

انتخاب مدل مناسب برنامه‌ریزی تولید برای صنعت سیم و کابل

نویسندگان: محمدرضا مهرگان^۱، عالیہ کاظمی^{۲*} و امین کامیاب مقدس^۳

۱. عضو هیئت علمی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

۲. دانشجوی دکترای مدیریت تحقیق در عملیات دانشگاه تهران

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه تهران

*Email: Aliehkazemi@yahoo.com

چکیده

پویایی‌های حاکم بر محیط تجاری واحدهای تولیدی و تعدد عوامل مؤثر بر عملکرد آنها بر لزوم پرداختن به برنامه‌ریزی به‌عنوان یکی از وظایف اصلی مدیریت افزوده است. در این میان برنامه‌ریزی تولید در شرکت‌های تولیدی از مهم‌ترین ابزار موفقیت محسوب می‌شود. در مقاله حاضر سعی بر آن است تا با استفاده از شیوه‌های تحقیق در عملیات، مدلی مناسب برای برنامه‌ریزی تولید در صنعت سیم و کابل ارائه شود به گونه‌ای که بتوان الگویی مناسب از ارتباطات منطقی بین عملیات را تدوین و به کمک آن مسوولین ذیربط را در امر برنامه‌ریزی آتی یاری نموده و باعث افزایش بهره‌وری شد. بدین منظور چندین مدل برنامه‌ریزی خطی برای برنامه‌ریزی تولید در صنعت سیم و کابل ارائه و برای انتخاب مناسب‌ترین مدل از روش Topsis استفاده شده است. مدل برنامه‌ریزی آرمانی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب شد.

کلید واژه‌ها: مدل، برنامه‌ریزی تولید، برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی آرمانی، Topsis

سیستم‌های تولید، روش‌های علمی برنامه‌ریزی تولید است که عموماً بر پایه تکنیک‌های تحقیق در عملیات بنا شده‌اند. عمده مساله موجود بر سر راه محققان در این زمینه به کارگیری یک استراتژی مناسب برای برنامه‌ریزی تولید است که قابلیت هموارسازی نوسانات تقاضا را داشته و در عین حال تکنیک مناسبی از حیث در

پیشرفت روزافزون سیستم‌های تولیدی و مکانیزه شدن هرچه بیشتر این سیستم‌ها نیاز به برنامه‌ریزی را در آنها افزایش داده است. در دنیای کنونی که رقابت امر مهمی است، بهینه‌شدن سیستم‌های تولید از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. از جمله فنون بهینه‌سازی

دانشور

رفتار

مدیریت و پیشرفت

Management and
Achievement

• دریافت مقاله: ۸۵/۲/۳

• پذیرش مقاله: ۸۷/۴/۹

Scientific-Research Journal
Of Shahed University
Seventeenth Year, No.41
Jun.-Jul. 2010

دوماهنامه علمی - پژوهشی

دانشگاه شاهد

سال هفدهم - دوره جدید

شماره ۴۱

تیر ۱۳۸۹

مقدمه

برگرفتن وقایع تولیدی باشد. در صنعت کابلسازی به علت ماهیت خاص این صنعت که ماشین آلات حساس، دقیق و ایستگاه‌های کاری مختلف در طول فرایند از مشخصه‌های آن می‌باشد طراحی یک مدل ریاضی که به کمک آن بتوان ضمن افزایش بهره‌وری و بهینه کردن وضعیت موجود، زمان مورد نیاز برای برنامه‌ریزی را نیز کاهش داد، ضروری به نظر می‌رسد، لذا این مقاله در صدد ارائه مدل ریاضی مناسب برای برنامه‌ریزی تولید در صنعت سیم و کابل است.

در این مقاله، ابتدا برنامه‌ریزی تولید تلفیقی و سپس چند روش تحقیق در عملیات شامل برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی آرمانی و روش Topsis معرفی شده‌اند. با توجه به اینکه هدف این مقاله طراحی مدل مناسب برنامه‌ریزی تولید برای صنعت سیم و کابل است، پس از آشنایی با انواع کابل‌های مسی و نحوه تولید آنها، مدل‌های برنامه‌ریزی خطی با اهداف مختلف برای این صنعت طراحی و نهایتاً با استفاده از روش Topsis مناسب‌ترین مدل برنامه‌ریزی تولید انتخاب شده است.

برنامه‌ریزی تولید تلفیقی

تولید به معنای هرگونه فعالیت برای ارائه خدمات یا افزایش ارزش اشیا مادی است. [۱] برنامه‌ریزی تولید، تعیین هدف تولید و اتخاذ روش‌های مناسب و مدرن در جهت تنظیم، هماهنگی و ترکیب مناسب کلیه عوامل تولید در افق زمانی تعیین شده است که به منظور دستیابی به بالاترین و مقرون به صرفه‌ترین حدود تولید یک یا چند محصول و با توجه به مشخصات کیفی ضروری انجام می‌شود. [۲]

برنامه‌ریزی میان مدت تولید بر اساس اهداف کلان و بلندمدت (استراتژیک)، ماهیت کمی و کیفی فعالیت‌های شرکت را برای سال آینده مشخص می‌کند، به عبارت دیگر چگونگی حرکت شرکت را به سوی اهداف با توجه به تجهیزات موجود و محدودیت‌های ظرفیت معین می‌کند. [۳]

برنامه‌ریزی تلفیقی بر اقدام‌های کلی سازگار با اهداف استراتژیک بدون واردشدن در جزئیات تمرکز می‌کند. به طور کلی شرکت‌ها، محصولات، نیروی کار و زمان را تلفیق می‌کنند. [۴]

فقدان سیستم مناسب برنامه‌ریزی تولید منجر به عدم استفاده حداکثر از امکانات و تجهیزات موجود، عدم استفاده کامل از وقت کارگران، یکنواخت نبودن حجم کار قسمت‌های مختلف کارخانه، توقف خطوط تولید در صورت خراب شدن یکی از ماشین‌های موجود در خط، افزایش سرمایه درگیر در تولید و عدم پاسخگویی به مشتری می‌شود. [۵]

