دانشکده ریاضی و علوم کامپیوتر

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته ریاضی کاربردی
گرایش تحقیق در عملیات

زمانبندی اصلی تولید با تمرکز بر سطوح مهارت و شخصیت کارگران

استاد راهنما

دکتر محمود امین طوسی

استاد مشاور

دکتر پرتانیان

پژوهشگر:

سارا نظام دوست

شهریور ماه ۱۳۹۷

سوگند نامه دانش آموختگان دانشگاه حکیم سبزواری

به نام خداوند جان و خرد کزین برتر اندیشه بر نگذرد

اینک که به خواست آفریدگار پاک، کوشش خویش و بهره گیری از دانش استادان و سرمایه های مادی و معنوی این مرز و بوم، توشه ای از دانش و خرد گردآورده ام، در پیشگاه خداوند بزرگ سوگند یاد می کنم که در به کارگیری دانش خویش، همواره بر راه راست ودرست گام بردارم. خداوند بزرگ، شما شاهدان، دانشجویان و دیگر حاضران را به عنوان داورانی امین گواه می گیرم که ازهمه دانش و توان خود برای گسترش مرزهای دانش بهره گیرم و از هیچ کوششی برای تبدیل جهان به جایی بهتر برای زیستن، دریغ نورزم. پیمان می بندم که همواره کرامت انسانی را در نظر داشته باشم و همنوعان خود را در هر زمان و مکان تا سر حد امکان یاری دهم. سوگند می خورم که در به کارگیری دانش خویش به کاری که با راه و رسم انسانی، آیین پرهیزگاری، شرافت و اصول اخلاقی برخاسته از ادیان بزرگ الهی، به ویژه دین مبین اسلام، مباینت دارد دست نیازم. همچنین در سایه اصول جهان شمول انسانی و اسلامی، پیمان می بندم از هیچ کوششی برای آبادانی و سرافرازی میهن و هم میهنانم فروگذاری نکنم و خداوند بزرگ را به یاری طلبم تا همواره در پیشگاه او و در برابر وجدان بیدار خویش و ملت سرافراز، بر این پیمان تا ابد استوار بمانم.

نام و نام خانوادگی: سارا نظام دوست

تاریخ و امضا:

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

با تلاوت آیاتی چند ازکلام ا... مجید جلسه دفاع از پایان نامه آقای /خانم **سارا نظام دوست** دانشجوی رشته ریاضی کاربردی به شماره دانشجویی ۹۳۲۳۱۳۳۰۱۴ با عنوان:

زمانبندی اصلی تولید با تمرکز بر سطوح مهارت و شخصیت کارگران

در ساعت مورخه در محل دانشکده دانشکده ریاضی و علوم کامپیوتر تشکیل گردید . پس از استماع گزارش ارائه شده توسط دانشجو و استاد راهنما هیات داوران و حاضران سئوالاتی را مطرح و آقای / خانم سارا نظام دوست به دفاع از موضوع پرداخت وبه سئوالات آنها پاسخ گفت . سپس پایان نامه توسط هیات داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و نمره برابر درجه برای آن تعیین گردید .

به این ترتیب ضمن تصویب پایان نامه مزبور از این تاریخ آقای/ خانم سارا نظام دوست به عنوان کارشناس ارشد در رشته ریاضی کاربردی شناخته می شود .

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	امضـــــــــــا
۱	استاد راهنما	دکترمحمود امین طوسی	استادیار	
۲	استاد مشاور	دکتر محمدعلی پرتانیان	استادیار	
۴ ۳	استاد داور	دکتر مرتضی جعفرزاده	استادیار	
۶ ۵	نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمدصادق نبوی ثالث	استادیار	

نام و نام خانوادگی وامضای مدیر گروه:

رونوشت:

- معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه جهت اطلاع
- معاونت پژوهشی دانشگاه جهت اطلاع
- آموزش دانشکده جهت درج در پرونده دانشجو
- دانشجو

تأییدیه ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب سارا نظام دوست به شماره دانشجویی ۹۳۲۳۱۳۳۰۱۴ دانشجوی رشته ریاضی کاربردی مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می نمایم که کلیه ی نتایج این پایان نامه حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده ام. درصورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: سارا نظام دوست

تاریخ و امضا:

مجوز بهره برداری از پایان نامه

بهره برداری از این پایان نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می شود، بلامانع است:

☐ بهره برداری از این پایان نامه برای همگان بلامانع است.

☐ بهره برداری از این پایان نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره برداری از این پایان نامه تا تاریخ ..... ممنوع است.

استاد راهنما: دکتر محمود امین طوسی

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

همسر وفرزند عزیزم

و

پدرم و مادرم

قدردانی

سپاس خداوندگار حکیم را که با لطف بی‌کران خود، آدمی را زیور عقل آراست.

در آغاز وظیفه خود می‌دانم از زحمات بی‌دریغ استاد راهنمای خود، جناب آقای دکتر محمود امین طوسی، صمیمانه تشکر و قدردانی کنم که قطعاً بدون راهنمایی‌های ارزنده ایشان، این مجموعه به انجام نمی‌رسید.

از جناب آقای دکتر محمدعلی پرتانیان که زحمت مطالعه و مشاوره این رساله را تقبل فرمودند و در آماده‌سازی این رساله، به نحو احسن اینجانب را مورد راهنمایی قراردادند، کمال امتنان را دارم.

همچنین لازم می‌دانم از گروه پارسی لاتک در پاسخگویی به مشکلات کاربران کمال قدردانی را داشته باشم.

در پایان، بوسه می‌زنم بر دستان خداوندگاران مهر و مهربانی، پدر و مادر عزیزم و بعد از خدا، ستایش می‌کنم وجود مقدس‌شان را و تشکر می‌کنم از خانواده عزیزم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان، که بهترین پشتیبان من بودند.

سارا نظام دوست

شهریور ماه ۱۳۹۷

دانشگاه حکیم سبزواری

فرم چکیده ی پایان نامه ی دوره ی تحصیلات تکمیلی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

نام خانوادگی دانشجو:نظام دوست	نام:سارا	ش. دانشجویی:۹۳۲۳۱۳۳۰۱۴
استاد راهنما: دکتر محمود امین طوسی		
استاد مشاور: دکتر پرتانیان		
دانشکده ریاضی و علوم کامپیوتر	رشته: ریاضی کاربردی	گرایش:تحقیق در عملیات
مقطع: کارشناسی ارشد	تاریخ دفاع:شهریور ماه ۱۳۹۷	تعداد صفحات: ۹۵
عنوان پایان نامه: زمانبندی اصلی تولید با تمرکز بر سطوح مهارت و شخصیت کارگران		
کلید واژه ها:زمانبندی تولید، سطوح مهارت ، سطوح شخصیت ، کارگران دائم و موقت		

چکیده: برنامه ریزی تولید به منظور داشتن عملکرد کارآمد، موثر و مقرون به صرفه در تولید استفاده شده است. در بسیاری از مدلها، وظیفه اصلی برنامه ریزی تولید کاهش هزینه هاست. در اینجا یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته MIP برای اختصاص کارگران دائمی و موقت با سطوح مختلف مهارت و شخصیت توسعه یافته است. و برای کاهش زمان محاسبات الگوریتم های ابتکاری و فرا ابتکاری را به کار می بریم.

فهرست مطالب

فهرست تصاویر د

فهرست جداول و

فهرست الگوریتم ها ز

پیش گفتار ۱

فصل ۱: برنامه ریزی نیروی کار ۲

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۱-۱ برنامه‌ریزی تولید ۲

۱-۱-۲ برنامه‌ریزی نیروی کار ۴

۱-۲ بیان مساله و اهمیت آن ۶

۱-۳ فرضیات مدل ۷

۱-۴ پیشینه پژوهش ۸

فصل ۲: زمانبندی اصلی تولید با کارگران دایم و موقت چندمهارته ۱۲

۲-۱ مقدمه ۱۲

۲-۲ فرضیات مدل ۱۲

۲-۳ پارامترهای مساله ۱۳

۲-۳-۱ ضرایب هزینه ۱۴

۲-۳-۲ تابع هدف مساله ۱۵

۲-۴ محدودیت‌های مساله ۱۵

۲-۴-۱ محدودیت توازن موجودی انبار ۱۵

۲-۴-۲ محدودیت توازن نیروی کار ۱۶
۲-۴-۳ محدودیتهای تخصیص منابع نیروی کار ۱۶
۲-۴-۴ محدودیت ظرفیت نیروی کار ۱۷
۲-۴-۵ محدودیت عدد صحیح ۱۸
۲-۵ تحلیل مثالی از عملکرد مدل ۱۸
۲-۵-۱ داده‌های تقاضای مثال ۱۹
۲-۶ پارامترهای کلیدی مدل ۲۰

فصل ۳: برنامه‌ریزی نیروی کار با لحاظ کردن سطح مهارت و شخصیتشان **۲۶**
۳-۱ مقدمه ۲۶
۳-۲ فرضیات مدل ۲۹
۳-۳ مدل پیشنهادی مساله ۲۹
۳-۳-۱ پارامترهای مساله ۳۰
۳-۳-۲ متغیرهای تصمیم گیری ۳۱
۳-۳-۳ تابع هدف ۳۱
۳-۳-۴ محدودیتهای مساله ۳۲
۳-۴ مثال عددی ۳۶
۳-۵ نگرشی بر تاثیرات تفاوت کارگران ۴۳
۳-۶ سیستم پشتیبانی تصمیم گیری ۴۵
۳-۷ بحث و گفتگو ۴۸
۳-۸ نتیجه گیری ۴۹

فصل ۴: اکتشافاتی در برنامه‌ریزی نیروی کار با تفاوت‌های کارگران **۵۱**
۴-۱ مقدمه ۵۱
۴-۱-۱ توصیف مدل ۵۲
۴-۲ پارامترهای مدل ۵۳
۴-۳ متغیرهای تصمیم‌گیری ۵۳
۴-۴ تابع هدف مساله ۵۴
۴-۴-۱ اکتشافی پیشنهادی ۵۶

۴-۵ اکتشافی LP۱ (LPH۱) ۵۶
۴-۵-۱ اکتشافی LP1 . . . . . ۵۷
۴-۵-۲ اکتشافی ۲ (LPH۲) ۵۸
۴-۶ الگوریتم عمومی GA ۶۰
۴-۶-۱ تنظیمات پارامتری برای GA ۶۲
۴-۷ رویکرد تفسیم فضای جواب SSP ۶۳
۴-۸ نتایج آزمایشات ۶۳
۴-۹ بیان مثالی از تولید نیمه رسانا ۶۴
۴-۱۰ مجموعه داده های تولید تصادفی ۶۶
۴-۱۰-۱ مدل چهار مهارتی ۶۶
۴-۱۰-۲ مدل ۲۵ مهارتی ۶۹
۴-۱۱ نتیجه گیری ۷۱

مراجع ۷۳

پیوست ۵: کدهای متلب ۷۶

واژه نامه فارسی به انگلیسی ۹۱

واژه نامه انگلیسی به فارسی ۹۳

فهرست تصاویر

۲-۱ ظرفیت تقاضای هفتگی ۲۰
۲-۲ هزینه‌های مربوط به تعداد کارکنان دائم $MPS-T$ ۲۱
۲-۳ هزینه‌های مربوط به تعداد کارکنان موقت $MPS-T$ ۲۲
۲-۴ . . . . . ۲۳
۲-۵ . . . . . ۲۴

۳-۱ . . . . . ۳۵
۳-۲ تقاضای مشخص مهارتهای کارگر در هفته [۷]. ۳۶
۳-۳ حضور کارگران$worker-hours$ ۳۷
۳-۴ نیروی کار موجود درهر سطح ماشین$worker$ ۳۷
۳-۵ نیروی کار موجود درهر سطح ماشین$worker$ ۳۸
۳-۶ نیروی کار موجود درهر سطح ماشین$worker$ ۳۹
۳-۷ نیروی کار موجود درهر سطح ماشین$worker$ ۴۰
۳-۸ نیروی کار موجود درهر سطح ماشین$worker$ ۴۱
۳-۹ نیروی کار موجود درهر سطح ماشین$worker$ ۴۲
۳-۱۰ . . . . . ۴۴
۳-۱۱ . . . . . ۴۶
۳-۱۲ . . . . . ۴۶

۴-۱ گامهای الگوریتم ژنتیکGA ۶۰
۴-۲ زمانGA ۶۴
۴-۳ زمانGA ۶۷
۴-۴ زمانGA ۶۸

۵-۴ زمانGA ۷۰

۵-۱ نمونه کد MATLAB ۷۷
۵-۲ نمونه کد MATLAB ۷۸
۵-۳ نمونه کد MATLAB ۷۹
۵-۴ نمونه کد MATLAB ۸۰
۵-۵ نمونه کد MATLAB ۸۱
۵-۶ نمونه کد MATLAB ۸۲
۵-۷ نمونه کد MATLAB ۸۳
۵-۸ نمونه کد MATLAB ۸۴
۵-۹ نمونه کد MATLAB ۸۴
۵-۱۰ نمونه کد MATLAB ۸۵
۵-۱۱ نمونه کد MATLAB ۸۵
۵-۱۲ نمونه کد MATLAB ۸۶
۵-۱۳ نمونه کد MATLAB ۸۷
۵-۱۴ نمونه کد MATLAB ۸۸
۵-۱۵ نمونه کد MATLAB ۸۸
۵-۱۶ نمونه کد MATLAB ۸۹
۵-۱۷ نمونه کد MATLAB ۹۰

فهرست جداول

۱-۱ مسائل مدیریت تولید ۳

۱-۲ ضرایب هزینه و پارامترها ۱۹

۲-۲ تقاضای هفتگی D_{ij} ۱۹

۱-۴ تنظیمات پارامترهای GA و نتایج مثال یک ۶۲

فهرست الگوریتم ها

پیش گفتار

امروزه با توجه به رقابتی شدن شرایط بازار،سازمان‌ها برای حفظ و بقا، به دنبال افزایش کارایی و بهینه‌سازی عملیات تولیدی خود هستند. ازاین رو،باید عوامل متفاوتی را در بحث بهینه‌سازی برنامه تولید مدنظر قرار دهند. عواملی نظیر نیروی انسانی، ماشین آلات و تجهیزات لازم، مقادیر موجودی مواد اولیه، قطعات و...، بستگی به مقادیر تولید محصول در این کارخانه دارد. مساله برنامه‌ریزی نیروی کار که زیر شاخه‌ای از برنامه‌ریزی تولید [۱] است، به دلیل تخصیص منابع در هر دوره زمانی با توجه به محدودیت‌ها و نیازهای سیستم و با هدف کمینه‌کردن هزینه‌ها، از اهمیت بالایی برخوردار است. برنامه‌ریزی نیروی کار [۲] با تخمین تعداد و نوع کارکنان مورد نیاز برای جذب، گزینش و آموزش باعث می‌شود تا افراد در زمان مناسب به سازمان اضافه شوند.

گسترش یک مدل ریاضی که بتواند همه عوامل مرتبط با نیروی انسانی را پیاده‌سازی کند، مساله‌ای چالش برانگیز است.

[۱] Production planning
[۲] Workforce planning

فصل ۱

برنامه ریزی نیروی کار

۱-۱ مقدمه

فرآیند برنامه‌ریزی تولید از پیش‌بینی و دریافت سفارش مشتری شروع شده، چگونگی براورد تقاضا، برنامه‌ریزی مواد مورد نیاز و برنامه‌ریزی کوتاه مدت، مراحل بعدی تولید یک محصول محسوب می‌شوند. تعیین برنامه تولید در هر سازمان تولیدی نقش مهم و موثری دارد. زیرا زمانبندی تولید باعث جلوگیری از انباشت سرمایه، کاهش ضایعات، کاهش و یا حذف بیکاری ماشین‌آلات و تلاش برای استفاده بهتر از آنها، پاسخگویی بموقع به سفارش‌های مشتریان و تامین مواد اولیه و قطعات مورد نیاز در موقع مناسب می‌شود.

