ۸۵٪ پیش‌بینی‌های صحیح را انجام دهد که نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول مدل است.

== کاربرد یادگیری ماشینی برای پیش بینی راه حل های پیچیده تو در تو... ۱۵۷

(نمودار ۳): نمودار پراکندگی دقت مدل بدست آمده با درخت تصمیم منبع داده های پژوهش.

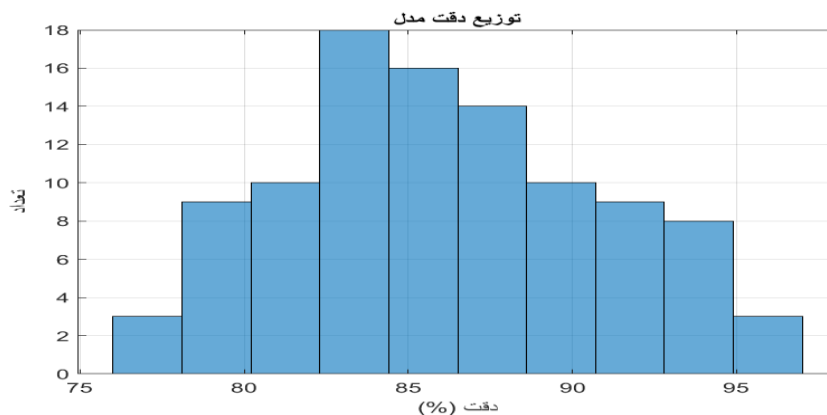


(نمودار ۴): دقت مدل در مراحل مختلف هرس بدست آمده با درخت تصمیم منبع داده های



پژوهش.

(نموداره): توزیع دقت مدل بدست آمده با درخت تصمیم منبع داده‌های پژوهش.

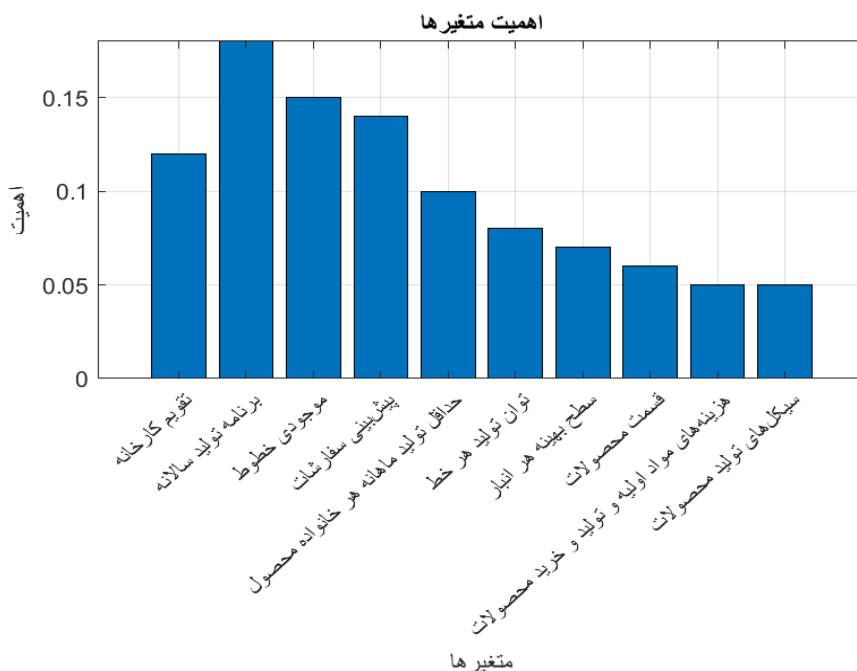


تحلیل متغیرهای ورودی

برای بررسی تأثیر هر یک از متغیرهای ورودی بر خروجی‌های مدل، اهمیت هر متغیر با استفاده از شاخص اطلاعات محاسبه شد. جدول ۳-۴ اهمیت هر متغیر ورودی را نشان می‌دهد:

(جدول ۲): اهمیت متغیرهای ورودی برنامه‌ریزی تولید با روش درخت تصمیم منبع داده‌های پژوهش

اهمیت	متغیر ورودی
۰.۱۲	C_f : تقویم کارخانه
۰.۱۸	P_y : برنامه تولید سالانه
۰.۱۵	I_l : موجودی خطوط
۰.۱۴	O_f : پیش‌بینی سفارشات
۰.۱۰	M_m : حداقل تولید ماهانه هر خانواده محصول در هر خط
۰.۰۸	C_l : توان تولید هر خط
۰.۰۷	S_o : سطح بهینه هر انبار
۰.۰۶	P_s : قسمت محصولات
۰.۰۵	C_m : هزینه‌های مواد اولیه و تولید و خرید محصولات
۰.۰۵	P_c : سیکل‌های تولید محصولات



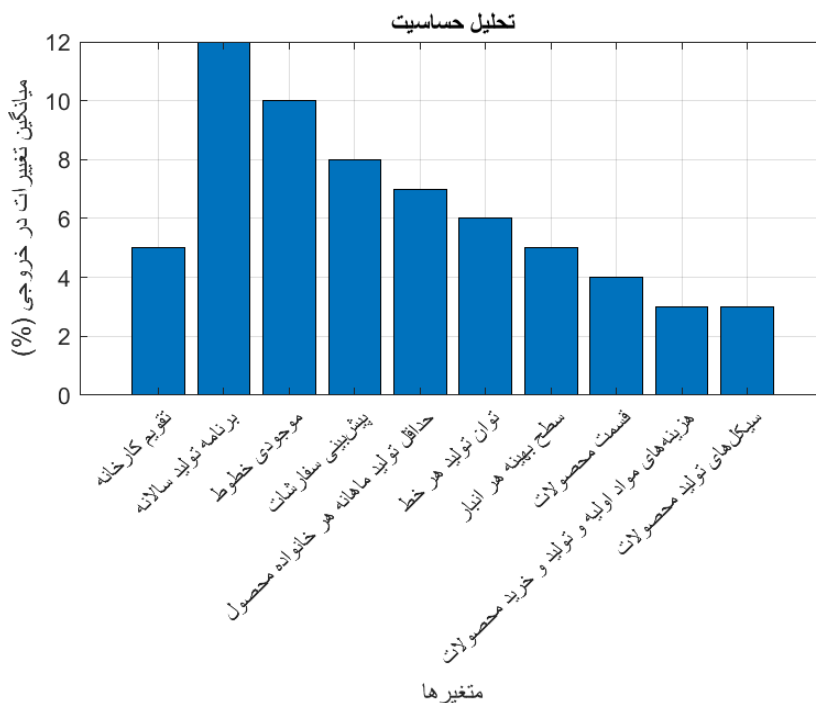
(نمودار ۶): اهمیت متغیرها بر اساس درخت تصمیم C4.5

این جدول نشان می دهد که برنامه تولید سالانه (P_y) و موجودی خطوط (I_l) بیشترین اهمیت را در مدل دارند و بیشترین تأثیر را بر خروجی ها می گذارند.

بررسی تأثیر متغیرها بر خروجی ها

برای بررسی تأثیر هر یک از متغیرها بر خروجی های مدل، تحلیل حساسیت انجام شد. نتایج این تحلیل در جدول ۴-۴ آمده است:

(نمودار ۷): تحلیل حساسیت مدل پژوهش بر اساس درخت تصمیم C۴.۵



(جدول ۳): اهمیت متغیرهای ورودی بر متغیرهای خروجی برنامه‌ریزی تولید بر اساس درخت تصمیم در مدل پژوهش