به کارگیری روش مناسب در برنامه‌ریزی تولید منجر به افزایش بهره‌وری و استفاده بهینه از امکانات موجود، تقلیل موجودی انبارها و در نتیجه کاهش هزینه نگهداری موجودی‌ها، کاهش تراکم کاری در گلوگاه‌ها و تحقق اهداف تولید یک کارخانه می‌شود. [۶]

برنامه‌ریزی خطی

عبارت است از برنامه‌ریزی فعالیت‌ها به منظور به دست آوردن یک نتیجه بهینه، نتیجه‌ای که با توجه به هدف مشخص مدل ریاضی از کلیه گزینه‌های موجه دیگر بهتر باشد. کلمه خطی بدین معناست که تمام روابط ریاضی این مدل لزوماً باید توابع خطی باشند. [۷]

برنامه‌ریزی آرمانی

برنامه‌ریزی آرمانی خطی از جمله تکنیک‌های اساسی برای مدل‌هایی است که تصمیم گیرنده همزمان در صدد دستیابی به چندین هدف می‌باشد. [۸]

این روش برای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ میلادی توسط چارلز (Charnes) و کوپر (Cooper) ابداع و ایگنیزیو (Ignizio) و لی (Lee) آن را توسعه دادند. همان‌گونه که از نام این روش مشخص می‌شود، تصمیم گیرنده برای هر هدف یک آرمان تعیین می‌کند. در اینجا:

۳- راه حل ایده آل مثبت (A_i^+) و راه حل ایده آل منفی (A_i^-) را مشخص نمایید.

$$A^+ = \{(\max V_{ij} | j \in J_1), (\min V_{ij} | j \in J_2) | i = 1, 2, \dots, n\} \quad (3)$$

$$A^- = \{(\min V_{ij} | j \in J_1), (\max V_{ij} | j \in J_2) | i = 1, 2, \dots, m\} \quad (4)$$

$$A_i^+ = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_n^+\} \quad (5)$$

$$A_i^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-\} \quad (6)$$

$$J_1 = \{1, 2, \dots, n\} \quad \text{به ازای عناصر مثبت شاخص‌ها} \quad (7)$$

$$J_2 = \{1, 2, \dots, n\} \quad \text{به ازای عناصر منفی شاخص‌ها} \quad (8)$$

۴- اندازه فاصله بر اساس نرم اقلیدسی به ازای راه حل ایده آل منفی و گزینه مثبت و همین اندازه را به ازای راه حل ایده آل مثبت و گزینه منفی به صورت زیر به دست آورید.

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2 \right\}^{1/2}, (i=1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2 \right\}^{1/2}, (i=1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

۵- نزدیکی نسبی A_i به راه حل ایده آل به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$C_i = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)}, (i=1, 2, \dots, n) \quad (11)$$

چنانچه $A_i = A_i^+$ باشد، آنگاه $d_i^+ = 0$ و $C_i = 1$ می‌شود و در صورتی که $A_i = A_i^-$ باشد، آنگاه $d_i^- = 0$ و $C_i = 0$ خواهد شد، بنابراین هرچه A_i به راه حل ایده آل نزدیکتر باشد، مقدار C_i آن به یک نزدیکتر خواهد بود.

۶- رتبه‌بندی گزینه‌ها در این مرحله انجام می‌گیرد و بر اساس ترتیب نزولی C_i می‌توان گزینه‌های موجود را بر اساس بیشترین اهمیت رتبه‌بندی نمود. [۱۱]

انواع کابل‌های مسی و نحوه تولید آنها

کابل‌های مسی به کابل‌های مخابراتی با هادی فلزی مس اطلاق می‌شود که در انواع مختلفی تولید می‌گردد. هر یک از انواع کابل‌ها با توجه به شرایط جغرافیایی و آب و هوای خاص هر منطقه و نوع نیاز مصرف می‌شوند.

هدف: عبارت است از یک بیان عمومی که منعکس‌کننده خواسته‌های تصمیم‌گیرنده در قالب روابط ریاضی باشد.

سطح تمایل: ارزش تعیین شده‌ای است که تصمیم‌گیرنده در پی کسب آن برای هدف مورد نظر است. آرمان: هدف مرتبط با یک سطح تمایل می‌باشد.

متغیرهای انحراف از آرمان: دستیابی به سطح تمایل تعیین شده در هدف، وابسته به امکانات، منابع، محدودیت‌ها و غیره است. در بسیاری از موارد ممکن است بین خواسته‌های تصمیم‌گیرنده و آنچه که در عمل می‌توان به آن دست یافت، تفاوت و اختلاف وجود داشته باشد. این میزان تفاوت در مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی توسط متغیر انحراف از آرمان اندازه‌گیری می‌شود. متغیرهای انحراف از آرمان را با d_i^+ و d_i^- نشان داده می‌شود. [۹]

روش Topsis

این روش در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ (Hwang) و یون (Yoon) ارائه گردید. Topsis یک روش تصمیم‌گیری چندشاخصه است که از بین چند گزینه، جواب را مشخص می‌سازد. این تکنیک بر این مفهوم بنا شده است که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با راه حل ایده آل مثبت و بیشترین فاصله را با راه حل ایده آل منفی داشته باشد. [۱۰]

حل یک مساله به روش Topsis برای ارزیابی m گزینه توسط n شاخص شامل شش مرحله زیر است:
۱- ماتریس تصمیم D را به کمک نرم اقلیدسی به یک ماتریس بی‌مقیاس تبدیل کنید.

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^m r_{ij}^2 \right)^{1/2}} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

ماتریس به دست آمده N_D نامیده می‌شود.

۲- ماتریس بی‌مقیاس موزون را به دست آورید.

$$V = N_D * W_{n*n} \quad (2)$$

که در آن V ماتریس بی‌مقیاس موزون و W یک ماتریس قطری از وزن‌های به دست آمده برای شاخص‌ها می‌باشد.

آب عبور می‌دهند تا امکان خنک شدن کابل را قبل از جمع شدن بر روی قرقره فراهم آورند. [۱۳]

برای تولید هر یک از کابل‌های مسی باید مراحل تولیدی در دستگاه‌های مختلف طی شود، بدیهی است این مراحل برای هر نوع کابل با توجه به مشخصات آن متفاوت است. فرایند کلی تولید کابل‌های مسی در شکل ۱ ضمیمه مشخص شده است.