دراین فصل، ابتدا مقدمه‌ای از برنامه‌ریزی تولید بیان می‌شود. سپس به معرفی مساله برنامه‌ریزی نیروی کار که زیر شاخه‌ای از برنامه‌ریزی تولید است، می‌پردازیم. در ادامه اهمیت نقش نیروی کار در مسائل برنامه‌ریزی مطرح می‌شود که به کارخانه‌های تولیدی کمک می‌کند تا برنامه‌ریزی دقیق‌تر و واقعی‌تری در سیستم خود داشته باشند.

۱-۱-۱ برنامه‌ریزی تولید

مطالب این بخش از [۵] گرفته شده‌است.

برنامه‌ریزی تولید برای موفقیت یک شرکت بسیار مهم است. این برنامه‌ها با تولید محصولات به تعداد کافی و در زمان مناسب، باعث کاهش زمان تولید و هزینه‌های آن می‌شوند.

در برنامه‌ریزی تولید میزان محصولاتی که برای پاسخگویی به تقاضا در دوره بعد نیاز است، مشخص می‌شود.

همچنین میزان موجودی وتعداد نیروی کاری و سایر منابعی که مورد نیاز است، نیز تعیین می‌شود.

تصمیم‌گیری در سیستم برنامه‌ریزی تولید با توجه به نوع فعالیت تغییر می‌کند. اگر در برنامه‌ریزی تولید مسئله موجودی خاصی مطرح باشد، مسائل عمده تصمیم‌گیری محدود می‌شود به این که چه اقلامی باید سفارش شود، چه مقدار سفارش شود و از کجا این سفارش تامین گردد. در تولید مسائل مطرح شده عبارتند از این که چه اقلامی ساخته شود، چه تعداد و چه وقت این تولید انجام پذیرد، و روش تولید برای این اقلام چیست. لذا ملاحظه می‌شود که در حیطه فعالیت‌های مختلف، مسائل تصمیم‌گیری متفاوت لازم است.

جدول ۱-۱: مسائل مدیریت تولید

حیطه مساله	تصمیمات ضروری
خرید	چه چیز خریداری شود، چه وقت خریداری شود، چه تعداد و از کجا خریداری شود.
تولید	چه چیز تولید شود، به چه روش و چه وقت تولید انجام پذیرد، و چه مقدار تولید انجام گیرد.
موجودی	چه چیزی می‌بایست به صورت موجودی نگهداری شود، چه وقت و چه تعداد موجودی لازم است.
توزیع	چه چیز توزیع شود، چه موقع، از کجا به کجا و چه قدر توزیع شود.
نیروی انسانی	چه مهارتی، در کجا، برای چه مدت و چه وقت لازم است.
تجهیزات و ماشین آلات	چه نوع، در کجا، با چه ظرفیت و چه وقت لازم است.

باتوجه به جدول ۱-۱ ، بطور خلاصه مسائل عمده تصمیم‌گیری را جهت کنترل خرید، تولید و توزیع در حیطه فعالیت‌های مختلف نشان می‌دهد.

مدیران در یک سیستم تولیدی می‌توانند تصمیمات متفاوتی را برای پاسخگویی به تقاضا با توجه به افق برنامه‌ریزی تولید بگیرند. تصمیمات لازم در مسائل تولیدی با توجه به دوره‌ی برنامه‌ریزی مشخص می‌شود. این تصمیمات به سه دسته کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تقسیم گردیده‌است که در زیر بطور مختصر در مورد هر یک از آنها بحث خواهیم کرد.

در برنامه‌ریزی بلند مدت باتوجه به شرایط بازار برای چندسال آینده، در مورد راه‌اندازی خطوط تولید و ظرفیت آنها تصمیم گرفته می‌شود. برهمین اساس، وسایل، تجهیزات و ماشین آلات تولید، حجم سرمایه لازم و سایر منابع تولیدی تخمین زده می‌شود و برای تامین آنها سرمایه گذاری لازم انجام می‌شود. دراین مرحله در مورد

توزیع محصول نیز تصمیم گرفته می‌شود. به این صورت که آیا توزیع مستقیما انجام شود و یا نمایندگی فروش این وظیفه را بعهده گیرد. حجم محصولات تولیدی در انبار و یا مراکز فروش چقدر باید باشد. چه حجمی از بازار قرار است توسط محصولات این کارخانه تامین شود و بسیاری از مسائل مشابه که در این دوره مشخص می‌شود. تصمیماتی که در مرحله بلند مدت گرفته می‌شود، معمولا یک دوره یکساله تا پنج ساله را شامل شده که دارای تجدید نظر فصلی یا سالیانه خواهد بود.

در برنامه‌ریزی میان مدت معمولا یک دوره سه ماهه تا یک ساله مورد نظر است که برنامه‌ها و تصمیمات، هفتگی یا ماهیانه مورد تجدید نظر قرار می‌گیرند. دراین مرحله در چهار چوب محدودیت‌های تعیین شده در برنامه بلند مدت برنامه جزئی‌تر تولید و خرید تعیین می‌گردد. دراین مرحله برنامه هفتگی یا ماهیانه تولید خطوط مختلف تعیین گردیده و باتوجه به ظرفیتها مشخص می‌شود که در کدام هفته یا ماه نیاز به اضافه کاری است، نیروی انسانی لازم در کارگاههای مختلف به چه میزان باید باشند، در چه ماه‌هایی باید بیش از تقاضا تولید نمود تا در ماه‌هایی که ظرفیت کمتر از تقاضا است، از محصول انبار شده استفاده نمود.

در برنامه‌ریزی کوتاه مدت بر مبنای برنامه میان مدت، برنامه جزئی عملیات تولیدی مشخص می‌شود. در این مرحله مشخص می‌شود که کدام کار باید توسط کدام ماشین انجام گیرد. کدام کارگر باید به کدام ماشین تخصیص یابد، اندازه دسته تولید قطعات چیست، ترتیب عملیات تولیدی یا سفارشات کدامست ،در صورتی که وقفه‌ای در تولید بوجود آید(به علت خرابی ماشین، کمبود مواد اولیه و حوادث دیگر) اولویت‌ها چه باید باشد، آیا باید از اضافه‌کاری برای جبران وقفه استفاده نمود یا خیر و بسیاری دیگر از این قبیل مسائل در این مرحله برنامه‌ریزی مشخص می‌شود. این مرحله برنامه‌ریزی که دارای دوره هفتگی یا ماهیانه است، بصورت روزانه تصمیمات و برنامه‌ها مورد تجدید نظر قرار می‌گیرند.

۱-۱-۲ برنامه‌ریزی نیروی کار

برنامه‌ریزی نیروی کار در سازمان فرآیندی است که بوسیله‌ی آن، سازمان معین می‌کند که برای رسیدن به اهداف خود به چه تعداد کارمند با چه تخصص و مهارت‌هایی، برای چه مشاغلی و در چه زمانی نیاز دارد. طیف وسیعی از مسائل مربوط به برنامه‌ریزی کارمندان و کارگران کارخانجات و شرکت‌های خدماتی به برنامه‌ریزی نیروی انسانی اختصاص دارد. هدف از این کار، استفاده از حداقل نیروی کار مورد نیاز به منظور کامل کردن اهداف تولیدی از پیش تعیین شده‌است. عواملی همچون "ایام تعطیل" ،"نوع تخصص"، "استخدام و اخراج کارگران موقت" ،"گردش شغلی"، "درجه مهارت"، "سطح تجربه کارکنان" یا تمایل آنها برای خدمت در یک شیفت خاص نقش موثری در زمانبندی نیروی انسانی ایفا می‌کنند. بنابراین، ارائه مدلی جامع و کارآمد که بتوانند همه مولفه‌های

برنامه‌ریزی نیروی انسانی را بطور هماهنگ پوشش دهد، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

بروکر [۱] و همکاران موارد زیر را برای انعطاف‌پذیری نیروی کار بیان می‌کنند:

استخدام و اخراج کارگران موقت: یک راه معمول برای پاسخگویی به تقاضای فصلی است. به این صورت که با افزایش تقاضا به استخدام کارگران موقت روی آورده و با کاهش تقاضا نیروی اضافی موجود را اخراج می‌کنیم.

آموزش آموزش بمنظور افزایش عمکرد کارگران (کیفیت، سرعت کار و کارایی) صورت می‌گیرد و به کارگر اجازه می‌دهد که بتواند کار دیگری را نیز انجام دهد. با آموزش می‌توانیم کمبود نیروی کار ماهر را جبران کنیم. آموزش می‌تواند برای یک و یا چند مهارت برنامه ریزی شود. این موضوعات سوالاتی را بوجود می آورد.سوالاتی مانند:

۱.به چه کارگرانی آموزش دهیم؟

۲.چه مهارت‌هایی را آموزش دهیم؟

۳.چه موقع این آموزش باید انجام شود؟

یادگیری و فراموشی هرقدر تکرار و تمرین در انجام یک فعالیت بیشتر باشد، زمان لازم برای انجام آن فعالیت کاهش می‌یابد تا به یک زمان معینی می‌رسد و انجام فعالیت هم بصورت عادی در می‌آید. بنابراین هنگامی که یک کالای جدیدی تولید می‌شود بدیهی است که اولین، دومین و سومین و... دارای زمان ساخت متفاوت است و خودبخود محصولات اولیه زمان ساخت بیشتری به خود تخصیص می‌دهند تا اینکه با تکرار تعداد دفعات، تولید آن محصول بصورت یک فعالیت روتین در می‌آید و به زمان نرمال خود می‌رسد، در این صورت بیان می‌شود که فرد مهارت بیشتری در تولید آن محصول بدست آورده‌است. رایت [۲] در سال ۱۹۳۶ برای اولین بار، توجه افراد را به منحنی یادگیری جلب نمود. وی نشان داد که چگونه هزینه نیروی کاری با افزایش مهارت در انجام آن کار کاهش می‌یابد ،فراموشی زمانی رخ می‌دهد که کارگر کاری را برای مدتی انجام نمی‌دهد.

استعفای داوطلبانه نیروی کار سانگ [۳] و هوانگ [۴] فرض کردند که درصد ثابتی از نیروی کاری بصورت داوطلبانه استعفا می‌دهند.

استخدام داوطلبان متقاضی کار استخدام این کارگران گزینه دیگری برای افزایش انعطاف‌پذیری نیروی کار است. استفاده مناسب از این کارگران بسیار مهم است . زیرا در صورت استفاده بیش از حد ممکن است تعداد

---

[۱] Brooker
[۲] Wright
[۳] Sung
[۴] Huang

درخواست‌های کمتری را در آینده شاهد باشیم. همچنین کیفیت کاری که به آنها واگذار می‌شود نیز در درخواست دوباره آنها برای دوره‌های بعدی موثر است.

۱-۲ بیان مساله و اهمیت آن

برنامه‌ریزی تولید یکی از مهمترین وظایف مدیریت تولید و عملیات است و درباره تعیین مقدار بهینه تولید، نیروی کار و سطح موجودی برای هر دوره زمانی، با در نظر گرفتن منابع و محدودیت‌ها تصمیم‌گیری می‌کند.

در حال حاضر مدیران تولید سعی در استفاده از روشهای مختلف در بهینه‌سازی سیستم های تولیدی دارند. یکی از ابعاد مهم در بهینه‌سازی تعیین، تخصیص و استفاده بهینه از نیروی انسانی در بخش تولید است. امروزه مبحث نیروی انسانی اهمیت زیادی پیدا کرده‌است و نقش بسزایی در بهره‌وری سیستم تولید دارد.

برنامه‌ریزی نیروی انسانی با تخمین تعداد و نوع کارکنان مورد نیاز برای جذب، گزینش و آموزش باعث می‌شود تا افراد در زمان مناسب به سازمان اضافه شوند. از جمله راهکارهای ارائه شده در این مبحث، آموزش نیروی انسانی است که در آن، مهارتهای مورد نیاز برای تولید محصولات مختلف در هر یک از خطوط تولید به کارگران آموزش داده می‌شود. آموزش نیروی انسانی سبب می‌شود تا کارگران بتوانند براحتی بین ایستگاه‌های کاری مختلف جابجا شوند و انعطاف‌پذیری سیستم تولید را افزایش دهند.

در برنامه‌ریزی تولید کارخانه متشکل از چند خط جریان تولید می‌باشد که هر یک شامل تعدادی ایستگاه کاری بطور سری است. عملیات اصلی هر ایستگاه کاری، دستی مونتاژ شده‌است اما می‌تواند به استفاده از برخی تجهیزات ماشینی هم نیاز داشته باشد. بنابراین مدیر می‌تواند نرخ تولید را با تغییردادن تعداد کارگرانی که به یک خط تولید تخصیص می‌دهد، منطبق با تقاضا تغییر دهد. کارگران کارخانه دائمی یا موقت و ماهر یا غیرماهر می‌باشند. کارگران دائمی را نمی‌توان اخراج کرد در حالی که کارگران موقت اجاره‌ای اند و در صورت نیاز می‌توانند کنار گذاشته شوند.

تصمیمات استخدام یا اخراج، در شروع هر دوره ی زمانبندی انجام می‌شود که هزینه‌های مربوط به اجاره و اخراج کارگران موقت نیز وجود دارد. عرض می شود که منابع نیروی کار، با مراکز و عملیات شرکت آشنایی داشته‌باشند و بنابراین به هیچ‌گونه تمرین خاصی نیاز نباشد. بسیاری از عملیات تولیدی به سطوح بیشتری از مهارت و تخصص نیاز دارد و بنابراین باید توسط کارکنان ماهر انجام شود زمانی که تمام کارکنان ماهر هستند، هر کارگر موقت، یا به عنوان ماهر یا به عنوان غیرماهر تعیین می‌شوند. هر کارگر موقتی که تمام شروط زیر را داشته باشد می‌تواند تحت عنوان کارگر موقت سطح ماهر رده‌بندی می‌شود:

- آشنایی مناسب با عملیات‌های پردازشی کارخانه
- داشتن دانش کار با تجهیزات تخصصی مورد استفاده
- توانایی ایجاد تمایز بین محصول خوب و بد
- داشتن تجربه‌ی کاری در زمینه‌های مرتبط حداقل به مدت سه سال

۳-۱ فرضیات مدل

فرضیات اصلی مدل MPS-T به شرح ذیل می‌باشد:

- کارخانه چند محصول تولید می‌کند. هر خط تولید می‌تواند بیش از یک محصول تولید کند، در هر حال، هر محصول می‌تواند تنها در یک خط تولید تخصصی تولید شود.
- به هر ایستگاه کاری یک منبع نیروی کار تخصیص داده شده تا بار تولیدش را انجام دهد. بر اساس پیچیدگی عملیات اجرایی، ایستگاه‌های کار با عناوین ماهر یا غیر ماهر نامگذاری می‌شوند.
- کارکنان را می توان به یک یا چند ایستگاه کاری در دوره ی مشابه تخصیص داد، تنها محدودیت این است که یک کارگر غیر ماهر را نمی‌توان به یک ایستگاه کاری ماهر تخصیص داد.
- زمان پردازش واحد هر ایستگاه کاری، مشخص بوده و برای دسته‌های کارکنان مشابه است.
- ظرفیت تولیدی هر خط را می‌توان با افزایش کارکنان، افزایش داد. این افزایش فراتر از تجهیزات قابل استفاده یا محدودیت‌های فضایی موجود است.
- هر ایستگاه کاری می‌تواند نسبت محدودی داشته باشد که حداقل تعداد کارکنان دائمی را تعیین می‌کند. این نسبت را میتوان با تجهیزات خاص، نیازهای نظارتی یا فعالیت‌های کنترل کیفیت مشخص کرد.
- اجاره و اخراج کارکنان موقت درآغاز هر دوره رخ می‌دهد و هر کارگر موقت باید حداقل برای یک دوره استخدام شود.
- تمام کارکنان می‌توانند برای چند ساعت محدود، اضافه کار داشته باشند.