متغیر ورودی		میانگین تغییرات در خروجی (برنامه تولید ماهانه)
C_f : تقویم کارخانه		۵٪
P_y : برنامه تولید سالانه		۱۲٪
I_l : موجودی خطوط		۱۰٪
O_f : پیش بینی سفارشات		۸٪
M_m : حداقل تولید ماهانه هر خانواده محصول در هر خط		۷٪
C_l : توان تولید هر خط		۶٪
S_o : سطح بهینه هر انبار		۵٪
P_s : قسمت محصولات		۴٪
C_m : هزینه های مواد اولیه و تولید و خرید محصولات		۳٪
P_c : سیکل های تولید محصولات		۳٪

این جدول نشان می دهد که برنامه تولید سالانه (P_y) و موجودی خطوط (I_l) بیشترین اهمیت را در مدل دارند و بیشترین تأثیر را بر خروجی ها می گذارند.

۵. جمع بندی و نتیجه گیری

پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از الگوریتم درخت تصمیم $C_{4.5}$ می تواند به طور موثری به بهبود عملکرد سیستم تولید شرکت فولاد مبارکه کمک کند. این الگوریتم با تحلیل داده های تولید، سفارشات و موجودی، قادر به ارائه برنامه ریزی دقیق تر و بهینه تر است. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر این است که استفاده از روش های یادگیری ماشین می تواند به تصمیم گیری های بهتر و مدیریت بهینه تر منابع تولید منجر شود.

- کارآیی الگوریتم درخت تصمیم $C_{4.5}$:

دقت بالا: دقت مدل درخت تصمیم $C_{4.5}$ که برابر با ۸۵٪ بود، نشان دهنده توانایی بالای این الگوریتم در پیش بینی دقیق برنامه تولید است. این دقت بالا به مدیران امکان می دهد تا برنامه ریزی تولید را با اطمینان بیشتری انجام دهند و از پیش بینی های مدل به عنوان یک راهنمای قابل اعتماد استفاده کنند.

تحلیل جامع داده‌ها: الگوریتم C۴.۵ توانست داده‌های تولید، سفارشات و موجودی را به طور جامع تحلیل کند و الگوهای پیچیده موجود در داده‌ها را شناسایی نماید. این امر به ارائه برنامه‌ریزی دقیق‌تر و بهینه‌تر کمک می‌کند.

- بهبود برنامه‌ریزی و مدیریت منابع:

برنامه‌ریزی دقیق‌تر: استفاده از الگوریتم درخت تصمیم به شرکت کمک کرد تا برنامه تولید سالانه و ماهانه خود را با دقت بیشتری تنظیم کند. این امر منجر به بهبود هماهنگی بین تولید و تقاضای بازار شد.

مدیریت بهینه موجودی‌ها: با تحلیل دقیق موجودی خطوط و سفارشات، الگوریتم C۴.۵ توانست به بهینه‌سازی مدیریت موجودی‌ها کمک کند. این بهینه‌سازی شامل کاهش هزینه‌های نگهداری و جلوگیری از کمبود مواد اولیه در فرآیند تولید بود.

- بهبود عملکرد کلی سیستم تولید:

افزایش بهره‌وری: الگوریتم درخت تصمیم با بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و مدیریت منابع، به افزایش بهره‌وری سیستم تولید کمک کرد. این بهبود بهره‌وری شامل کاهش زمان‌های توقف تولید، افزایش نرخ تولید و بهبود کیفیت محصولات بود.

کاهش هزینه‌ها: با بهینه‌سازی مدیریت موجودی‌ها و برنامه‌ریزی دقیق‌تر، هزینه‌های مرتبط با نگهداری مواد اولیه و تولید کاهش یافت. این کاهش هزینه‌ها به بهبود سودآوری شرکت کمک کرد.

پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از الگوریتم درخت تصمیم C۴.۵ می‌تواند به طور موثری به بهبود عملکرد سیستم تولید شرکت فولاد مبارکه کمک کند. این الگوریتم با ارائه برنامه‌ریزی دقیق‌تر و بهینه‌تر، به مدیران امکان می‌دهد تا تصمیمات بهتری بگیرند و منابع تولید را بهینه‌تر مدیریت کنند. نتایج این پژوهش بیانگر این است که روش‌های یادگیری ماشین، به ویژه الگوریتم درخت تصمیم C۴.۵، ابزارهای قدرتمندی برای بهبود برنامه‌ریزی تولید و مدیریت منابع در شرکت‌های تولیدی هستند.

پیشنهادهای پژوهشی در راستای نتایج تحقیق:

۱- گسترش مدل برای مواجهه با سناریوهای مختلف بازار: پیشنهاد می شود مدل فعلی به گونه ای توسعه یابد که بتواند با سناریوهای مختلفی مانند افزایش تقاضای بازار، تغییرات اقتصادی و کاهش بودجه تولید سازگار شود. به طور خاص، استفاده از الگوریتم های تطبیقی یا یادگیری تقویتی می تواند به مدل کمک کند تا در شرایط پویای بازار بهینه ترین تصمیمات را اتخاذ نماید.

۲- استفاده از شبیه سازی پیشرفته برای تحلیل سناریوها: پیشنهاد می شود از ابزارهای شبیه سازی پیشرفته مانند سیستم های دینامیکی یا شبیه سازی مونت کارلو برای تحلیل عمیق تر سناریوها استفاده شود. این شبیه سازی ها می توانند تأثیرات متغیرهای تصادفی و پیچیدگی های واقعی سیستم تولید را بهتر مدل سازی کنند و به بهبود دقت نتایج کمک نمایند.

۳- بررسی تأثیرات تغییرات سیاست های موجودی و مدیریت انبار: با توجه به تأثیرات سیاست های موجودی بر تولید و هزینه ها، پیشنهاد می شود که تحقیقات آینده به تحلیل دقیق تر تأثیرات تغییرات سیاست های موجودی بر عملکرد کل زنجیره تأمین پردازند. استفاده از مدل های بهینه سازی موجودی و مدیریت زنجیره تأمین پیشرفته می تواند به شرکت ها کمک کند تا تعادل بین هزینه ها و عملکرد را بهبود بخشند.

۴- بررسی تأثیرات تکنولوژی های جدید بر توان تولید خطوط: با توجه به اهمیت افزایش توان تولید هر خط در سناریوها، پیشنهاد می شود که تحقیقات آینده به بررسی تأثیر تکنولوژی های جدید و پیشرفته مانند اتوماسیون و رباتیک بر بهبود بهره وری خطوط تولید پردازند. همچنین، استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین برای پیش بینی عملکرد تجهیزات جدید و ارزیابی اثرات آنها می تواند به بهبود تصمیم گیری ها کمک کند.

۵. منابع و مآخذ

- ر. شباهنگ، مدیریت مالی، چاپ یازدهم. تهران: سازمان حسابرسی، مرکز تحقیقات تخصصی حسابداری و حسابرسی، ۱۳۸۶.
- س. ترابی، م. عبادیان، م. رضائی و حسن. شمسی، "ارائه یک سیستم برنامه ریزی تولید سلسله مراتبی برای محیط های ترکیبی MTO/MTS با یک مطالعه موردی"، "چهارمین کنفرانس ملی مهندسی صنایع، تهران، انجمن مهندسی صنایع ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۴.
- م. م. لطفی، "برنامه ریزی تولید مبتنی بر بازار در شرایط عدم قطعیت برای یک تولید کننده انرژی الکتریکی"، "استاد راهنما: سید فرید قادری، استاد مشاور: محمد علی آزاده - رضا توکلی مقدم، دانشگاه تهران، ۱۳۹۰.
- س. قادری، ا. گرئی، و م. شخص نیایی، "برنامه ریزی تولید نیروگاه های کشور با استفاده از روش سلسله مراتبی"، "بیستین کنفرانس بین المللی برق، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۴.