طراحی و انتخاب مناسب‌ترین مدل برنامه‌ریزی تولید

در این قسمت پس از تعریف متغیرهای تصمیم و پارامترهای مدل، محدودیت‌های مدل که شامل محدودیت‌های مربوط به ظرفیت، بالانس، موجودی‌های پایان دوره و برآوردن سفارشات است، مشخص و سپس مدل‌های برنامه‌ریزی تولید طراحی شده است. با توجه به اینکه اهداف متفاوتی مانند حداقل کردن هزینه، حداکثر کردن سود و یا ترکیبی از آنها مورد توجه قرار می‌گیرد، مدل‌هایی با اهداف متفاوت طراحی و نهایتاً با استفاده از روش Topsis مناسب‌ترین مدل انتخاب شده است.

تعریف متغیرها و پارامترهای مدل

جدول ۱ مشخصه‌های متغیرهای تصمیم، جدول ۲ متغیرهای تصمیم و جدول ۳ پارامترهای مدل‌های ریاضی را نشان می‌دهد.

انواع کابل‌های مخابراتی مسی عبارتند از: کابل مهار دار که در هوا بین دو تیر نصب می‌شود، کابل ژله فیلد کانالی که در داخل کانال قرار داده می‌شود، کابل ژله فیلد خاکی که مستقیماً در داخل خاک قرار می‌گیرد و کابل ایرکور [۱۲]

برای تولید کابل‌های مسی، مفتول مس، پس از عبور از خطوط کشش اولیه و کشش میانی روکش زده شده و عایق می‌گردد. سیم‌های عایق شده پس از عبور از کانال آب خنک روی قرقره جمع می‌شوند و سپس در خطوط تندم با رنگ‌بندی خاص و با طول تاب مشخص زوج می‌شوند. پس از این مرحله در دستگاه‌های استرندر ۱۶۰۰ که قادر است ۱۰۱ زوج سیم را به صورت چهار گروه ۲۵ زوجی و یک زوج اضافه به هم بتاباند تابانیده می‌شوند. برای تاباندن هسته کابل‌های ۱۵۰ تا ۲۴۰۰ زوج از دستگاه‌های استرندر ۲۵۰۰ استفاده می‌شود، بدین صورت که گروه‌های تولید شده در خط تولید قبلی (استرندر ۱۶۰۰) بار دیگر در این خط به هم تابیده می‌شوند و هسته کابل‌های پرزوج را می‌سازند. کابل‌های مخابراتی را باید از نفوذ آب حفظ کرد. در کابل‌های ایرکور این عمل توسط هوای فشرده در محل‌های نصب صورت می‌گیرد ولی در کابل‌های ژله فیلد خاکی و کانالی با تزریق ژله مایع به فضای خالی هسته کابل مانع از نفوذ آب می‌گردند. این وظیفه را خط ژله‌زنی برعهده دارد. پس از مسلح‌سازی کابل‌ها عمل روکش زنی انجام می‌شود. پس از مرحله روکش، کابل را از درون کانال

جدول ۱: مشخصه‌های متغیرهای تصمیم

اندیس	شرح	دامنه
t	دوره‌ای که تولید در آن صورت می‌گیرد.	۱،۲، ...، n
I	تعداد زوج سیم‌هایی که در فرایند استرندر ۱۶۰۰ به هم تابیده می‌شوند.	۱،۲، ...، q
j	تعداد کابل‌هایی که در فرایند استرندر ۲۵۰۰ به هم تابیده می‌شوند.	۱،۲، ...، l
l	نوع کابل تولیدی که در مرحله روکش زنی تفکیک می‌شود.	۱،۲، ...، L
p	نوع فرایند روکش زنی	۱،۲، ...، P
m	مشخصه دستگاه تولید که تعداد آن می‌تواند در هر ایستگاه متفاوت باشد.	۱،۲، ...، M
s	مشخصه ایستگاه کاری	۱،۲، ...، S

جدول ۲: متغیرهای تصمیم

نام متغیر	شرح
$X_m(t)$	میزان تولید زوج سیم در دستگاه m در دوره t
$X_{im}(t)$	میزان تولید کابل استرندر شده ۱۶۰۰ حاوی i زوج سیم در دستگاه m در دوره t
$X_{jm}(t)$	میزان تولید کابل استرندر شده ۲۵۰۰ حاوی j کابل استرندر ۱۶۰۰ در دستگاه m در دوره t
$X_{plim}(t)$	میزان تولید کابل نوع l با روکش p حاوی i زوج سیم در دستگاه m در دوره t
$X_{pljm}(t)$	میزان تولید کابل نوع l با روکش p حاوی j کابل استرندر ۱۶۰۰ در دستگاه m در دوره t
$Y_{sm}^+(t)$	میزان ساعات اضافه کاری دستگاه m از ایستگاه s در دوره t
$Y_{sm}^-(t)$	میزان ساعات بیکاری دستگاه m از ایستگاه s در دوره t
$I(t)$	موجودی زوج سیم در پایان دوره t
$I_i(t)$	موجودی کابل استرندر ۱۶۰۰ حاوی i زوج سیم در پایان دوره t
$I_j(t)$	موجودی کابل استرندر ۲۵۰۰ حاوی j کابل استرندر ۱۶۰۰ در پایان دوره t
$I_{pli}(t)$	موجودی کابل نوع l با روکش p حاوی i زوج سیم در پایان دوره t
$I_{plj}(t)$	موجودی کابل نوع l با روکش p حاوی j کابل استرندر ۱۶۰۰ در پایان دوره t
$U_{li}(t)$	تعداد قرقه تولید شده از کابل نوع l حاوی i زوج سیم در دوره t
$U_{lj}(t)$	تعداد قرقه تولید شده از کابل نوع l حاوی j کابل استرندر ۱۶۰۰ در دوره t
$O_{li}^+(t)$	تعداد قرقه تولید شده مازاد بر سفارش از کابل نوع l حاوی i زوج سیم در دوره t
$O_{li}^-(t)$	تعداد قرقه تولید شده کمتر از سفارش از کابل نوع l حاوی i زوج سیم در دوره t
$O_{lj}^+(t)$	تعداد قرقه تولید شده مازاد بر سفارش از کابل نوع l حاوی j کابل استرندر ۱۶۰۰ در دوره t
$O_{lj}^-(t)$	تعداد قرقه تولید شده کمتر از سفارش از کابل نوع l حاوی j کابل استرندر ۱۶۰۰ در دوره t
$W^+(t)$	میزان موجودی بیشتر از ظرفیت تعیین شده کابل با روکش میانی در دوره t
$W^-(t)$	میزان موجودی کمتر از ظرفیت تعیین شده کابل با روکش میانی در دوره t
$K_I(t-1)$	میزان موجودی کابل نوع l از دوره t-1