استفاده از نیروی کاری چند مهارته، عامل دیگری برای افزایش بهره‌وری یک سیستم تولیدی است. بدیهی است در کارخانه‌ای که از نیروی کاری چند مهارته استفاده می‌کند، تعداد کارگران کمتری در فعالیت هستند. زیرا کارگرانی که فقط قادر به انجام فعالیت در یک ایستگاه کاری هستند، ممکن است یک فاصله زمانی را منتظر بماند. در صورتی که یک نیروی کاری چند مهارته که دانش و مهارت‌هایی در بیشتر از یک ایستگاه کاری دارد،بجای انتظار برای کار تخصصی مربوطه می تواند در ایستگاه‌های کاری دیگر مشغول به کار شود. این امر موجب کاهش ساعات بیکاری و به تبع آن باعث کاهش هزینه‌ها خواهد شد.

۱-۴ پیشینه پژوهش

در سالهای گذشته پژوهش‌های بسیاری به منظور مدلسازی برنامه‌ریزی تولید در سیستم‌های تولیدی انجام شده است و مقالات مختلفی پیرامون برنامه‌ریزی نیروی انسانی در این حوزه، ارائه شده‌است. در این بخش مدلهای ارائه شده برای مساله برنامه‌ریزی نیروی کار را بررسی می‌کنیم.

در بسیاری از شرکتهای صنعتی استفاده از کارگران موقت در حال افزایش است. این استراتژی در زمانی که تقاضا متغیر است، می‌تواند مفید باشد، زیرا با افزایش و یا کاهش تعداد کارگران موقت، می‌توان تقاضای موجود را برطرف کرد. افزون بر این، نگهداشتن تعداد زیادی نیروی کار دائم در چنین شرایطی از لحاظ اقتصادی به صرفه نیست. کارهای اصلی در این زمینه مربوط به جانسون و مونتگمری و هکس و کندیا است.

مفهوم کارگران موقت در بسیاری از مدلها استفاده شده‌است و استفاده عملی از آن در حال افزایش است و بعنوان یک راه‌حل برای پاسخگویی به تغییرات تقاضا و کوتاه کردن دوره تاخیر تا دریافت تقاضا است. گروسمن متذکر می‌شود که تعداد کارگران موقت در شرکت‌های صنعتی در دو دهه آخر قرن گذشته افزایش یافته است. استفاده از کارگران موقت در گذشته بعنوان یک راه حل مقطعی استفاده شده‌است. در حالیکه امروزه بعنوان یک استراتژی رایج برای مدیران است.

کنلی [۵] و گالاجهر [۶]

مرور جامعی بر تحقیقات مربوط به کارگران موقت و کارگران مشروط (کارگرانی که بصورت پاره وقت و در مواقع ضروری مورد استفاده قرار می‌گیرند. این افراد معمولا برای انجام پروژه‌های کوتاه‌مدت انتخاب می‌شوند) داشته‌اند. مینلر [۷] و پینکر [۸] مفهوم کارگران مشروط را معرفی کرده و بعنوان یک راه حل برای پاسخ به تغییرات تقاضا در نظر گرفته‌اند. پینکر و لارسن [۹] مدلی ارائه کرده‌اند که در آن تعداد کارگران دائم و مشروط را با هدف کمینه کردن هزینه نیروی کار و هزینه انبار داری تحت شرایط عدم قطعیت در تقاضا مشخص می‌کنند.

---

[۵] Kenly
[۶] Gallagher
[۷] Milner
[۸] Pinker
[۹] Larson

ونکاتارامن [۱۰] و اسمیت [۱۱] مدلی سلسله مراتبی به منظور استخدام و اخراج نیروی کار ارائه کرده اند. جارمن [۱۲] و همکارن عملکرد کارگران موقت با سطح مهارت‌های مختلف را بررسی کرده‌اند. بر اساس نتایجی که از ۹۶ شرکت مختلف داشتند، آنها دریافتند که کارگران موقت می‌توانند همانند کارگران عادی با همان کیفیت کار کنند. در حالیکه بر پایه پژوهش‌های بعدی، پژوهشگران مشاهده نمودند که قابلیت کارگران موقتی که استخدام می‌شوند ممکن است همانند کارگران دائم نباشد. گبشوش [۱۳] و تورین [۱۴] رابطه بین مهارت کارگران و کیفیت محصول را بررسی کرده‌اند. آنها دریافتند که کارگر با مهارت پایین‌تر محصولی با سطح کیفیت پایین‌تری را تولید می‌کند. عزیزی [۱۵] و همکاران مدلی برای گردش شغلی کارگران ارائه کردند که در آن، هدف بدست آوردن بازه گردش شغلی بهینه است بطوریکه تاخیر بوجود آمده بدلیل نداشتن مهارت لازم برای انجام آن کار، مینیمم شود.

این مقاله به تخصیص کارگران چند مهارته به ایستگاههای کاری می‌پردازد. عزیزی و لیانگ [۱۶] در ادامه کار فوق فرض آموزش به کارگران را به مساله اضافه کردند. آنها هزینه آموزش را تحت تاثیر گردش شغلی، یادگیری و فراموشی کارگران قرار دادند. به این صورت که با تغییر مناسب بازه‌های گردش شغلی، مهارتهای کارگران دچار فراموشی نمی‌شود و بنابراین نیاز به آموزش دوباره ازبین نمی‌برد. تابع هدف مدل مذکور به مینیمم‌سازی هزینه آموزش عدم بهره‌وری می‌پردازد. مون [۱۷] و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای تخصیص کارگران ماهر و غیر ماهر به ایستگاههای کاری در مساله بالانس خطوط مونتاژ ارائه کرده‌اند.

همچنین با توجه به NP-hard بودن مساله فوق، مون وهمکاران یک الگوریتم ژنتیک به منور بدست آوردن جواب‌های کارا برای مسائل بزرگ ارائه کرده‌اند. تابع هدف مدل آنها هزینه‌های سالانه ایستگاه کاری و حقوق کارگران ماهر و غیرماهر را مینیمم می‌کند.

فولر [۱۸] و همکاران با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط به استخدام، اخراج و آموزش کارگران پرداخته و تابع هدف آنها هزینه‌های فوق را مینیمم می‌کند. در این مدل کارگران چند مهارته هستند و تعداد افرادی که باید یک مهارت را آموزش ببینند، مشخص می‌شود. آنها با ارائه روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری (الگوریتم ژنتیک) به حل مساله فوق پرداخته‌اند. مک و دونالد [۱۹] مدل تخصیص کار به کارگران را ارائه کرده‌اند که در آنها، مهارتها سطح‌بندی‌شده و آموزش کارگران برای رفع کمبود مهارتهای مورد نیاز در نظر گرفته‌شده است. همچنین فرض شده که کارگران موقت جای خالی کارگران در حال آموزش را پر می‌کنند. گردش شغلی در مدل آنها به این صورت است که کارگرانی که دارای چند مهارت هستند، به گونه ای به ایستگاه‌های کاری تخصیص می‌یابند که در کل دوره‌های زمانی، از تمام مهارت‌هایشان استفاده می‌شود. در تابع هدف مدل پیشنهادی مک دونالد وهمکاران، هزینه انبارداری، آموزش و هزینه کیفیت پایین محصول مینیمم می‌شود.

---

[۱۰] Venkataraman
[۱۱] Smith
[۱۲] Jarman
[۱۳] Gabszewicz
[۱۴] Turrini
[۱۵] Azizi
[۱۶] Liàng
[۱۷] Moon
[۱۸] Fowler
[۱۹] McDonald

انعطاف پذیری نیروی کار، مانع موثری در مقابل شکل‌های مختلف نوسان در سیستم‌های تولیدی است. این انطعاف را می‌توان به چند روش از جمله استفاده از کارگران موقت، اضافه کار، و کارکنان مقطعی، به دست آورد. کار مقطعی به شرکتها امکان بهره‌بردای موثر از کارکنان را می‌دهد. در هر حال کار مقطعی، می‌تواند به علت هزینه‌های آموزش، افزایش حقوق کارکنان، و از دست دادن نیروی کار یا بازدهی در دوره آموزشی، بسیار گران باشد. بنابراین آموزش مقطعی، باید پس از ملاحظه‌ی دقیق راهکارهای مختلف و هزینه‌های آنها اجرا شود.

در این بخش، ادبیات مربوط به برنامه‌ریزی نیروی کار و آموزش مقعطی آن پوشش داده می‌شود. بسیاری از مدل‌های کمی مثل بهینه‌سازی، اکتشاف، و شبیه‌سازی، به منظور حل مسائل آموزش مقطعی کارکنان مطرح شده‌اند. در حوزه بهینه‌سازی، چندین پژوهشگر، از برنامه‌ریزی عدد صحیح (IP) برای تعیین تخصیص نیروی کار، زمان‌بندی نیروی کار، و سیاست‌های آموزشی بهینه استفاده کرده‌اند. مثلا ایبلینگ و لی، یک مدل IP را برای به صرفه‌ساختن تخصیص آموزش مقطعی معرفی کردند. سوئر یک MIP که سطوح متناوبی از عملگرها تولید کرده و IP که تخصیص عملگرهای بهینه را به سلول‌ها می‌یابد، معرفی کرد. بیلونت [۲۰] مسئله زمان‌بندی تخصیص نیروی کار را با سطوح مختلف صلاحیت نیروی کار به منظور حداقل‌سازی هزینه‌های نیروی کار، فرمول‌سازی کرد. نورمن [۲۱] و همکاران یک مدل MIP را برای تخصیص کارکنان در سلول‌های تولید به منظور حداکثرسازی سود پیشنهاد کردند. پژوهش‌های قابل ملاحظه دیگری در این زمینه وجود دارد که بخشی از مرتبط‌ترین نمونه‌ها، ستووارت و همکاران، بروسکو و جانز، بروسکو و همکاران و کمپبل هستند.

محوریت مقالاتی که در بالا گفته‌شد، استفاده از IP برای یافتن راه‌حل بهینه است. در هر حال با افزایش پیچیدگی مدل، اغلب حل مدل‌های برنامه‌ریزی نیروی کار IP در میزان زمان معقول، غیر ممکن می‌شود. چندین پژوهشگر، الگوریتم‌های اکتشافی را برای حل این مسائل معرفی کرده‌اند. وایراکتاراکیس [۲۲] و وینچ [۲۳] الگوریتم‌های اکتشافی را برای حل مسئله ی زمان‌بندی تولید و آموزش مقطعی در یک سیستم هم گذاری مدل مرکب معرفی و فرمول‌سازی کردند. اکتشافی‌ها، مبتنی بر حل کران پایین با استفاده از شاخه و کران هستند.

نمبهارت [۲۴] یک رویکرد شدیدا اکتشافی را بر اساس نرخ یادگیری فردی برای ارتقای بازدهی در سازمان‌ها از طریق تخصیص هدف نیروی کار به وظایف، توصیف کرد. اسکین و هوانگ، چندین اکتشافی را (شدید، پرتویاب، و حرارت‌دهی مشابه) برای یک مدل بهینه‌سازی چندمنظوره در جهت تشکیل تیم‌های کاری و برنامه آموزش مقطعی برای تولید سلولی، توصیف کردند. نتایج نشان داد که اکتشافی پرتویاب، هنگامی به حرارت‌دهی مشابه قابل ترجیح است که زمان محاسبات و حافظه محدود باشد. کمپبل [۲۵] و دیابی [۲۶] یک اکتشافی تخصیصی ر ا برای تخصیص کارکنان آموزش مقعطی پیشنهاد دادند.

---

[۲۰] bilont
[۲۱] Norman
[۲۲] Vairaktarakis
[۲۳] Winch
[۲۴] Nambhartt
[۲۵] Campbell
[۲۶] Diaby

لوکس [۲۷] و جاکوبز [۲۸] یک اکتشافی را برای تخصیص کارکنان به منظور حداقل‌سازی استخدام مازاد، معرفی کردند. این اکتشافی، از رویکرد اصلاح در تثبیت یک مسئله استفاده می‌کرد. یعنی مسئله با شرطی ثابت حل شده و اکشتافی، تخلفات را برطرف می‌کرد. رویکرد اصلاحی توسط ویراجتاراکیس و همکاران نیز در طراحی الگوریتم‌های اکتشافی برای حداقل‌سازی اندازه نیروی کار و تعداد چرخه‌های تولید در یک فروشگاه شغلی و توسط برنچ [۲۹] و ویلسون [۳۰] برای طراحی الگوریتم اکتشافی در مسئله‌ی تخصیص تعمیمی چند سطحی مورد استفاده قرارگرفت. ویراکتاراکیس و همکاران نشان دادند که اکتشافی، عملکرد نزدیک به بهینه دارد. در پژوهش حاضر، از رویکرد اصلاحی روی یک تثبیت در طراحی اکتشافی استفاده می‌شود.

[۲۷] Lux
[۲۸] Jacobs
[۲۹] Branch
[۳۰] Wilson

فصل ۲

زمانبندی اصلی تولید با کارگران دایم و موقت چندمهارته

۲-۱ مقدمه

در این فصل،مساله زمابندی اصلی تولید به صورت یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط مدلسازی می‌شود که هدف آن کمینه‌سازی هزینه کل تولید باتوجه به محدودیت‌های مختلف است. تکاوبین‌وانگ [۱] و همکاران [۵] در مدلسازی مساله زمانبندی اصلی تولید، هزینه‌های استخدام، اخراج، اضافه کاری، سفارش عقب افتاده و انبارداری را کمینه می‌کنند که در زیر این مدل ارائه شده است.

۲-۲ فرضیات مدل

فرضیات کلیدی مدل به شرح زیر است:

- کارخانه چند محصول تولید می‌کند. هر خط تولید می‌تواند بیش از یک محصول تولید کند و هر محصول می‌تواند تنها در یک خط تولید تخصصی تولید شود.
- به هر ایستگاه کاری یک منبع نیروی کار تخصیص داده شده تا بار تولیدش را انجام دهد. بر اساس پیچیدگی عملیات اجرایی، ایستگاه‌های کار با عناوین ماهر یا غیر ماهر نامگذاری می‌شوند.

[۱] Techawiboonwong

- کارکنان را می‌توان به یک یا چند ایستگاه کاری در دوره‌ی مشابه تخصیص داد، تنها محدودیت این است که یک کارگر غیر ماهر را نمی‌توان به یک ایستگاه کاری ماهر تخصیص داد.
- زمان پردازش هر ایستگاه کاری، مشخص بوده و برای دسته‌های کارکنان مشابه است.
- ظرفیت تولیدی هر خط را می‌توان با افزایش کارکنان، افزایش داد. این افزایش فراتر از تجهیزات قابل استفاده یا محدودیت‌های فضایی موجود است.
- هر ایستگاه کاری می‌تواند نسبت محدودی داشته باشد که حداقل تعداد کارکنان دائمی را تعیین می‌کند. این نسبت را می‌توان با تجهیزات خاص، نیازهای نظارتی یا فعالیت‌های کنترل کیفیت مشخص کرد.
- استخدام و اخراج کارکنان موقت درآغاز هر دوره رخ می‌دهد و هر کارگر موقت باید حداقل برای یک دوره استخدام شود.
- تمام کارکنان می توانند برای چند ساعت محدود، اضافه کار داشته باشند.