محدودیت‌های مدل

۴ دسته محدودیت برای مدل‌های مختلف در نظر گرفته شده است. این محدودیت‌ها عبارتند از:

۱. محدودیت‌های مربوط به ظرفیت
۲. محدودیت‌های مربوط به بالانس
۳. محدودیت‌های مربوط به موجودی‌های پایان دوره
۴. محدودیت‌های مربوط به برآوردن سفارشات

محدودیت‌های مربوط به ظرفیت: ظرفیت دستگاه‌ها بر اساس ساعات در دسترس در هر دوره مشخص می‌شود. در اینجا به دلیل تغییر سرعت تولید (برحسب کیلومتر بر ساعت) بر اساس دستگاه (m) توانی از سرعت (α) به مدل اضافه می‌شود. در مدل آرمانی انحراف از زمان عادی تولید با متغیرهای $Y_{sm}^+(t)$ و $Y_{sm}^-(t)$ مشخص شده است که بیانگر زمان بیکاری و

اضافه کاری دستگاه‌های مختلف است.

محدودیت‌های مربوط به بالانس: برای ایجاد ارتباط موثر بین میزان تولید خطوط، به دسته دیگری از محدودیت‌ها به نام محدودیت‌های تعادل یا بالانس مراحل نیاز است. در این دسته از محدودیت‌ها میزان تولید هر محصول در هر ایستگاه با مقدار مورد نیاز از آن برای تولید محصول در مرحله بعد موازنه می‌شود. این تعادل با در نظر گرفتن موجودی‌های به جا مانده از دوره قبل یعنی $I(t-1)$ و احتساب موجودی پایان دوره یعنی $I(t)$ کامل می‌شود. از آنجایی که قسمتی از تولیدات ضایع می‌شود، مجموع تولیدات در عبارت $(1-\gamma_s)$ ضرب می‌شود. از طرفی در برخی از مراحل بر اثر تاییده شدن، کابل‌ها کوتاهتر می‌شوند که این اختلاف با کمک پارامتر λ در نظر گرفته شده است.

جدول ۳: پارامترهای مدل ریاضی

نام پارامتر	شرح
α_m	توان سرعت تولید زوج سیم در دستگاه m (کیلومتر/ساعت)
α_{im}	توان سرعت تولید کابل استرندر ۱۶۰۰ حاوی i زوج سیم در دستگاه m
α_{jm}	توان سرعت تولید کابل استرندر ۲۵۰۰ حاوی j کابل استرندر ۱۶۰۰ در دستگاه m
α_{plim}	توان سرعت تولید کابل نوع l در مرحله روکش زنی p حاوی i زوج سیم در دستگاه m
α_{pljm}	توان سرعت تولید کابل نوع l در مرحله روکش زنی p حاوی j کابل استرندر ۱۶۰۰ در دستگاه m
$H_s(t)$	زمان عادی در دسترس دستگاه m برای تولید در دوره t
$H'_s(t)$	زمان اضافه کاری در دسترس دستگاه m برای تولید در دوره t
γ_s	میزان ضایعات در ایستگاه کاری s
λ_i	ضریب کاهش طول زوج سیم که در مرحله استرندر ۱۶۰۰ به علت تابیده شدن به وجود می‌آید.
λ_j	ضریب کاهش طول زوج سیم که در مرحله استرندر ۲۵۰۰ به علت تابیده شدن به وجود می‌آید.
$U_s(t)$	ظرفیت موجودی پایان دوره محصولات تولیدی ایستگاه کاری s در دوره t
θ_l	کیلومتر کابل نوع l که بر روی یک قرقره تابیده می‌شود.
c'_t	هزینه نگهداری موجودی زوج سیم در دوره t
c'_{it}	هزینه نگهداری موجودی کابل استرندر ۱۶۰۰ حاوی i زوج سیم در دوره t
c'_{jt}	هزینه نگهداری موجودی کابل استرندر ۲۵۰۰ حاوی j کابل استرندر ۱۶۰۰ در دوره t
c'_{plit}	هزینه نگهداری کابل نوع l با روکش p حاوی i زوج سیم در دستگاه m در دوره t
c'_{pljt}	هزینه نگهداری کابل نوع l با روکش p حاوی j کابل استرندر در دستگاه m در دوره t
d_{plimt}	سود حاصل از فروش کابل نوع l با روکش p حاوی i زوج سیم در دستگاه m در دوره t
d_{pljmt}	سود حاصل از فروش کابل نوع l با روکش p حاوی j کابل استرندر در دستگاه m در دوره t
$O_{li}(t)$	میزان سفارش تولید کابل نوع l حاوی i زوج سیم در دوره t بر حسب تعداد قرقره
$O_{lj}(t)$	میزان سفارش تولید کابل نوع l حاوی j کابل استرندر ۱۶۰۰ در دوره t بر حسب تعداد قرقره

آرمانی در نظر گرفته می‌شود. در مدل‌سازی آرمانی متغیرهای $W^-(t), W^+(t)$ میزان موجودی بیشتر یا کمتر از ظرفیت تعیین شده را نشان می‌دهند.

محدودیت‌های مربوط به برآوردن سفارشات: در این محدودیت میزان تولید کابل‌ها را با احتساب ضایعات آن (γ_s) برابر با مضربی از متراژ استاندارد روی قرقره (θ_l) قرار داده می‌شود تا تعداد قرقره‌ها به دست آید و محدودیت آن با توجه به میزان سفارشات مطرح می‌شود.

در مدل‌سازی آرمانی متغیر $U(t)$ یعنی تعداد قرقره تولید شده با انحرافات تولید از ماه‌های قبل و ماه حاضر برابر با تعداد قرقره سفارش داده شده قرار داده شده است.

محدودیت‌های مربوط به موجودی‌های پایان دوره: محصولات تولید شده در مراحل مختلف می‌توانند برای استفاده در دوره‌های بعد ذخیره شوند، اما به علت محدود بودن فضا مقدار محصولات ذخیره شده در پایان هر دوره نباید از حد معینی تجاوز کند که البته این محدودیت با توجه به وسعت بسیار زیاد انبار شرکت در مقایسه با محصولات تولیدشده، برای محصولات نهایی وجود ندارد. از طرفی زوج سیم‌ها و کابل‌های استرندر شده باید در محل سالن سرپوشیده قرار بگیرند تا در معرض هوا، آفتاب، سرما و غیره دچار آسیب نشوند، همین امر موجب می‌شود که محدودیت مربوط به آنها قطعی در نظر گرفته شود اما کابل‌های با روکش میانی غیرنهایی شده را می‌توان در فضای باز بیرون از سالن نیز قرار داد، به همین دلیل محدودیت مربوط به آنها

مدل‌های برنامه‌ریزی تولید

موجودی کابل‌ها در انبار است. محدودیت‌ها شامل محدودیت‌های مربوط به ظرفیت، بالانس، موجودی پایان دوره و برآوردن سفارشات است.

مدل برنامه‌ریزی خطی با هدف حداقل کردن هزینه مدل برنامه‌ریزی خطی با هدف حداقل کردن هزینه‌ها به صورت زیر است. تابع هدف شامل هزینه‌های مربوط به تولید انواع کابل‌های مسی و همچنین هزینه مربوط به

$$Minz = \sum_{i=1}^q \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^n C_{11mr} X_{11im}(t) + \sum_{p=1}^2 \sum_{l=2}^4 \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^n C_{pljmr} X_{pljm}(t) + \sum_{i=1}^n C'_i I(t) + \sum_{i=1}^q \sum_{t=1}^n C'_{ii} I_i(t) + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^n C'_{jt} I_j(t) + \sum_{i=1}^q \sum_{t=1}^n C'_{11it} I_{11i}(t) + \sum_{p=1}^2 \sum_{l=2}^4 \sum_{i=1}^q \sum_{t=1}^n C'_{plit} I_{pli}(t) \quad (12)$$

s.t :

$$\alpha_m X_m(t) \leq H_s(t)$$

$$\sum_{i=1}^q \alpha_{im} X_{im}(t) \leq H_s(t)$$

$$\sum_{j=1}^J \alpha_{jm} X_{jm}(t) \leq H_s(t)$$

$$\sum_{i=1}^q \alpha_{plim} X_{plim}(t) + \sum_{l=2}^4 \sum_{j=1}^J \alpha_{pljm} X_{pljm}(t) \leq H_s(t)$$

$$\sum_{l=3}^4 \sum_{i=1}^q \alpha_{plim} X_{plim}(t) \leq H_s(t)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{m=1}^a X_m(t) \right] + I(t-1) - I(t) = \sum_{i=1}^q \lambda_i \sum_{m=1}^b X_{im}(t)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{m=1}^b X_{im}(t) \right] + I_i(t-1) - I_i(t) = \sum_{j=1}^J \lambda_j \sum_{m=1}^c X_{jm} + \sum_{i=1}^q \sum_{m=1}^d X_{plim}(t)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{m=1}^c X_{jm}(t) \right] + I_j(t-1) - I_j(t) = \sum_{l=2}^4 \sum_{m=1}^d X_{pljm}(t)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{m=1}^d X_{1ljm}(t) \right] + I_{1lj}(t-1) + I_{1lj}(t) = \sum_{l=3}^4 \sum_{m=d+1}^e X_{2ljm}(t)$$

$$I(t) \leq U_s(t)$$

$$I_i(t) \leq U_s(t)$$

$$I_j(t) \leq U_s(t)$$

$$\sum_{l=3}^4 I_{plj}(t) \leq U_s(t)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{m=1}^d X_{plim}(t) \right] = \theta_l U_{li}(t)$$

$$U_{li}(t) \geq O_{li}(t) - K_1(t-1)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{m=1}^d X_{pljm}(t) \right] = \theta_l U_{lj}(t)$$

$$U_{lj}(t) \geq O_{lj}(t) - K_2(t-1)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{j=1}^J X_{pljm}(t) \right] = \theta_l U_{lj}(t)$$

$$U_{lj}(t) \geq O_{lj}(t) - K_3(t-1)$$

All variables ≥ 0

$$U_{li}(t), U_{lj}(t) \in z$$

مدل برنامه‌ریزی آرمانی

این مدل با در نظر گرفتن سه آرمان زیر طراحی شده است:

۱. برآوردن سفارشات تا حد امکان
۲. حداقل کردن ساعات بیکاری دستگاه‌ها
۳. حداقل کردن موجودی کابل اضافه بر ظرفیت دارای روکش میانی

d_1 و d_2 و d_3 ضرایب آرمان‌ها هستند که میزان اهمیت هر آرمان را مشخص می‌کنند:

مدل برنامه‌ریزی خطی با هدف حداکثر کردن سود

تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی با هدف حداکثر کردن سود به صورت زیر است که شامل سود حاصل از فروش انواع کابل‌های مسی است. محدودیت‌ها مشابه با محدودیت‌های مدل برنامه‌ریزی خطی با هدف حداقل کردن هزینه است.