۳-۲ پارامترهای مساله

در این قسمت، پارامترهای لازم برای مدلسازی مساله را معرفی می‌کنیم.

t : دوره زمانی برنامه‌ریزی که $t = ۱, ۲, ..., T$

i : محصولات ساخته شده $i = ۱, ۲, ..., N$

k : خطوط جریان تولید $k = ۱, ۲, ...M$

j : ایستگاه‌های هر خط جریان $j = ۱, ۲, ..., J_k$

W : کارکنان دائمی کارخانه

C_k : حداکثر ظرفیت خط k که با حداکثر تعداد کارکنان تعریف می‌شود

h : ساعات تولید منظم برای هر کارگر در هر دوره

A : حداکثر ساعات اضافه‌کار برای هر کارگر در هر دوره

L_{jk} : رده‌بندی مهارت ایستگاه‌های k, j که ماهر=۰ و غیر ماهر=۱

P_{ijk} : زمان تولید واحد برای محصول i در ایستگاه‌های k, j

$IMAX_i$: حداکثر سطح مجاز انبار محصول i

$D_{i,t}$: تقاضای پیش‌بینی شده برای محصول i در دوره t

ω : حداقل نسبت مجاز منابع کارگران دائم در ایستگاه کاری

۲-۳-۱ ضرایب هزینه

در نظر می‌گیریم:

α^s : متوسط دستمزد برای هر کارگر موقت ماهر در هر دوره

α^u : متوسط دستمزد برای هر کارگر موقت غیرماهر در هر دوره

β^s : هزینه اجاره ی کارگر موقت ماهر

β^u : هزینه اجاره ی کارگر موقت غیرماهر

θ^s : هزینه اخراج یک کارگر موقت ماهر

θ^u : هزینه اخراج یک کارگر موقت غیرماهر

π^s : هزینه اضافه کار کارگر موقت ماهر در هر ساعت

π^u : هزینه اضافه کار کارگر موقت غیرماهر در هر ساعت

π^ω : هزینه اضافه کار کارگر دائم

δ_i : هزینه سفارش بازگشتی محصول i در هر واحد

λ_i : هزینه واحد نگهداری انبار محصولi در هر روز

$R^s(t)$: تعداد کارگر ان موقت ماهر اجاره شده در شروع دوره یt

$R^u(t)$: تعداد کارگران موقت غیر ماهر اجاره شده در شروع دوره یt

$F^s(t)$: تعداد کارگران موقت ماهر اخراج شده در شروع دوره‌ی t

$F^u(t)$: تعداد کارگران موقت غیرماهر اخراج شده در شروع دوره‌یt

$H^\omega_{jk}(t)$: ساعات تخصیص داده شده به کاکنان دائمی در ایستگاه j,k

$H^s_{jk}(t)$: ساعات تخصیص داده شده به کارکنان موقت ماهر در ایستگاه j,k

$H^u_{jk}(t)$: ساعات تخصیص داده شده به کارکنان موقت غیر ماهر در ایستگاه j,k

$S(t)$: کل کارکنان موقت ماهر استخدام شده در دوره‌ی t

$U(t)$: کل کارکنان موقت غیر ماهر استخدام شده در دوره‌ی t

$B_i(t)$: مقدار سفارش بازگشتی محصول iدر دوره‌ی t

$X_i(t)$: مقدار تولید محصول i در دوره‌ی t

$O^\omega_{jk}(t)$: ساعات اضافه کار تخصیص داده‌شده به کارکنان دائم در دوره‌یt

$O^s_{jk}(t)$: ساعات اضافه کار تخصیص داده شده به کارکنان ماهر موقت در دوره‌ی t

$I_i(t)$: سطح موجودی انبار از محصول tدر دوره‌ی t

۲-۳-۲ تابع هدف مساله

تابع هدف MPS-T که به مینیمم‌سازی هزینه‌ها، شامل دستمزد روزانه‌ی ماهر/ غیرماهر و اضافه کار دائم و اضافه‌کاری ماهر/ غیرماهر و استخدام و اخراج ماهر/ غیرماهر و نگهداری موجودی و سفارشات عقب افتاده می‌پردازد، بصورت زیر ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned} minz = \sum_{t=1}^{m} [&(\alpha^S S(t) + \alpha^U U(t)) \\ &+ (\pi^W O^W_{jk}(t) + \pi^S O^S_{jk}(t) + \pi^U O^U_{jk}(t)) \\ &+ (\beta^S S(t) + \beta^U R^U(t)) \\ &+ (\theta^S F^S(t) + \theta^U F^U(t)) \\ &+ \sum_i \lambda_i I_i(t) \\ &+ \sum_i \delta_i B_i(t)] \end{aligned} \qquad (۱-۲)$$

۲-۴ محدودیت‌های مساله

۲-۴-۱ محدودیت توازن موجودی انبار

$$I_i(t) - B_i(t) = I_i(t-1) - B_i(t-1) + X_i(t) - D_i(t) \qquad \forall i, t \qquad (۲-۲)$$

محدودیت (۳-۱۸) تضمین می‌کند که تقاضای مورد نیاز به دست آمده‌است. در جایی که این تقاضا بیش از حد باشد، سفارش‌های برگشتی از طریق این شرط پیگیری می‌شود.

$$I_i(t) \leq IMAX_i \qquad \forall i,t \qquad (۳-۲)$$

محدودیت (۲-۳) تضمین می‌کند که حداکثر موجودی خاص برای آن محصول بیش از حد نباشد.

$$B_i(t) = ۰ \qquad \forall i \qquad (۴-۲)$$

محدودیت (۲-۴) تضمین می‌کند که تمام سفارشات برگشتی پیش از پایان دوره‌ی زمان‌بندی شده مشخص شوند. توجه داشته باشید که IMAX را می‌توان از طریق بسیاری از عوامل مثل فضاهای انبار قابل استفاده یا نیم عمر محصول تعیین کرد.

۲-۴-۲ محدودیت توازن نیروی کار

$$S(t) = S(t-۱) + R^S(t) - F^S(t) \qquad \forall t \qquad (۵-۲)$$

$$U(t) = U(t-۱) + R^U(t) - F^U(t) \qquad \forall t \qquad (۶-۲)$$

محدودیت‌های (۲-۵) و (۲-۶) تعداد کارکنان موقت ماهر و غیر ماهری که اخیرا استخدام شده‌اند را تحت نظر قرار می‌دهد.

۲-۴-۳ محدودیتهای تخصیص منابع نیروی کار

$$\sum_i X_i(t) P_{ijk} \leq H^W_{jk}(t) + H^S_{jk}(t) + H^U_{jk}(t) + O^W_{jk}(t) + O^S_{jk}(t) + O^U_{jk}(t) \qquad (۷-۲)$$

محدودیت (۲-۷) تضمین می‌کند که منابع انسانی کافی تخصیص داده شده به یک ایستگاه کاری، تولید برنامه‌ریزی شده را برآورده کند.

$$H^U_{jk}(t) = ۰ \qquad if\ L_{jk} = ۰ \qquad \forall j,k,t \qquad (۲-۸)$$

$$O^U_{jk}(t) = ۰ \qquad if\ L_{jk} = ۰ \qquad \forall j,k,t \qquad (۲-۹)$$

محدودیت‌های (۲-۸) و (۲-۹) تضمین می‌کند که کارکنان غیرماهر به یک ایستگاه کاری که با عنوان ماهر رده بندی شده، تخصیص نیابد. در مدل MPS-T نسبت منابع کاری دائم به کل منابع تخصیص داده شده به یک ایستگاه کاری، کران پایین نباشد. این نسبت تضمین می‌کند که اقدامات نظارت و بررسی کیفیت کارمندان باکفایتی دارند.

$$(۱-\omega)H^W_{jk}(t) \geq \omega H^S_{jk}(t) + \omega H^U_{jk}(t) \qquad \forall j,k,t \qquad (۲-۱۰)$$

$$(۱-\omega)O^W_{jk}(t) \geq \omega O^S_{jk}(t) + \omega O^U_{jk}(t) \qquad \forall j,k,t \qquad (۲-۱۱)$$

محدودیت (۲-۱۰) و (۲-۱۱) این نسبت را برای تولیدات منظم و اضافه کار تقویت می‌کند.

۲-۴-۴ محدودیت ظرفیت نیروی کار

$$W \geq \frac{۱}{h}\sum_j \sum_k H^W_{jk}(t) \qquad \forall t \qquad (۲-۱۲)$$

$$S(t) \geq \frac{۱}{h}\sum_j \sum_k H^S_{jk}(t) \qquad \forall t \qquad (۲-۱۳)$$

$$U(t) \geq \frac{۱}{h}\sum_j \sum_k H^U_{jk}(t) \qquad \forall t \qquad (۲-۱۴)$$

محدودیت‌های (۲-۱۲) تا (۲-۱۴) تضمین می‌کند که مقدار کل زمان منظم تخصیص داده شده به نیروی

کار، از ظرفیت نیروی کار قابل استفاده در هر دسته فراتر نرود.

$$AW \geq \sum_j \sum_k O^W_{jk}(t) \qquad \forall t \qquad (۱۵-۲)$$

$$AS(t) \leq \sum_j \sum_k O^S_{jk}(t) \qquad \forall t \qquad (۱۶-۲)$$

$$AU(t) \leq \sum_j \sum_k O^U_{jk}(t) \qquad \forall t \qquad (۱۷-۲)$$

بطور مشابه محدودیت‌های (۲-۱۵) تا (۲-۱۷) ظرفیت نیروی کار اضافه کاری را محدود می‌کند. در مدل MPS-T مقدار کل منابع کاری فعال تخصیص داده شده به یک خط در یک دوره، کران بالاست. این امر معمولا از طریق تجهیزات و فضای قابل استفاده تعیین می‌شود. این کران با محدودیت (۲-۱۸) تقویت می‌شود.

$$C_k \geq \frac{1}{h} \sum_j (H^W_{jk}(t) + H^S_{jk}(t) + H^U_{jk}(t)) \qquad \forall k,t \qquad (۱۸-۲)$$

۲-۴-۵ محدودیت عدد صحیح

تعداد کارکنان موقت ماهر و غیر ماهر استخدامی را به ارقام صحیح $S(t) = 0, 1, 2, ..., n, U(t) = 0, 1, ..., n \forall t$ محدود شده‌است. توجه داشته‌باشید چون $R^S(t)$ و $R^U(t)$ و $F^S(t)$ و $F^U(t)$ پس $S(t)$ و $U(t)$ طبق روابط مقدار صحیح می‌گیرند.

۲-۵ تحلیل مثالی از عملکرد مدل

تکاوبین و همکاران [۵] مجموعه‌ای از آزمایشات در یک مثال با مدل MPS-T اجرا کردند. هدف آزمایش بررسی عملکرد مدل تحت شرایط تقاضا و پارامترهای مختلف است. جدول ۲-۱ داده‌های مثال و جدول ۲-۱ زمان پردازش را نشان می‌دهد.

از جدول ۲-۱ در می‌یابیم که یک مرکز تولیدی با ۴ محصول مختلف است. از این ۴ محصول، یک محصول، منحصرا در خط ۱ تولید می‌شود در حالی که سه محصول دیگر، در خط ۲ تولید می‌شوند. خط ۱ تنها به سه ایستگاه کارکنان ماهر محدود شده در حالی که خط ۲ تنها دو ایستگاه کارکنان ماهر دارد.

جدول ۲-۱: ضرایب هزینه و پارامترها

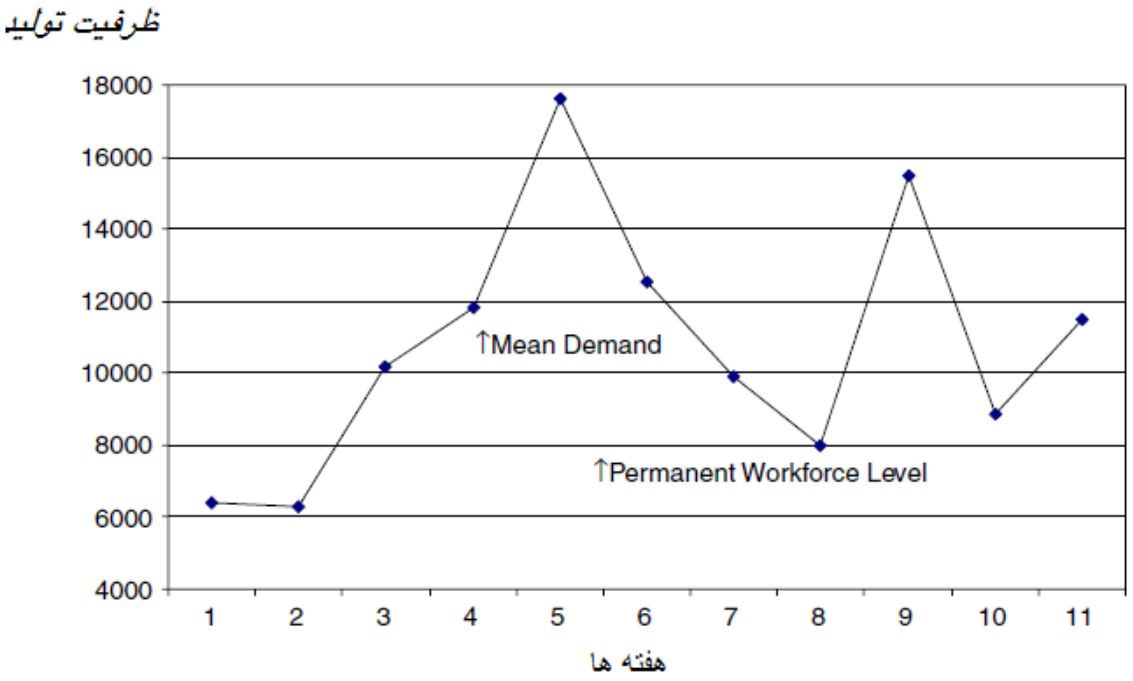
$T = ۱۲ periods$	$N = ۴ products$	$M = ۲ lines$
$W = ۲۰۰$	$IMAX = ۱۴۰۰ \; for \; all \; i$	$j_۱ = ۵, \; j_۱ = ۵$
$h = ۴۰h \; , A = ۱۰h$		$C_۱ = ۴۰۰, \; C_۱ = ۴۰۰$
$\omega = ۰/۷۰$	$L_{j,۱} = \{۱, ۰, ۰, ۰, ۱\}$	$L_{j,۲} = \{۰, ۱, ۰, ۱, ۱\}$
$\alpha^s = \$۸۰۰$	$\alpha^u = \$۶۰۰$	
$\beta^s = \$۴۰۰$	$\beta^u = \$۳۰۰$	
$\theta^s = \$۸۰۰$	$\theta^u = \$۶۰۰$	
$\pi^s = \$۳۰$	$\pi^u = \$۲۲$	$\pi^w = \$۳۵$
$\lambda_۱ = ۱۴, \lambda_۲ = ۲۰, \lambda_۳ = ۱۸, \lambda_۴ = ۱۶$		
$\sigma_۱ = ۲۸, \sigma_۲ = ۴۰, \sigma_۳ = ۳۶, \sigma_۴ = ۳۲$		

۲-۵-۱ داده‌های تقاضای مثال

جدول ۲-۲: تقاضای هفتگی D_{ij}

	$t=۱$	$t=۲$	$t=۳$	$t=۴$	$t=۵$	$t=۶$	$t=۷$	$t=۸$	$t=۹$	$t=۱۰$	$t=۱۱$	$t=۱۲$
$i=۱$	۶۰۰	۱۱۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۸۰۰	۱۱۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۷۰۰	۱۴۰۰	۱۲۰۰
$i=۱$	۱۰۰۰	۶۰۰	۱۵۰۰	۱۷۰۰	۲۵۰۰	۱۷۰۰	۱۵۰۰	۸۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰۰	۲۵۰۰	۲۰۰۰
$i=۱$	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	۱۷۰۰	۲۵۰۰	۱۳۰۰	۱۰۰۰	۷۰۰
$i=۱$	۱۲۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۸۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۱۵۰۰	۶۰۰	۲۰۰۰	۱۱۰۰	۱۰۰۰	۴۰۰

جدول ۲-۲ تقاضای هفتگی محصول را نشان می‌دهد در حالی که ظرفیت تولید مورد نیاز برای این مثال در شکل ۴-۱ ترسیم شده‌است.