(۱۳)

$$MaxZ = \sum_{i=1}^q \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^n d_{11imt} X_{11im}(t) + \sum_{p=1}^2 \sum_{l=2}^4 \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^n d_{pljmt} X_{pljm}(t)$$

$$MinZ = d_1 \sum_{l=3}^4 \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^n O_{lj}^-(t) + d_2 \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T Y_{sm}^-(t) + d_3 \sum_{t=1}^n W^+(t) \quad (14)$$

s.t :

$$\alpha_m X_m(t) + Y_{sm}^-(t) - Y_{sm}^+(t) = H_s(t)$$

$$\sum_{i=1}^q \alpha_{im} X_{im}(t) + Y_{sm}^-(t) - Y_{sm}^+(t) = H_s(t)$$

$$\sum_{j=1}^J \alpha_{jm} X_{jm}(t) + Y_{sm}^-(t) - Y_{sm}^+(t) = H_s(t)$$

$$\sum_{i=1}^q \alpha_{plim} X_{plim}(t) + \sum_{l=2}^4 \sum_{j=1}^J \alpha_{pljm} X_{pljm}(t) + Y_{sm}^-(t) + Y_{sm}^+(t) = H_s(t)$$

$$\sum_{l=3}^4 \sum_{i=1}^q \alpha_{plim} X_{plim}(t) + Y_{sm}^-(t) + Y_{sm}^+(t) = H_s(t)$$

$$Y_{sm}^+(t) \leq H_s'(t)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{m=1}^a X_m(t) \right] + I(t-1) - I(t) = \sum_{i=1}^q \lambda_i \sum_{m=1}^b X_{im}(t)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{m=1}^b X_{im}(t) \right] + I_i(t-1) - I(t) = \sum_{j=1}^J \lambda_j \sum_{m=1}^c X_{jm} + \sum_{i=1}^q \sum_{m=1}^d X_{plim}(t)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{m=1}^c X_{jm}(t) \right] + I_j(t-1) - I_j(t) = \sum_{l=2}^4 \sum_{m=1}^d X_{pljm}(t)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{m=1}^d X_{ljm}(t) \right] + I_{lj}(t-1) + I_{lj}(t) = \sum_{l=3}^4 \sum_{m=d+1}^e X_{2ljm}(t)$$

$$I(t) \leq U_s(t)$$

$$I_i(t) \leq U_s(t)$$

$$I_j(t) \leq U_s(t)$$

$$\sum_{l=3}^4 I_{plj}(t) + W^-(t) - W^+(t) = U_s(t)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{m=1}^d X_{p\text{lim}}(t) \right] = \theta_l U_{li}(t)$$

$$U_{li}(t) - O_{li}^+(t) + O_{li}^-(t) = O_{li}(t) - K_l(t-1)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{m=1}^d X_{pljm}(t) \right] = \theta_l U_{lj}(t)$$

$$U_{lj}(t) - O_{lj}^+(t) + O_{lj}^-(t) = O_{lj}(t) - K_l(t-1)$$

$$(1 - \gamma_s) \left[\sum_{j=1}^J X_{pljm}(t) \right] = \theta_l U_{lj}(t)$$

$$U_{lj}(t) - O_{lj}^+(t) + O_{lj}^-(t) = O_{lj}(t) - K_l(t-1)$$

All variables ≥ 0

$$U_{li}(t), U_{lj}(t), O_{lj}^+(t), O_{lj}^-(t), O_{li}^+(t), O_{li}^-(t) \in z$$

مدل می‌شوند. تابع هدف و محدودیت‌های مذکور به شکل زیر می‌باشند.

مدل برنامه‌ریزی آرمانی با در نظر گرفتن توابع برنامه‌ریزی خطی به‌عنوان محدودیت آرمانی در این مدل توابع هدف برنامه‌ریزی خطی شامل حداکثر سود و حداقل هزینه به‌عنوان محدودیت‌های آرمانی وارد

$$\text{Min} Z = d_1 \sum_{l=3}^4 \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^n O_{lj}^-(t) + d_2 \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T Y_{sm}^-(t) + d_3 \sum_{t=1}^n W^+(t) + d_4 d_{f1}^+ + d_5 d_{f2}^- \quad (15)$$

s.t :

$$\sum_{i=1}^q \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^n C_{11im} X_{11im}(t) + \sum_{p=1}^2 \sum_{l=2}^4 \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^n C_{pljmt} X_{pljm}(t) + \sum_{t=1}^n C'_l I(t) + \sum_{i=1}^q \sum_{t=1}^n C'_{ii} I_i(t) + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^n C'_{jr} I_j(t) + \sum_{i=1}^q \sum_{t=1}^n C_{11ia} I_{11i}(t) + \sum_{p=1}^2 \sum_{l=2}^4 \sum_{i=1}^q \sum_{t=1}^n C_{plia} I_{pli}(t) + d_{f1}^- - d_{f1}^+ = 0$$

$$\sum_{i=1}^q \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^n d_{11im} X_{11im}(t) + \sum_{p=1}^2 \sum_{l=2}^4 \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^n d_{pljmt} X_{pljm}(t) + d_{f2}^- - d_{f2}^+ = 0$$

جدول ۴: مقایسه مدل‌های مختلف

نام مدل	شاخص	هزینه	سود	عدم برآورده کردن سفارشات	بیکاری دستگاه‌ها
برنامه‌ریزی خطی با هدف حداقل کردن هزینه	۶۶۲۶۸۳۷۰۰	۵۴۲۴۸۳۳۲۶	۵	۷۶۷۴۴۰	
برنامه‌ریزی خطی با هدف حداکثر کردن سود	۳۷۲۸۸۸۵۳۳۴	۴۳۸۴۲۵۵۰۰۰	۰	۳۱۷۸۶۶	
برنامه‌ریزی آرمانی	۴۱۱۴۲۵۹۹۶۲	۴۸۰۲۲۳۵۶۴۱	۴۷۹	۰	
برنامه‌ریزی آرمانی ۲	۳۷۲۶۰۱۳۷۹۱	۴۳۸۴۲۵۴۹۷۶	۴۴۹۹	۲۳۱۵۹۹	

انتخاب مناسب‌ترین مدل برنامه‌ریزی تولید پس از حل مدل‌های مذکور، از آن‌جا که جواب‌های حاصل از حل مدل‌ها نتایج نسبتاً متفاوتی را ارائه می‌داد،

سایر محدودیت‌ها مشابه با محدودیت‌های مدل برنامه‌ریزی آرمانی است.