شکل ۲-۱: ظرفیت تقاضای هفتگی

نیروی کار دائمی، ظرفیت ۸۰۰۰ ساعتی دارد در حالی که میانگین تقاضا ۱۰،۸۰۰ ساعت بود. از شکل ۴-۱ می‌بینیم که اوج تقاضا حدود ۵۵ درصد بیش از میانگین و ۱۱۰ درصد بیش از ظرفیت دائم به ویژه در انواع کارخانه‌های مورد نظر در اینجاست. توجه داشته‌باشید که اوج تقاضا تنها چند هفته طول می‌کشد و معمولا زیر سطح دائمی است. دو چرخه‌ی تقاضا در این پروفایل وجود دارد، اولی، چرخه‌ی ۶ هفته‌ای با اوج ۱۷،۶۰۰ ساعتی دارد در حالی که دومی، چرخه‌ی ۲ هفته‌ای با اوج ۱۵،۵۰۰ ساعتی دارد.

۲-۶ پارامترهای کلیدی مدل

۱. تعداد کارکنان دائمی

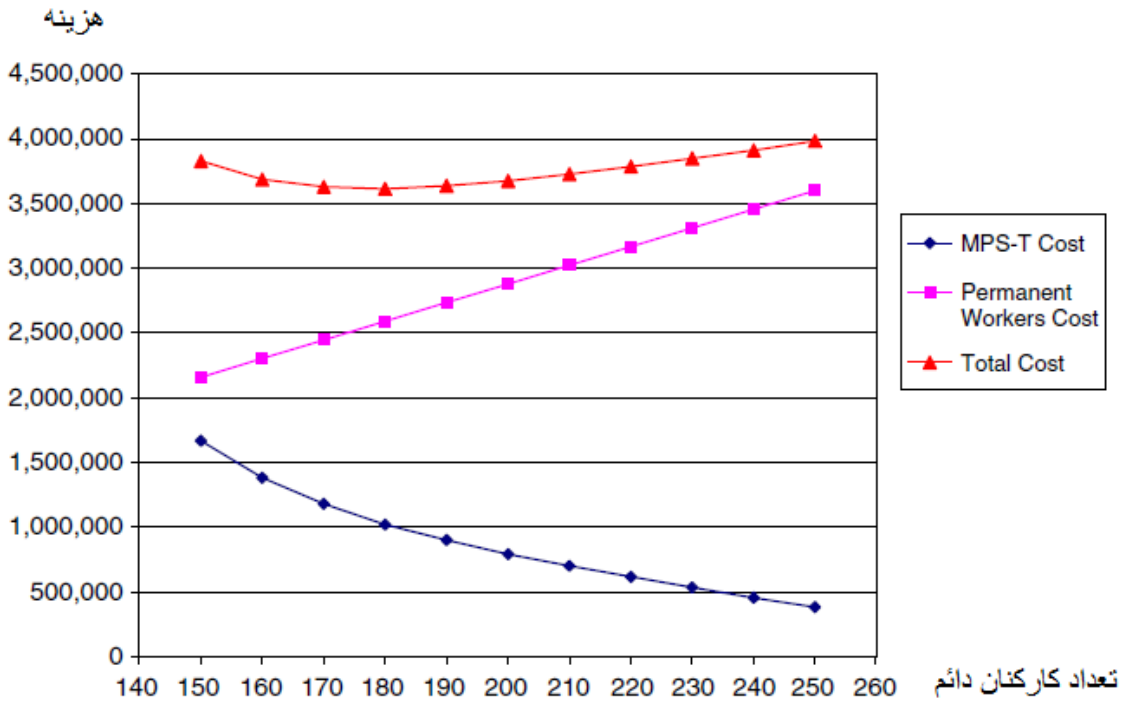
یک تصمیم کلیدی برای مدیر کارخانه، سطح نیروی کار دائمی است که مینیمم هزینه‌ی تولید را به دست می‌آورند. قطعا، تعداد کمتر کارکنان دائمی به معنای تکیه‌ی بیشتر به کارکنان موقت است که به هزینه‌های استخدام/ اخراج بالاتر می‌انجامد. به علاوه، محدودیت‌های احتمالی در پرداخت نرخ تولید برای نیازهای

نسبی کارکنان وجود خواهد داشت. بنابراین سود حاصل از کاهش هزینه‌های ثابت، جبران می‌شود. کران پایین در تعداد کارکنان دائمی مورد نیاز برای رفع تقاضای برنامه ریزی شده، به صورت زیر به‌دست می‌آید:

مینیمم تعداد کارکنان دائمی $(WMIN)$:

$$WMIN = \{\omega/T(h+A)\} \sum_t \sum_i \sum_j \sum_k \{D_i(t) P_{ijk}\} \qquad (۱۹-۲)$$

در این مثال WMIN=۱۴۸، بنابراین مجموعه‌ی مسائل را با W در بازه ۱۵۰ تا ۲۵۰ حل کردیم. هزینه ثابت دوره‌ی ۱۲۰۰ دلار را برای هر کارگر دائمی در نظر گرفتیم، مشاهده شد که این مقدار، نسبت هزینه بین کارکنان دائمی، موقت ماهر و موقت غیرماهر ۳:۲:۱ را به‌دست می‌آورد که پاسخگوی بازار کار است.



شکل ۲-۲: هزینه‌های مربوط به تعداد کارکنان دائم $MPS-T$

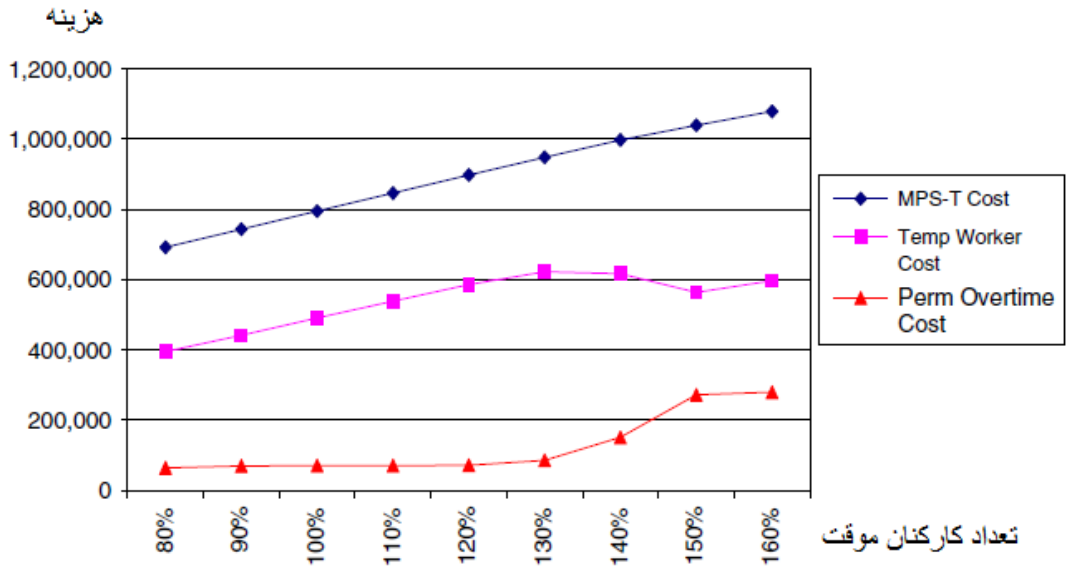
شکل ۲-۲ هزینه MPS-T [۲] هزینه‌ی کارکنان دائم و مجموع آنها را به صورت هزینه کل، ترسیم می‌کند. هزینه‌ی MPS-T ، با افزایش W کاهش می‌یابد، زیرا نیاز کمتری به کارکنان موقت وجود دارد. منحنی هزینه‌ی کل ماهیتا محدب است که نشان می‌دهد مقدار بهینه‌ی W(W*) وجود دارد. این مقدار را می‌توان با تنظیم W به صورت متغیر درفرمول MPS-T یافت. در این مثال W* = 180 را با حدود ۲درصد

[۲] Temporary Worker Cost Index

صرفه‌جویی در خط پایه‌ی W = 200 به‌دست آوردیم. استراتژی زمانبندی پیشنهادی باید الگوی تقاضای پیش‌بینی‌شده را مشخص کرده و سپس W* از آن الگو تعیین شود. تعداد کارکنان دائمی متناظر نیز حفظ خواهدشد.

۲. هزینه‌ی کارکنان موقت

در مراکز کارکنان موقت، یک استراتژی کلیدی مدیریتی، برخلاف ظرفیت اضافه‌کار برای کارکنان دائم، استفاده از کارکنان موقت قابل دسترس در زمان مورد نیاز است. قطعا، با افزایش دستمزد نسبی کارکنان موقت، این استراتژی کمتر موثر می‌شود. جهت بررسی استفاده از این استراتژی α^S ، α^U ، π^S و π^U را با افزایش ۱۰ درصدی از ۸۰ تا ۱۶۰ درصد مسئله ی پایه تغییر دادیم. شکل ۲-۳ هزینه MPS-T ، هزینه‌ی



شکل ۲-۳: هزینه‌های مربوط به تعداد کارکنان موقت $MPS-T$

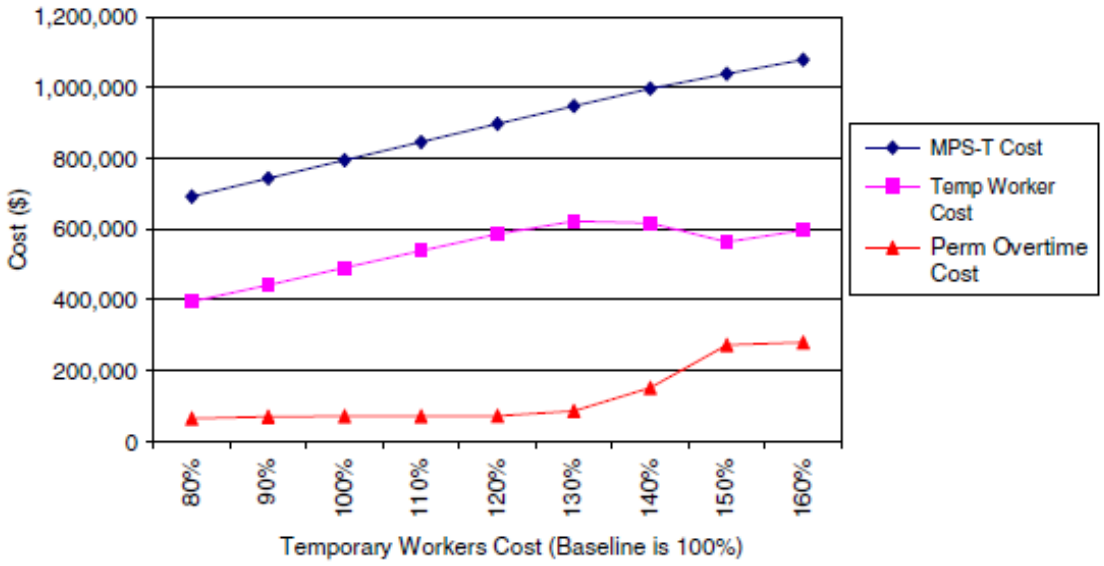
کارکنان موقت و هزینه‌ی کارکنان دائم را ترسیم می‌کند.

دریافتیم که در آغاز با افزایش هزینه‌ی نیروی کار موقت، زمان بند MPS-T همچنان از این کارکنان استفاده می‌کند. اما در یک نقطه‌ی آستانه‌ای خاص، بازگشت ناگهانی در استراتژی وجود داشته و افزایش هزینه‌ی اضافه کاری کارکنان دائمی آغاز شده و کارکنان موقت کمتری اجاره می‌شوند. این مسئله تا زمانی ادامه می‌یابد که ظرفیت اضافه کاری کارکنان دائمی قابل استفاده، مورد استفاده قرار گیرد. اندیس هزینه‌ی نیروی کار موقت (TWCI) را به صورت نسبت بین متوسط هزینه‌ی ساعتی استخدام یک کارگر موقت برای n

هفته و هزینه‌ی ساعت اضافه کاری یک کارمند دائمی معرفی کردیم:

$$TWCI(n) = ۰٫۵\{\alpha^s + \alpha^u + ((\beta^s + \beta^u + \theta^s + \theta^u)/n)\}/\{h\pi^w\} \qquad (۲۰-۲)$$

معمولا، یک کارگر موقت، با افزایش تقاضا استخدام شده و با کاهش آن اخراج می‌شود. این امر نشان می‌دهد که متوسط دوره استخدام با نصف چرخه‌ی متوسط تقاضا برابر است. در فرمول ۲-۲۰ ، n را با نصف متوسط چرخه‌ی تقاضای برابر قرار دادیم. برای تقاضای این مثال، n=3 . زمانی که $TWCI(n)$ بیشتر از ۰/۱ باشد، نشان می‌دهد که استفاده‌ی بیشتری از اضافه کاری، استراتژی بهتری در مقایسه با استفاده از کارکنان موقت است. در بررسی این مثال، دریافتیم که $TWCI(۳) = ۹۷/۰$ در ۱۳۰ درصد، ۱.۰۵ در ۱۴۰ درصد و ۱.۱۲ در ۱۵۰ درصد است. این همان بازه‌ای است که تغییر استراتژی را در شکل



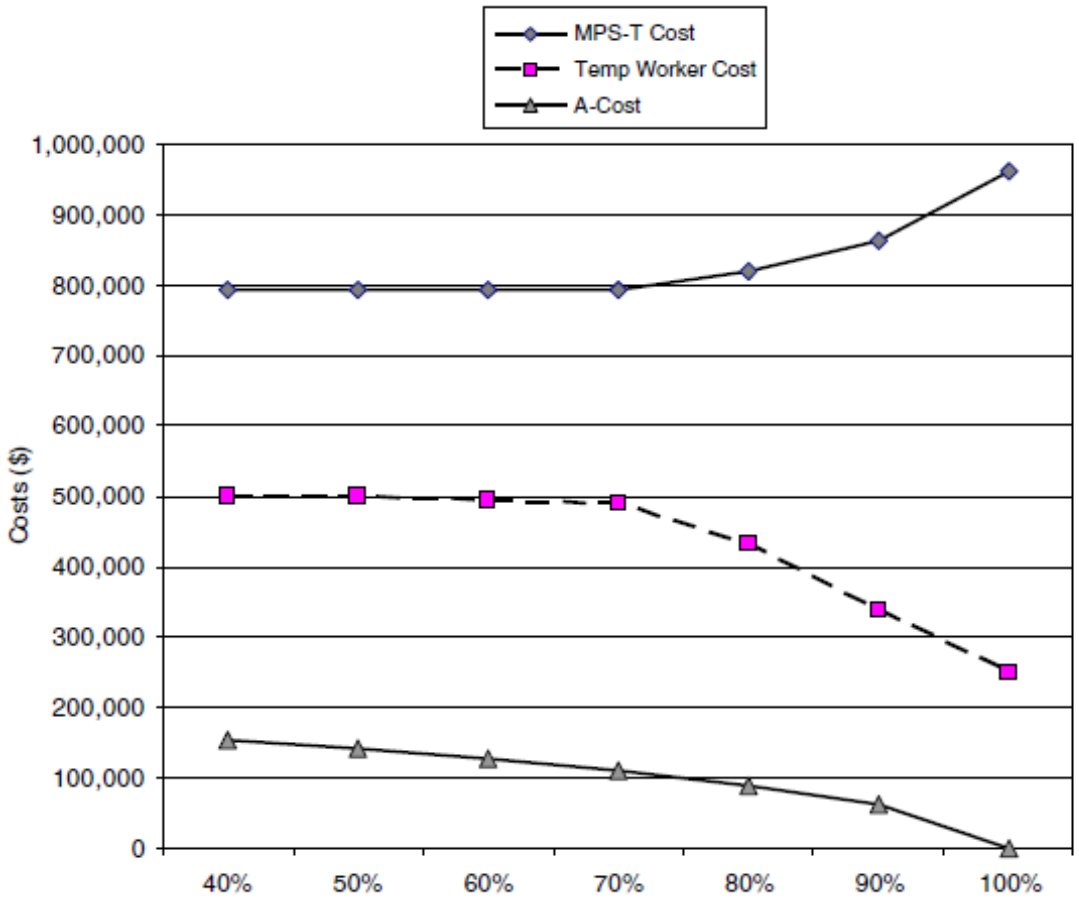
شکل ۲-۴

۴-۲ نشان می‌دهد، که استفاده از $TWCI$ را به عنوان شاخص استفاده‌ی نیروی کار اثبات می‌کند. این ارتباط می‌تواند توسط مدیر برای تنظیم دستمزد کارکنان موقت و حتی مذاکره‌ی قرارداد با آژانس‌های استخدام موقت به کار رود. قطعا اگر هزینه‌ی خط پایه $TWCI = ۱$ باشد، استراتژی کارکنان موقت، از نظر هزینه‌ای موثر نیست. در این مورد، یا باید نرخ کارکنان موقت مجدد تنظیم شود یا کارخانه باید مجدد مکان‌یابی شود.

۳. حداقل نسبت نیروی کار دائم

تنظیم عامل ω ، نیز یک تصمیم مدیریتی کلیدی است زیرا مینیمم تعداد منابع کاری دائمی تخصیص داده شده به

یک ایستگاه کاری را تعیین می‌کند.در ω بالاتر ، شرکت باید نیروی کار دائمی بیشتری را نگه دارد. در ω پایین‌تر، انعطاف بیشتری برای استفاده از کارکنان موقت فراهم می‌شود در اینجا حساسیت هزینه‌ی $MPS-T$ را به پارامتر ω مورد بررسی قراردادیم. برای بررسی تأثیر ω، آن را از ۴۰ درصد به ۱۰۰ درصد تغییردادیم. شکل ۲-۵ هزینه‌ی



شکل ۲-۵

$MPS-T$ و هزینه‌ی کارکنان موقت را ترسیم می‌کند. ما دریافتیم که برای این مثال، هزینه‌ی $MPS-T$ به ω کمتر از ۰.۶۳ حساسیت ندارد. بالاتر از این آستانه به نظر هزینه‌ی $MPS-T$ به سرعت افزایش می‌یابد.

قطعا چند عامل وجود دارد که حداقل سطح ω را تعیین می‌کند. به طور ایده آل، به نظر این سطح باید زیر نقطه‌ی آستانه‌ای تنظیم شود تا حداکثر انعطاف‌پذیری در استفاده از کارکنان موقت فراهم شود. اما کمتر ممکن است بر کیفیت محصول و یا بازدهی تولید اثرگذار باشد چرا که درجه‌ی کمتری از نظارت و بازرسی کارکنان موقت وجود خواهد داشت. یک استراتژی موثر برای تنظیم ω باید هزینه‌های مربوط به نسبت پایین‌تر کارکنان دائمی را درنظر بگیرد. بنابارین ما ارتباط این افزایش هزینه را با ω به صورت زیر مدل‌سازی کردیم:

$$A = \sqrt{\{(۱٪ - \omega)\}} \qquad (۲۱-۲)$$

که A هزینه‌ی کیفیت و تولید اضافه ناشی از کارکنان دائمی کمتر است، K حداکثر زیان. عامل K زیان مشاهده شده در زمانی که $\omega = ۰$ باشد است که نشان می‌دهد کارخانه باید کارکنان دائمی را حفظ کند. شکل ۲-۵ هزینه‌ی A را برای مسئله‌ی این مثال ترسیم می‌کند. در بازه‌ی $\omega = +۸۰$ درصد، هزینه ی MPS-T با نرخ بیشتر از کاهش هزینه ی A ، با کران پایین هزینه ی مرکب در $\omega = +۷۲$ افزایش می یابد.

فصل ۳

برنامه‌ریزی نیروی کار با لحاظ کردن سطح مهارت و شخصیتشان

۳-۱ مقدمه

فرآیند برنامه‌ریزی تولید برای موفقیت در عملیات تولید ضروری است. برنامه‌های تولید توسعه داده می‌شوند تا در زمان مناسب مقدار محصولات مناسب تولید شوند بطوریکه هزینه‌ها و زمان تولید مینیمم شوند و یا کمک به سود رسانی افزایش یابد. برنامه‌ریزی تولید فرایندی است که تعیین می‌کند در افق برنامه‌ریزی بعدی چقدر تولید اتفاق خواهد افتاد تا تقاضا برآورده‌شود. این لیست مورد نظر و سطوح نیروی کار، و دیگر احتیاجات منبع دیگر را تعیین می‌کند. اکثر سیستم‌های برنامه‌ریزی تولید پیچیده‌تر می‌شوند تا بازدهی و انعطاف‌پذیری عملیات تولید را بهبود ببخشند. در این فصل مقاله عثمان و همکاران [۷] که بر این مقوله تمرکز دارد ارائه می‌شود.

مدیران در یک سیستم تولید می‌توانند تصمیمات مختلفی را بگیرند که به آینده نگری برنامه‌ریزی بستگی دارد. سه نوع برنامه‌ریزی وجود دارد : طولانی، متوسط و کوتاه . برنامه‌ریزی بلند مدت، و یا برنامه‌ریزی استراتژیک، تاثیر بلندمدتی بر روی مسیر سیستم تولید دارد و برنامه‌ها را از سال تا چندین دهه تحت پوشش قرار می‌دهد. تصمیمات اتخاذ شده توسط مدیریت ارشد ممکن است شامل ظرفیت(توانایی) [۱] ،محصول، نیازهای تامین‌کننده و شیوه کیفی باشند. برنامه‌ریزی متوسط شامل یک مدت از یک هفته تا یک سال می‌شود. جزئیات بیشتر تصمیمات را نسبت به تصمیم‌گیری‌های استراتژیک می‌دهد. تعیین سطوح نیروی کار، نرخ تولید، سطوح موجودی محصول، منابع فرعی و پیمانکاری و هزینه‌های کیفی نمونه‌هایی از تصمیم تاکتیکی هستند که توسط مدیریت متوسط اتخاذ می‌شوند. در نهایت، افق برنامه‌ریزی کوتاه مدت، و یا برنامه‌ریزی عملیاتی، هر دوره از ۱ ساعت تا ۱ هفته را تحت پوشش

[۱] capacity

قرار می‌دهد و شامل تخصیص مشاغل به ماشین آلات به خوبی حرکت قطعات در سالن کارگاه می‌شود (هوپ [۲] و اسپیرمن [۳] ۲۰۰۸). اکثر مدیران دریافتند که مدل‌های برنامه ریزی تولید موجود در زندگی واقعی اجرا نمی‌شوند (بایرن [۴] و بکر [۵] ۱۹۹۹). مشکل اصلی مدل‌های موجود نبود اطلاعات در مورد وضعیت واقعی درسالن کارگاه با توجه به شرایط کارگران و طبیعت ناپایدار در سیستم تولید است. به عنوان یکی از عناصر اصلی در برنامه‌ریزی تولید، مسائل انسان نمی‌توان بدون کاهش چشمگیر مزایای تولید از موضوعات بشری چشم‌پوشی کرد. مزایای ناشی از یکپارچه سازی(ادغام) فاکتورهای بشری با سیستم‌های تولید مورد بحث قرار گرفته می‌شود (پورتر [۶] و لاولر [۷] ۱۹۶۸؛ اودو وابیفانگ ۱۹۹۹). در بیشتر شرکت‌های رقابتی ادغام ابعاد بشری با برنامه‌ریزی تولید برای افزایش بهره‌وری، کاهش زمان بازدهی، و بهبود کیفیت محصول کمک می‌کند. این یافته‌ها یک فرصت تحقیقاتی قابل توجهی را ارائه می‌دهند.

برنامه‌ریزی نیروی کار تعیین می‌کند که نیروی کار باید از چه محصولی حمایت کند. این به کارگیری افراد مناسب در مکان مناسب، و در زمان مناسب برای برآوردن نیازهای استخدام شرکت تضمین می‌کند.این شامل برنامه‌ریزی برای استخدام کارگران جدید، اخراج کارگران اضافی، و آموزش کارگران موجود است. در این مقاله، یک مدل جدید برای برنامه‌ریزی نیروی کار برای حمایت از برنامه‌ریزی تولید توسعه داده می‌شود تا به سریعتر عملی کردن اجرای برنامه کمک کند. همچنین، سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) توسعه داده می‌شود تا به مدیران در اجرای عملی مدل کمک کند.

محیط کاری یک فروشگاه متشکل ازانواع مختلف ماشین را درنظر می‌گیریم، که بسته به پیچیدگی‌شان به چندین سطح ماشین گروه‌بندی می‌شوند. فرض می‌کنیم که سه سطح ماشین داریم: ماشین سطح یک پیچیدگی کمتری دارد و ماشین سطح سه پیچیده‌تر است. چندین محصول بصورت انواع مختلف ماشین بر اساس ورق‌های اخراجی محصول تولید می‌شوند. انعطاف‌پذیری کارگران مورد بررسی قرار می‌گیرد تا اینکه تنوع سیستم تولید کاهش یابد. آنرا می‌توان از طریق اضافه‌کاری و آموزش به‌دست‌آورد. کارگران بر اساس مهارت‌های مختلف بشری و شخصیت‌شان گروه‌بندی می‌شوند. ویژگی‌های مختلف شخصی می‌توانند انسانها را تشکیل دهند. آنها موهبت‌های طبیعت بشری (ویژگی‌های شخصی) هستند. آنها داخل گروه‌های مهارت‌ها و ویژگی‌های مختلف شخص دسته‌بندی می‌شوند. به عنوان مثال، اگر یک کارگر بخواهد مهارت‌هایش را بهبود ببخشد می‌تواند از آموزش استفاده کند. مهارت‌های کارگر شامل موارد زیر می‌باشد: مهارت ارتباط برقرار کردن، مهارت‌های رهبری، مهارت‌های گوش دادن، مهارت‌های مدیریتی، مهارت‌های برنامه‌ریزی، مهارت‌های حل مسئله، مهارت‌های کار تیمی، و مهارت‌های کار فنی(تکنیکی). با این حال، ویژگی‌های شخصی عبارتند از آرامش کارگر، افکار روشن، سازنده، خلاق، پویا، تحصیل کرده، کارآمد(موثر)، پرانرژی، متمرکز، سالم، باهوش، صداقت، آگاه، سازمان‌یافته،

---

[۲] Hoppe
[۳] Sprarman
[۴] Bayern
[۵] Becker
[۶] Porter
[۷] Lawler

موفقیت‌های قبلی در محل کار، ارتباط با دیگران، مسئول، معقول، به دنبال بهبود، تلاش و قدرت می‌شود. اما بخاطر وجود مشکل در اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های درونی شخص، ما سطوح مهارت و سطوح شخصی را به سه سطح تقسیم می‌کنیم: سطح ۱ پایین‌ترین سطح، سطح ۲ سطح متوسط، و سطح ۳ بالاترین سطح را نشان می‌دهد.

در مقاله عثمان و همکاران، سطوح شخصیت با سطح۱ محدوده صفر تا ۳۳.۳، سطح ۲ از ۳۳.۴ تا ۶۶.۶، و سطح۳ از ۶۶.۷ تا ۱۰۰نشان داده می‌شود. برای مثال، افراد با امتیازات بالا در هوشیاری مایلند که معقول، سازمان‌یافته و آگاه از جزئیات، در حالی که افراد با امتیازات پایین در صداقت اشتیاق کمتر و علایق سنتی‌تری دارند. با این حال، افراد با ویژگی‌های مشابه داخل سطوح شخصیتی گروه‌بندی می‌شوند، که تنوع رسیدگی به تاریخچه‌ی شخصیتی فرد را کاهش می‌دهد. پرسشنامه‌های خاص گزارش شخصی را می‌توان توسعه داد و آنرا برای اندازه‌گیری حوزه‌های شخصیتی برای استفاده در مکان‌های کاربردی تحقیقاتی تایید کرد. هر کارگر حداقل یک مهارت و یا سطح شخصی دارد و می‌تواند برای سطوح خاص ماشین گماشته شود. در هر دوره، می‌توان برای پیشرفت فقط سطح مهارتی‌شان کارگران را تعلیم داد. در بسیاری از موارد، آموزش بهتر از اخراج و استخدام کارگران جدید است. فرض بر این است که دوره‌ی آموزش صفر است، به این معنی که به محض اینکه کارگر تعلیم داده شد مفید است. دوران بیکاری دوران دشواری است و هزینه‌ی انسانی به بار می‌آورد. هنگامی که شرکت درصد بیکاری‌اش بالا باشد، وفاداری به آن کاهش خواهد یافت. همچنین، بسیاری از شرکت‌ها از قانون نیروی کارو مقررات برای کنترل اخراج کارگران استفاده می‌کنند. با این حال، کارگران تازه استخدام شده بر عملکرد کارگران فعلی تاثیر می‌گذارند زیرا آنها باید برای همین سطح از کارگران قبلی اخراج شده تعلیم ببینند.

ازطرف دیگر، اندازه‌گیری عملکرد به صورت کمی چیز مهمی درباره‌ی محصولات و خدماتی که سازمان‌ها آنها را تولید می‌کنند به ما می گویند. آنها ابزاری برای کمک به درک، مدیریت و بهبود آنچه شرکت‌ها انجام می‌دهند هستند. آنها را می‌توان بوسیله‌ی واحدهای تک بعدی مانند ساعت، دلار، تعداد اشتباهات، تعداد کارگران دارای مجوز CPR و غیره ارائه داد. در این مقاله دو واحد اندازه‌گیری عملکرد برای ارزیابی برنامه‌ریزی نیروی کار ایجاد شده استفاده می‌شود. اولین واحد برای کاهش هزینه‌های کلی ناشی از استخدام کردن، اخراج و آموزش، واضافه‌کاری در واحد دلار است. دومین واحد برای کاهش تعداد کارگران اخراجی دارای عملکرد بالا استفاده می‌شود. در نهایت، باید تعداد بالای استخدام‌شدگان اخراجی نزدیک به صفر باشد. هزینه‌ها و دوران بیکاری نیروی کار را می‌توان انتقادی در تاثیر برنامه‌ریزی به شمار آورد. با این حال، به منظور برآوردن تقاضای کل در هر دوره، ما به محاسبه علاقه‌مندیم.