نتایج حاصل از مقایسه مدل‌های مختلف با استفاده از روش Topsis به شرح زیر می‌باشد:

۱- محاسبه ماتریس تصمیم نرمالایز شده:

$$N_D = \begin{bmatrix} 0.0690 & 0.00690 & 0.0011 & 0.8899 \\ 0.5563 & 0.5577 & 0 & 0.3686 \\ 0.6138 & 0.6109 & 0.1059 & 0 \\ 0.5559 & 0.5577 & 0.9944 & 0.2686 \end{bmatrix} \quad (16)$$

۲- محاسبه ماتریس تصمیم موزون: (اهمیت نسبی شاخص‌ها برای تصمیم گیرندگان به صورت $W = \{0.1, 0.1, 0.5, 0.3\}$ بوده است.)

$$V = N_D * W_{n*n} = \begin{bmatrix} 0.0690 & 0.00690 & 0.0011 & 0.8899 \\ 0.5563 & 0.5577 & 0 & 0.3686 \\ 0.6138 & 0.6109 & 0.1059 & 0 \\ 0.5559 & 0.5577 & 0.9944 & 0.2686 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$= \begin{bmatrix} 0.0069 & 0.0069 & 0.0006 & 0.2670 \\ 0.0556 & 0.0558 & 0 & 0.1106 \\ 0.0614 & 0.0611 & 0.0529 & 0 \\ 0.0556 & 0.0558 & 0.4972 & 0.0806 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} d_2^+ &= 0.1175 \\ d_2^- &= 0.5247 \\ C_2 &= 0.8170 \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} d_3^+ &= 0.1087 \\ d_3^- &= 0.4859 \\ C_3 &= 0.8172 \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} d_4^+ &= 0.5056 \\ d_4^- &= 0.1955 \\ C_4 &= 0.2788 \end{aligned} \quad (23)$$

بدین ترتیب مدل برنامه ریزی آرمانی به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید. خروجی‌های حاصل از حل این مدل با استفاده از نرم افزار Lindo به شرح جدول ۵ است:

به منظور انتخاب مدل نهایی از روش Topsis استفاده شد. برای تشکیل ماتریس تصمیم، جواب‌های حاصل از حل مدل‌های متفاوت در آرمان‌های متفاوت قرار داده شد که نتایج آن به شرح جدول ۴ می‌باشد. آرمان‌های مورد نظر به شرح زیر هستند:

۱. حداقل کردن هزینه
۲. حداکثر کردن سود
۳. حداقل کردن عدم برآوردن سفارشات
۴. حداقل کردن بیکاری دستگاه‌ها
۵. حداقل کردن میزان موجودی کابل با روکش میانی (برای تمام مدل‌ها برابر با صفر بود و در نتیجه حذف گردید)

۳- محاسبه راه حل ایده‌آل مثبت و راه حل ایده‌آل منفی: (شاخص‌های اول، سوم و چهارم، شاخص‌های هزینه هستند، بنابراین مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی آنها معکوس می‌شود.)

$$A^+ = \{0.2634, 0.1175, 0.1087, 0.5056\} \quad (18)$$

$$A^- = \{0.4996, 0.5247, 0.4859, 0.1955\} \quad (19)$$

۴- محاسبه اندازه فاصله بر حسب نرم اقلیدسی به ازای راه حل ایده‌آل مثبت و منفی و محاسبه نزدیکی نسبی آنها به راه حل ایده‌آل:

$$\begin{aligned} d_1^+ &= 0.2634 \\ d_1^- &= 0.4997 \\ C_1 &= 0.6548 \end{aligned} \quad (20)$$

جدول ۵: خروجی‌های مدل آرمانی

مقدار	مفهوم متغیر
۴۷۹	میزان تولید کمتر از سفارش کابل ایرکور
۱۲۳۶۶	میزان تولید کابل مهاردار نوع G در مرحله زوجکن
۱۶۵۶۵	میزان تولید کابل خاکی نوع O در مرحله زوجکن
۵۰۲۱	میزان تولید کابل ایرکور نوع E در مرحله زوجکن
۵۷	میزان تولید کابل کانالی نوع A در مرحله زوجکن
۲۴۳۷۲۰	میزان اضافه کاری در مرحله زوجکن
۳۶۴	میزان تولید کابل ایرکور نوع A در مرحله استرندر ۱۶۰۰
۴۸	میزان تولید کابل کانالی نوع D در مرحله استرندر ۱۶۰۰
۴۴۹۶	میزان تولید کابل ایرکور نوع E در مرحله استرندر ۱۶۰۰
۱۲۰۳۹	میزان تولید کابل مهاردار نوع C در مرحله استرندر ۱۶۰۰
۱۶۰۷۴	میزان تولید کابل خاکی نوع I در مرحله استرندر ۱۶۰۰
۱۲	میزان تولید کابل کانالی نوع A در مرحله استرندر ۲۵۰۰
۱۵۷۷۴	میزان تولید کابل خاکی نوع I در مرحله استرندر ۲۵۰۰
۴۷۶۸	میزان تولید کابل ایرکور نوع D در مرحله استرندر ۲۵۰۰
۷۰۷۵۱	میزان اضافه کاری در مرحله استرندر ۲۵۰۰
۵۱۵۳	میزان تولید کابل خاکی نوع B در مرحله روکش زنی اولیه نوع ۲
۹۳۶۴	میزان تولید کابل خاکی نوع I در مرحله روکش زنی اولیه نوع ۵
۴۸۴۸	میزان تولید کابل ایرکور نوع A در مرحله روکش زنی اولیه نوع ۶
۴۷۸۴	میزان تولید کابل ایرکور نوع B در مرحله روکش زنی نهایی
۶۴۱۱	میزان تولید کابل خاکی نوع B در مرحله روکش زنی نهایی نوع ۳
۶۴۱۱	میزان تولید کابل خاکی نوع B در مرحله روکش زنی نهایی نوع ۷
۳۲۰۵	میزان تولید کابل خاکی نوع B در مرحله روکش زنی نهایی نوع ۶
۱۲۰۷۵	میزان تولید کابل مهاردار نوع A در مرحله روکش زنی
۱۵۳۵	میزان تولید کابل خاکی نوع E در مرحله روکش زنی اولیه نوع ۵
۹۴۵	میزان موجودی کابل خاکی با روکش اولیه
۸۵۰	میزان موجودی کابل ایرکور با روکش اولیه
۱۰۹۷۹	میزان تولید کابل مهاردار
۱۰۰۱۴	میزان تولید بیش از سفارش کابل مهاردار
۵۱	میزان تولید کابل کانالی
۱۴۰۳۹	میزان تولید کابل خاکی
۷۴۸۹	میزان تولید بیش از سفارش کابل خاکی
۴۱۹۰	میزان تولید کابل ایرکور
۷۳۵	میزان تولید بیش از سفارش کابل ایرکور