- گماشتن چند کارگر برای بسیاری هر سطح ماشین در هردوره.
- استخدام یا اخراج چند کارگر با چه سطح مهارتی درهر دوره.
- تعلیم چند کارگراز سطح مهارت پایین‌تر به سطح مهارت بالاتر در هر دوره.
- یک کارگر با مهارت خاص و سطح شخصی چند ساعت می‌تواند اضافه کاری بکند.
- کارگران برای اینکار چقدر انگیزه دارند.

۳-۲ فرضیات مدل

۱. ارزش تمام پارامترها در سراسر برنامه‌ریزی خاص هستند.

۲. هزینه‌ی کارگران تعلیم دیده ، اخراج و استخدام شده برای هر سطح مهارت و قابلیت‌های شخصی معلوم و مشخص است.

۳. فرض بر این است که قابلیت استفاده از تمام کارگران با در نظر گرفتن وقت استراحت روزانه مساوی با ۸۰ درصد باشد.

۴. تعداد سطوح مهارت کارگران مساوی با تعداد سطوح ماشین است.

۵. مطابق با افزایش سطح شخصیت و مهارت کارگران توانایی و تمایلشان نیزافزایش می‌یابد.

۶. کارگران دارای عملکرد بالا دارای سطح مهارت و شخصیت بزرگتر یا مساوی ۲ هستند.

۳-۳ مدل پیشنهادی مساله

مدلی که توسعه داده شد یک برنامه‌ریزی غیر خطی چند هدفی است که امکان تصمیم گیری‌های مختلف کارکنان(به عنوان مثال استخدام، آموزش، اخراج و اضافه کاری) را فراهم می‌کند تا مجموع هزینه‌های اضافه کاری، استخدام، اخراج، آموزش کاهش یابد و در تمام طول مدت تعداد کارگران اخراجی دارای عملکرد بالا کاهش می‌یابد. در ارائه‌ی این مدل، از علامت‌های زیر استفاده می‌شود.

۳-۳-۱ پارامترهای مساله

t : اندیس دوره‌های برنامه‌ریزی (هفته‌ها) $t = ۱, ..., T$

x, y : اندیس سطح ماشین $x, y = ۱, ۲, ..., ML$

j, k : اندیس سطوح مهارت‌های انسانی $j, k = ۱, ۲, , S$

p : اندیس ویژگی‌های شخصیت $p = ۱, ۲, , P$

h_{jpt} : هزینه‌ی استخدام یک کارگر سطح شخصیت p با سطح مهارت j در دوره t (دلار / هفته کاری)

f_{jpt} : هزینه اخراج یک کارگر سطح شخصیت p با سطح مهارت j در دوره t (دلار / هفته کاری)

tr_{kjpt} : هزینه‌ی آموزش یک کارگر سطح شخصیت p از سطح مهارت k به سطح مهارت j در دوره t(دلار / هفته کاری)

so_{jpt} : نرخ ساعتی یک کارگر سطح شخصیت p با سطح مهارت j در ساعات اضافه کاری در دوره t (دلار / هفته کاری)

A_{jt} : ساعات کاری منظم مفید یک کارگر با سطح مهارت j برای هر شخص در هر دوره t (ساعت‌های کاری /هفته کاری)

AOT_{jt} : ساعات اضافه کاری مفید یک کارگر با سطح مهارت j برای هر شخص در هر دورهt (ساعت‌های کاری /هفته کاری)

C_{jpt} : ظرفیت(توانایی) یک کارگر در سطح p با سطح مهارت j برای هرشخص در هر دوره t

O_{tx} : فرصت برای کارکردن روی سطح ماشین x در هر دوره t

R_{jptx} : اشتیاق(تمایل) کارگر سطح شخصیت p با سطح مهارت j برای کارکردن روی سطح ماشین x در دورهt (ساعت‌های کاری)

D_{jt} : تقاضا برای مهارت j در دورهt (ساعت‌های کاری)

$$SS_{kj} = \begin{cases} \text{اگر آموزش از سطح مهارت } k \text{ به سطح مهارت } j \text{ امکان پذیر است} \\ \text{درغیراینصورت} \end{cases}$$

$$\omega S_{jx} = \begin{cases} \text{اگر کار بر روی سطح دستگاه } x \text{ با سطح مهارت } j \text{ امکانپذیر باشد} \\ \text{درغیراینصورت} \end{cases}$$

INW_{jpx} : تعداد اولیه‌ی کارگران سطح شخصیت p با سطح مهارت j که لازم است برای ماشین سطح x گمارده

شوند(هفته‌های کاری)

M : یک عدد مثبت بزرگ

۳-۳-۲ متغیرهای تصمیم گیری

W_{jptx} : تعداد کارگران سطح شخصیت p با سطح مهارت j که لازم است برای سطح ماشین x دردوره t اختصاص داده شود(هفته‌های کاری)

H_{jptx} : تعداد کارگران سطح شخصیت p با سطح مهارت j استخدام شده و در دوره t به ماشین سطح x اختصاص داده شده‌اند(هفته‌های کاری)

L_{jptx} : تعداد کارگران موجود سطح شخصیت p با سطح مهارت j که به ماشین سطح x در مدت $t-۱$منصوب می‌شوند و در دوره t بیکار می شوند (هفته‌های کاری)

Y_{kjptyx} : تعداد کارگران سطح شخصیت p که برای ماشین سطح y منصوب می‌شوند و سپس از سطح مهارت k به سطح مهارت j تعلیم داده می‌شوند و در دوره t برای ماشین سطح بالاتر x اختصاص داده می‌شوند(هفته‌های کاری)

OT_{jptx} : ساعت اضافه کاری کارگران سطح شخصیت p با سطح مهارت j دردوره t (ساعت‌های کاری)

۳-۳-۳ تابع هدف

تابع هدف این مدل با دو هدف زیر ارائه می‌شود

$$Goal\ ۱ : \min Z_۱ = \sum_{t=۱}^{T}\sum_{p=۱}^{P}\sum_{j=۱}^{S}\sum_{x=۱}^{ML}(h_{jpt}H_{jptx} + f_{jpt}L_{jptx} + so_{jpt}OT_{jptx}) + \sum_{t=۱}^{T}\sum_{p=۱}^{P}\sum_{j=۱}^{S}\sum_{k=۱}^{S}\sum_{x=۱}^{ML}\sum_{y=۱}^{ML} tr_{kjpt}Y_{kjptxy}$$

$$Goal\ ۲ :\ minZ_۲ = \sum_{t=۱}^{T}\sum_{p=۲}^{P}\sum_{j=۲}^{S}\sum_{x=۱}^{ML} L_{jptx}$$

هدف اول با مینیمم سازی تمام هزینه‌های ناشی از آموزش، اخراج و استخدام کارگران و هدف دوم با مینیمم کردن دوران بیکاری کارگران دارای عملکرد بالاست.

۳-۳-۴ محدودیتهای مساله

$$۰/۸A_{jpt}\sum_{p=۱}^{P}\sum_{x=۱}C_{jpt}O_{tx}R_{jptx}W_{jptx}+\sum_{p=۱}^{P}\sum_{x=۱}^{ML}OT_{jptx}=D_{jt}\qquad\forall j,t\qquad(۱-۳)$$

محدودیت (۳-۱) نشان می‌دهد که کل ساعت کاری موجود مساوی با تعداد ساعت مورد نیاز برای هر مهارت در هر دوره است.

$$W_{jptx}=W_{jpt-۱x}+H_{jptx}-L_{jptx}$$
$$+\sum_{k=j-۱,j\geq۲}^{j}\sum_{y=x-۱,x\geq۲}^{x}Y_{kjptyx}-\sum_{k=j+۱,j\geq۲}^{j}\sum_{y=x-۱,x\geq۲}^{x}Y_{kjptyx}\;\forall j,p,t,x\qquad(۲-۳)$$

محدودیت (۳-۲) تضمین می‌کند که نیروی کار موجود در هر دوره برابر با نیروی کار دوره‌ی قبلی بعلاوه تغییر نیروی کار در دوره جاری است.

$$OT_{jptx}\leq AOT_{jt}*W_{jptx}\qquad\forall j,p,t,x\qquad(۳-۳)$$

محدودیت (۳-۳) تضمین می‌کند که نیروی کار اضافه کاری موجود باید کمتر از حداکثر نیروی کار اضافه کاری موجود در هر دوره باشد.

$$\sum_{k=۱,k\leq j}^{S}\sum_{y=۱}^{ML}Y_{jkptyx}+L_{jptx}\leq W_{jpt-۱x}\qquad\forall j,p,t,x\qquad(۴-۳)$$

محدودیت (۳-۴) تضمین می‌کند که تعداد کل کارگرانی که برای ماشین سطح xدر دوره $t-۱$ اختصاص داده می‌شوند و در حال حاضر از کار اخراج و یا برای سطح مهارت بالاتر تعلیم دیده‌اند نباید بزرگتر از تعداد کارگران مورد نیاز در دوره قبلی باشد.

$$L_{jptx}\leq M*ws_{jx}\qquad\forall j,p,t,x\qquad(۵-۳)$$

محدودیت (۳-۵) تضمین می‌کند که کارگران می‌توانند اخراج شوند اگر و تنها اگر انتساب ممکن باشد.

$$H_{jptx} \leq M * ws_{jx} \qquad \forall j, p, t, x \qquad (۳-۶)$$

محدودیت (۳-۶) نشان می‌دهد که کارگران می‌توانند استخدام شوند اگر و تنها اگرانتساب ممکن باشد.

$$Y_{kjptyx} \leq M * ws_{ky} \qquad \forall j, p, t, x \qquad (۳-۷)$$

محدودیت (۳-۷) آموزش برای مهارت‌های بهتر ممکن است اگر و تنها اگر انتساب قبلی ممکن باشد.

$$Y_{kjptyx} \leq M * ws_{jx} \qquad \forall j, p, t, x \qquad (۳-۸)$$

محدودیت (۳-۸) تضمین می‌کند که آموزش برای مهارتهای بهتر امکان‌پذیر است اگر و تنها اگر انتساب بعدی ممکن باشد.

$$Y_{kjptyx} \leq M * ss_{kj} \qquad \forall j, p, t, x \qquad (۳-۹)$$

محدودیت (۳-۹) تضمین می‌کند که آموزش برای مهارت‌های بهتر ممکن است اگر و تنها اگر آموزش برای آن مهارت ممکن باشد.

$$\sum_{t=۱}^{S} Y_{kjptyx} * L_{jptx} = ۰ \qquad \forall j, p, t, x \qquad (۳-۱۰)$$

محدودیت (۳-۱۰) تضمین می‌کند که کارگرانی که برای سطح مهارت j تعلیم داده می‌شوند نباید در همان دوره از کار اخراج شوند. این محدودیت شامل یک فرمول غیرخطی است که می‌تواند با کمک یک متغیر دوتایی بصورت خطی به شکل زیر تبدیل شود:

$$\sum_{k=۱}^{S} Y_{kjptyx} \leq M * Z_{jptx} \qquad \forall j, p, t, x \qquad (۳-۱۱)$$

$$L_{jptx} \leq M(۱ - Z_{jptx}) \qquad \forall j, p, t, x \qquad (۳-۱۲)$$

$$Z_{jptx} \in \{۰, ۱\} \qquad \forall j, p, t, x \qquad (۳-۱۳)$$

$$H_{jptx} * L_{jptx} = ۰ \qquad \forall j,p,t,x \qquad (۱۴-۳)$$

محدودیت (۱۴-۳) تضمین می‌کند که یا استخدام یا اخراج کارگران رخ می‌دهد اما نه هر دو. همچنین، این محدودیت یک فرمول غیرخطی دارد که می‌تواند بصورت خطی به همان شیوه‌ی محدودیت (۱۰-۳) همانند زیر تبدیل شود:

$$H_{jptx} \leq M * U_{jptx} \qquad \forall j,p,t,x \qquad (۱۵-۳)$$

$$L_{jptx} \leq M(۱ - U_{jptx}) \qquad \forall j,p,t,x \qquad (۱۶-۳)$$

$$U_{jptx} \in \{۰, ۱\} \qquad \forall j,p,t,x \qquad (۱۷-۳)$$

و در نهایت، محدودیت زیر

$$W_{jptx}, H_{jptx}, L_{jptx}, Y_{kjptyx} \geq ۰ \qquad (۱۸-۳)$$

نامنفی بودن متغیرها را نشان می‌دهد.

برنامه‌ریزی هدف را می‌توان برای حل توابع چند هدفه استفاده کرد. در این فصل، از روش وزن‌دار برای حل این مساله استفاده می‌شود. تصمیم‌گیرنده باید وزنهای جریمه را که منعکس‌کننده اولویت‌هایش باتوجه به اهمیت مربوط به هر هدف هستند مشخص کند. به عنوان مثال، وزنه‌های مجازات برابر با ۱ نشان می‌دهند که تمام اهداف وزنهای برابر دارند. پروسه‌ی جواب در یک لحظه یک هدف را مورد توجه قرار می‌دهد، که با هدف کاهش هزینه‌ها شروع می‌شود و با هدف کاهش هزینه‌ها شروع می‌شود، و با هدف کاهش اخراج کارکنان دارای عملکرد بالا پایین می‌یابد. این فرایند به این صورت انجام می‌شود که جواب به دست آمده از اولین هدف هرگز دومین جواب هدف را از بین نمی‌برد. برنامه‌ریزی هدف وزندار تمام اهداف را بطور همزمان در یک تابع هدف مرکب مورد توجه قرار می‌دهد که این تابع متشکل ازمجموع تمام متغیرهای هدف منحرف از مقصدشان است(هیلیر [۸] و لیبرمن [۹] ۲۰۱۰).

مراحل زیر را می توان برای کنترل توابع چند هدفه استفاده کرد :

۱. LP1 به عنوان اولین مدل برنامه ریزی خطی با تابع هدف Z1 و LP2 دومین مدل برنامه‌ریزی خطی با

[۸] Hillier
[۹] Lieberman

تابع هدف Z2 است.

۲. اهداف مدل را شناسایی کنید و آنها به ترتیب اولویت زیر مرتب کنید:

- اولویت ۱: مینیمم سازی هزینه‌های کلی (Z1)
- اولویت ۲: مینیمم تعداد کارگران اخراجی دارای عملکرد بالا (Z2)

۳. LP1 که (Z1) را کاهش می‌دهد حل کنید، سپس LP2 را که (Z2) را کاهش می‌دهد حل کنید و توابع هدف قبلی (Z1) و (Z2) را به محدودیت‌های اولیه اضافه کنید.

۴. تابع هدف مرکب را که متغیرهای انحرافی‌ای را که نشان دهنده‌ی هر دو هدف هستند حل کنید.

S_1	The positive deviation from goal 1
S_1^-	The negative deviation from goal 1
S_2^+	The positive deviation from goal 2
S_2^-	The negative deviation from goal 2

شکل ۳-۱

ابتدا انحرافات را بصورت شکل ۳-۱ فرض کنید. تمام این انحرافات باید از نظر ارزش اندازه‌گیری شوند. سپس فرمول مساله بصورت زیر کاهش می‌یابد:

$$minF = S_1^+ + S_2^+$$

$$s.t. \sum_{t=1}^{T}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{S}\sum_{x=1}^{ML} h_{jptx} * H_{jptx} + f_{jptx} * L_{jptx} + so_{jptx} * OT_{jptx}$$

$$+ \sum_{t=1}^{T}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{S}\sum_{k=1}^{S}\sum_{x=1}^{ML}\sum_{y=1}^{ML} tr_{kjpt} Y_{kjptyx} + S_1^- - S_1^+ = z_1$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{p=2}^{P}\sum_{j=2}^{S}\sum_{x=1}^{ML} L_{jptx} + S_2^- - S_2^+ = Z_2$$

محدودیت (۳-۱) تا (۳-۹) و (۳-۱۱) تا (۳-۱۸) نیز برقرار هستند.