نتیجه گیری

در این مقاله، با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی، مدل‌های مختلف برنامه‌ریزی تولید برای صنعت سیم و کابل طراحی شد، برای انتخاب مناسب‌ترین مدل از روش Topsis استفاده و نهایتاً مدل برنامه‌ریزی آرمانی به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب شد. از سودمندی‌های استفاده از این مدل آزاد شدن وقت

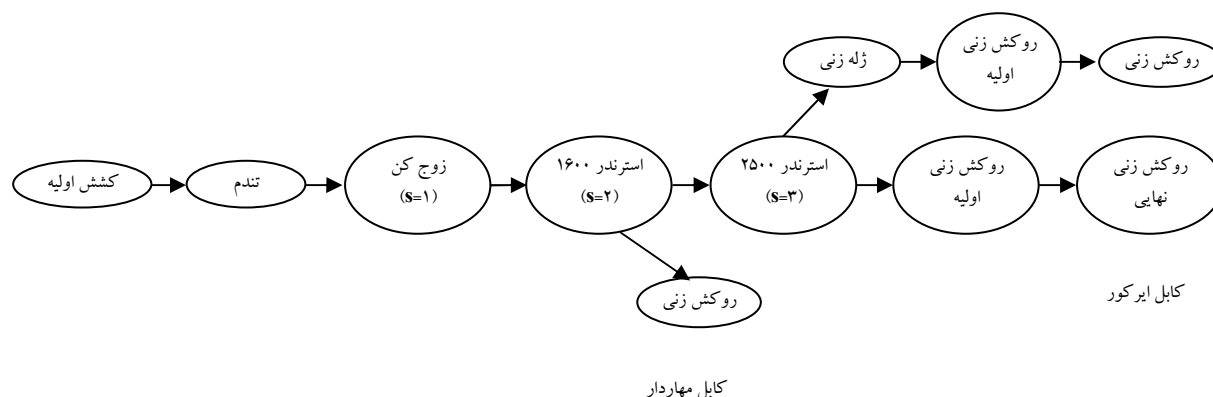
زیادی از مدیران است. برنامه‌ریزی به صورت سنتی و ذهنی چندین روز از وقت مدیران ارشد شرکت را به خود اختصاص می‌دهد، حال آنکه این زمان باید صرف رفع و رجوع امور سطح بالا و کلان شرکت شود، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی طراحی شده مقدار زیادی از این زمان به چرخه کار مفید سازمان باز می‌گردد. مدل فعلی علاوه بر بالابردن ظرفیت تولید کارخانه،

مجموعاً برتری مدل برنامه‌ریزی طراحی شده را نسبت به روش ذهنی به اثبات می‌رساند و راه را برای استفاده موثر از آن هموار می‌سازد.

استفاده از روش‌های فازی و نیز شبکه‌های عصبی به‌عنوان تحقیقات آینده در زمینه طراحی مدل برنامه‌ریزی تولید برای صنعت سیم و کابل پیشنهاد می‌شود.

با در دسترس قرار دادن ساعات بیکاری دستگاه‌ها، امکان برنامه‌ریزی برای تعمیرات و تعدیل سرعت برای بهره‌برداری بهینه از دستگاه‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد، این امر خود اثر بسیار زیادی بر عدم توقف دستگاه‌ها بر اثر خرابی و کیفیت بهتر محصولات دارد. علاوه بر این، اعلام زمان‌های لازم برای اضافه کاری از طرف مدل، مشکلات هماهنگی و همکاری موجود برای ایام تعطیل کاری را کاهش می‌دهد. مزیت‌های بر شمرده شده

کابل زله فیلد کانالی کابل زله فیلد خاکی



شکل ۱: فرایند تولید کابل‌های مسی

۷. هیلیر، فردریک س؛ لیبرمن، جرالده؛ (۱۳۸۲)، برنامه‌ریزی خطی، مترجمان: محمد مدرس و اردوان آصف وزیری، چاپ دهم، تهران: نشر جوان.

۸. مهرگان، محمدرضا (۱۳۸۶)، تصمیم‌گیری با چندین هدف، چاپ اول، تهران: انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

۹. مهرگان، محمدرضا (۱۳۸۳)، پژوهش عملیاتی پیشرفته، چاپ اول، تهران: نشر کتاب دانشگاهی.

10. F. Hosseinzadeh Lotfi, T. Allahviranloo, M. Alimardani Jondabeh, and N. A. Kiani, (2007), " A New Method for Complex Decision Making Based on TOPSIS for Complex Decision Making Problems with Fuzzy Data ", Vol 1. pp. 2981 – 2987

۱۱. آذر، عادل و رجب زاده، علی. (۱۳۸۱). تصمیم‌گیری کاربردی، تهران: نشر نگاه دانش.

۱۲. میرطهماسب، فروغ (۱۳۷۸). ارتباطات در انقلاب اسلامی، تهران: انتشارات میلغان.

۱۳. مرکز آموزش و پژوهش، واحد مهندسی تولید شرکت کابل‌های مخابراتی شهید قندی یزد (۱۳۷۴)، آشنایی با تولید کابل‌های مخابراتی مسی

منابع

۱. درویتیسیوتیس، کستاس؛ (۱۳۷۰). مدیریت عملیات (طراحی سیستم تولید) ترجمه احمد جعفرنژاد، تهران: نشر غیاث.

2. Tamiz, M. and Romer, C. (۱۹۹۸), " Goal Programming for Decision Making", Interfaces, Vol 12, pp. 42-52.

۳. زارع احمدآبادی، حبیب (۱۳۸۲). طراحی مدل ریاضی برنامه‌ریزی در کارخانه فرآورده‌های نسوز پارس (پایان نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه تربیت مدرس.

۴. کاظمی، عباس. کسای، مسعود (۱۳۸۰). مدیریت تولید و عملیات. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).

۵. زنجیرچی گازرگاه، محمود (۱۳۸۲). طراحی مدل ریاضی برنامه‌ریزی تولید در صنعت سیم و کابل (پایان نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه تربیت مدرس.

6. Korajewski, L. J, and Ritzman, L.P, (2001), "Operations Management", Prentice Hall, Sixth Edition, New Jersey