۳-۴ مثال عددی

برای توضیح مدل پیشنهادی در این مقاله و دسترسی به تاثیر تفاوت‌های کارگران بر روی هزینه‌های کلی و برنامه‌ریزی نیروی کار، یک مثال ساده در این بخش ارائه می‌شود. بینش‌هایی راجع به تاثیر عوامل مختلف بشری بر روی تصمیم‌گیری‌های برنامه‌ریزی نیروی کار ارائه می‌شود. برای نشان دادن تاثیر سطوح شخصیت و عملکرد بر روی تصمیم‌گیری‌های نیروی کار سناریوهای مختلفی مورد آزمون قرار می‌گیرد.

شرکتی محصولاتش را برای برآوردن تقاضای معلوم در نمودار افقی برنامه‌ریزی شده ۸ هفته‌ای تولید می‌کند. هزینه‌های استخدام کردن، اخراج و آموزش فرض می‌شود برای مهارت و سطوح شخصی بالاتر باشد. همچنین، فرض بر این است که کارگر در برای ۱۰ ساعت در هفته (۱۶۰ ساعت در هر ماه) در زمان معین حاضر باشد و به مدت ۱۰ساعت در هفته(۴۰ ساعت در هر ماه) در اضافه کاری حاضر باشد. اما فرض می‌شود که کارگر طی وقت استراحت روزانه مفید نباشد که فرض برانیست که به مدت ۱.۵ ساعت مداوم در روز طول بکشد. علاوه بر این، فرض می‌شود که انگیزه‌ی کارگر بستگی به مهارت‌ها و شخصیت او داشته باشد. همانطور که سطح ماشین در تمام مدت برنامه‌ریزی افزایش می‌یابد تمایل کارگر برای کار کردن نیز افزایش می‌یابد. تقاضای مشخص مهارتهای

	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
Worker skill 1	3200	1600	3200	2240	2080	3200	2080	3200
Worker skill 2	3520	3200	3520	3200	3200	2560	3200	2560
Worker skill 3	3840	2880	3840	2880	3200	1920	3200	1920

شکل ۳-۲: تقاضای مشخص مهارتهای کارگر در هفته [۷].

کارگر در ساعت کاری در هر دوره درجدول ۳-۲ خلاصه می‌شود.

جدول ۳-۳ حضور کارگران را نشان می‌دهد. جدول ۳-۴ نیروی کار موجود در دوره صفر را نشان می‌دهد. در نهایت، در جدول ۳-۵ هزینه آموزش از سطح مهارت به سطح مهارت دیگری در هر دوره را نشان می‌دهد. هزینه استخدام کردن، هزینه‌های دوران بیکاری، هزینه‌های اضافه کاری و ظرفیت کارگران ظرفیت در جدول ۳-۶ نشان داده می‌شود. جدول ۳-۷ فرصت هر سطح ماشین در هر دوره را نشان می‌دهد. اشتیاق برای اجرا کردن هر سطح ماشین برای هر سطح شخصیت در هر دوره در جدول ۳-۸ نشان داده‌شده‌است.

	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
Worker skill 1								
Availability (regular time)	40	40	40	40	40	40	40	40
Availability (overtime)	10	10	10	10	10	10	10	10
Worker skill 2								
Availability (regular time)	40	40	40	40	40	40	40	40
Availability (overtime)	10	10	10	10	10	10	10	10
Worker skill 3								
Availability (regular time)	40	40	40	40	40	40	40	40
Availability (overtime)	10	10	10	10	10	10	10	10

شکل ۳-۳: حضور کارگران$worker - hours$

	Level 1	Level 2	Level 3
Worker skill 1			
P1	40	0	0
P2	0	0	0
P3	10	0	0
Worker skill 2			
P1	0	30	0
P2	0	20	0
P3	0	10	0
Worker skill 3			
P1	0	0	30
P2	0	0	30
P3	0	0	10

شکل ۳-۴: نیروی کار موجود درهر سطح ماشین$worker$

From	To	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
Worker skill 1									
P1	Skill 2	10	10	10	10	10	10	10	10
P2	Skill 2	12	12	12	12	12	12	12	12
P3	Skill 2	15	15	15	15	15	15	15	15
Worker skill 2									
P1	Skill 3	10	10	10	10	10	10	10	10
P2	Skill 3	12	12	12	12	12	12	12	12
P3	Skill 3	15	15	15	15	15	15	15	15

شکل ۳-۵: نیروی کار موجود درهر سطح ماشین $worker$

		W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
Worker skill 1									
P1	Hiring costs ($)	400	400	400	400	400	400	400	400
	Firing costs ($)	500	500	500	500	500	500	500	500
	Overtime ($)	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
	Capacity (%)	70	75	70	80	70	80	70	80
P2	Hiring costs ($)	425	425	425	425	425	425	425	425
	Firing costs ($)	525	525	525	525	525	525	525	525
	Overtime ($)	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
	Capacity (%)	75	75	75	70	75	85	75	85
P3	Hiring costs ($)	450	450	450	450	450	450	450	450
	Firing costs ($)	550	550	550	550	550	550	550	550
	Overtime ($)	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5
	Capacity (%)	80	85	80	80	80	80	80	80
Worker skill 2									
P1	Hiring costs ($)	475	475	475	475	475	475	475	475
	Firing costs ($)	575	575	575	575	575	575	575	575
	Overtime ($)	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
	Capacity (%)	80	80	80	80	85	80	85	80
P2	Hiring costs ($)	500	500	500	500	500	500	500	500
	Firing costs ($)	600	600	600	600	600	600	600	600
	Overtime ($)	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
	Capacity (%)	85	85	85	85	85	85	85	85
P3	Hiring costs ($)	510	510	510	510	510	510	510	510
	Firing costs ($)	625	625	625	625	625	625	625	625
	Overtime ($)	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
	Capacity (%)	90	90	90	95	90	90	90	90
Worker skill 3									
P1	Hiring costs ($)	520	520	520	520	520	520	520	520
	Firing costs ($)	650	650	650	650	650	650	650	650
	Overtime ($)	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5
	Capacity (%)	90	90	90	90	90	90	90	90
P2	Hiring costs ($)	550	550	550	550	550	550	550	550
	Firing costs ($)	675	675	675	675	675	675	675	675
	Overtime ($)	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5
	Capacity (%)	95	95	95	95	95	95	95	95
P3	Hiring costs ($)	560	560	560	560	560	560	560	560
	Firing costs ($)	700	700	700	700	700	700	700	700
	Overtime ($)	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5
	Capacity (%)	100	100	100	100	100	100	100	100

شکل ۳-۶: نیروی کار موجود درهر سطح ماشین$worker$

	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
Machine level 1	100	100	90	100	80	90	80	90
Machine level 2	90	100	90	100	100	100	100	100
Machine level 3	100	100	90	100	100	100	100	100

شکل ۳-۷: نیروی کار موجود درهر سطح ماشین $worker$

		W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
Worker skill 1									
P1	Machine level 1	70	70	70	70	70	70	70	70
	Machine level 2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Machine level 3	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	Machine level 1	75	75	75	75	75	75	75	75
	Machine level 2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Machine level 3	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	Machine level 1	80	80	80	80	80	80	80	80
	Machine level 2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Machine level 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Worker skill 2									
P1	Machine level 1	70	70	70	70	70	70	70	70
	Machine level 2	75	75	75	75	75	75	75	75
	Machine level 3	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	Machine level 1	75	75	75	75	75	75	75	75
	Machine level 2	80	80	80	80	80	80	80	80
	Machine level 3	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	Machine level 1	80	80	80	80	80	80	80	80
	Machine level 2	85	85	85	85	85	85	85	85
	Machine level 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Worker skill 3									
P1	Machine level 1	80	80	80	80	80	80	80	80
	Machine level 2	85	85	85	85	85	85	85	85
	Machine level 3	90	90	90	90	90	90	90	90
P2	Machine level 1	85	85	85	85	85	85	85	85
	Machine level 2	90	90	90	90	90	90	90	90
	Machine level 3	95	95	95	95	95	95	95	95
P3	Machine level 1	90	90	90	90	90	90	90	90
	Machine level 2	95	95	95	95	95	95	95	95
	Machine level 3	100	100	100	100	100	100	100	100

شکل ۳-۸: نیروی کار موجود درهر سطح ماشین$worker$

با استفاده از اطلاعات داده‌ها، این مدل شامل ۳۴۹۰متغیر و ۳۶۳۴ محدودیت است و جواب بهینه برای مساله را می‌توان با استفاده از نرم افزار LINGO ۱۰ در زمانی کمتر از جریان برنامه بدست آورد. نتایج بدست آمده از مدل پیشنهادی در جدول ۳-۹ نشان داده‌شده‌است. در این فصل، بسیاری ازفاکتورهای انسانی مانند

	Demand (workers)	W1 100	W2 50	W3 100	W4 70	W5 65	W6 100	W7 65	W8 100
Worker skill 1									
P1	Workers used on level 1	32.7	14	14	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
	Workers hired on level 1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Workers fired from level 1	0	18.7	0	9.3	0	0	0	0
	Workers trained to level 2	7.3	0	0	0	0	0	0	0
	Overtime hours	326.7	140	140	46.7	46.7	46.7	46.7	46.7
P2	Workers used on level 1	0	0	10	0	0	45.8	45.8	83.6
	Workers hired on level 1	0	0	10	0	0	45.8	0	37.8
	Workers fired from level 1	0	0	0	10	0	0	0	0
	Workers trained to level 2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Overtime hours	0	0	100	0	0	458.4	458.45	836.18
P3	Workers used on level 1	77.5	38.6	100.1	69.2	64.3	55	27	17.3
	Workers hired on level 1	68.6	0	61.5	0	0	0	0	0
	Workers fired from level 1	0	0	0	0	0	9.3	0	9.6
	Workers trained to level 2	1.1	38.9	0	30.9	4.9	0	28	0
	Overtime hours	774.6	385.6	1000.7	692.1	643.1	550	269.6	173.2
		110	100	110	100	100	80	100	80
Worker skill 2									
P1	Workers used on level 1	18.7	0	9.3	0	0	0	0	0
	Workers used on level 2	37.3	18.7	18.7	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
	Workers hired on levels 1 and 2	18.7	0	9.3	0	0	0	0	0
	Workers fired from levels 1 and 2	0	37.3	0	18.7	0	0	0	0
	Workers trained to level 3	0	0	0	0	0	0	0	0
	Overtime hours	560	186.7	280	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3
P2	Workers used on level 1	8.9	8.9	10	0	0	0	0	0
	Workers used on level 2	20	20	20	10	10	10	10	10
	Workers hired on levels 1 and 2	9.9	0	1.1	0	0	0	0	0
	Workers fired from levels 1 and 2	0	0	0	20	0	0	0	0
	Workers trained to level 3	0	0	8	0	0	0	0	0
	Overtime hours	288.8	288.8	300	100	100	100	100	100
P3	Workers used on level 1	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	9.4	9.6	0
	Workers used on level 2	11.1	43.6	43.6	54.8	57.4	48.1	66.8	57.1
	Workers hired on levels 1 and 2	18.7	0	0	0	0	0	0.2	0
	Workers fired from levels 1 and 2	0	0	0	0	0	18.6	0	19.3
	Workers trained to level 3	0	6.5	0	19.6	2.4	0	9.4	0
	Overtime hours	298.9	623.2	623.2	736.1	761.5	575.2	764.1	571.3
		120	90	120	90	100	60	100	60
Worker skill 3									
P1	Workers used on level 1	18.7	0	9.3	0	0	0	0	0
	Workers used on level 2	18.7	0	9.3	0	0	0	0	0
	Workers used on level 3	30	11.3	11.3	2	2	2	2	2
	Workers hired on levels 1–3	37.3	0	18.6	0	0	0	0	0
	Workers fired from levels 1–3	0	28	0	0	0	0	0	0
	Overtime hours	673.3	113.3	300	20	20	20	20	20
P2	Workers used on level 1	0	10	10	0	0	0	0	0
	Workers used on level 2	0	0	10	0	0	0	0	0
	Workers used on level 3	30	30	38	20	20	20	20	20
	Workers hired on levels 1–3	0	10	10	0	0	0	0	0
	Workers fired from levels 1–3	0	0	0	30	0	0	0	0
	Overtime hours	300	400	500	200	200	200	200	200
P3	Workers used on level 1	0	8.2	8.2	8.2	9.3	0	9.6	0
	Workers used on level 2	2.8	3.1	6.8	9.3	9.3	0	9.6	0
	Workers used on level 3	10.5	16.4	16.4	36	38.4	29.1	38.4	28.8
	Workers hired on levels 1–3	2.8	8.5	3.7	2.5	1.1	0	19.2	0
	Workers fired from levels 1–3	0	0	0	0	0	28	0	29
	Overtime hours	127.7	277.8	315	535.7	570.2	139.6	577.3	148.8

شکل ۳-۹: نیروی کار موجود درهر سطح ماشین $worker$

آموزش، مهارت و اضافه‌کاری کارگران، توانایی، حضور کارگران، شخصیت و انگیزه کارگران مورد بررسی قرار می‌گیرد که اهمیت شامل شدن این فاکتورها را در مراحل اولیه‌ی برنامه‌ریزی نشان می‌دهد. اما، نتایج حاصل از این مدل تصمیمات کارکنان را راجع به اینکه پیشنهاد چی، چگونه و کی استخدام کنند، اخراج کنند و آموزش بدهند نشان می‌دهد. همچنین، تعداد ساعات کاری طی ساعت معین و اضافه کاری تعیین می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد که استخدام، اخراج و آموزش کارگران بین تمام سطوح شخصیت بسته به هزینه‌ی استخدام،

اخراج و آموزش و سطوح عملکرد متفاوت است. بطور کلی فرض می‌شود که کارگران یکسان هستند. این تحقیق نشان می‌دهد که عملکرد کارگران را می‌توان برای مدلسازی تفاوت‌های بین آنها و پیش‌بینی استخدام، اخراج و آموزش کارگران استفاده کرد. جدول ۳-۹ تعداد کارگران استخدام شده، اخراج شده و آموزش دیده در هر دوره برای سطح متفاوت شخصیت را نشان می‌دهد . از جدول، مشاهده می‌شود که بسیاری از کارگران استخدام شده و تعلیم دیده در سطح شخصیتی بالایی دارند.

همچنین، همانطور که عملکرد کاهش می‌یابد تعداد کارگران اخراجی افزایش می‌یابد. بنابراین، عملکرد در تصمیمات مربوط به استخدام، اخراج و آموزش و دوران بیکاری یک فاکتور حساس است. اما اگر اولویت‌بندی اهداف و موقعیت‌های اولیه تغییر کنند، احتمالا نتایج متفاوت خواهند بود. به عنوان مثال، وقتی اولین هدف شرکت کاهش تعداد کارگران اخراجی دارای عملکرد بالا باشد می‌توانیم ببینیم که کارگرانی که ترغیب می‌شوند تا ۲.۷ درصد افزایش می‌یابند که در عمل یک سناریوی طبیعی است.

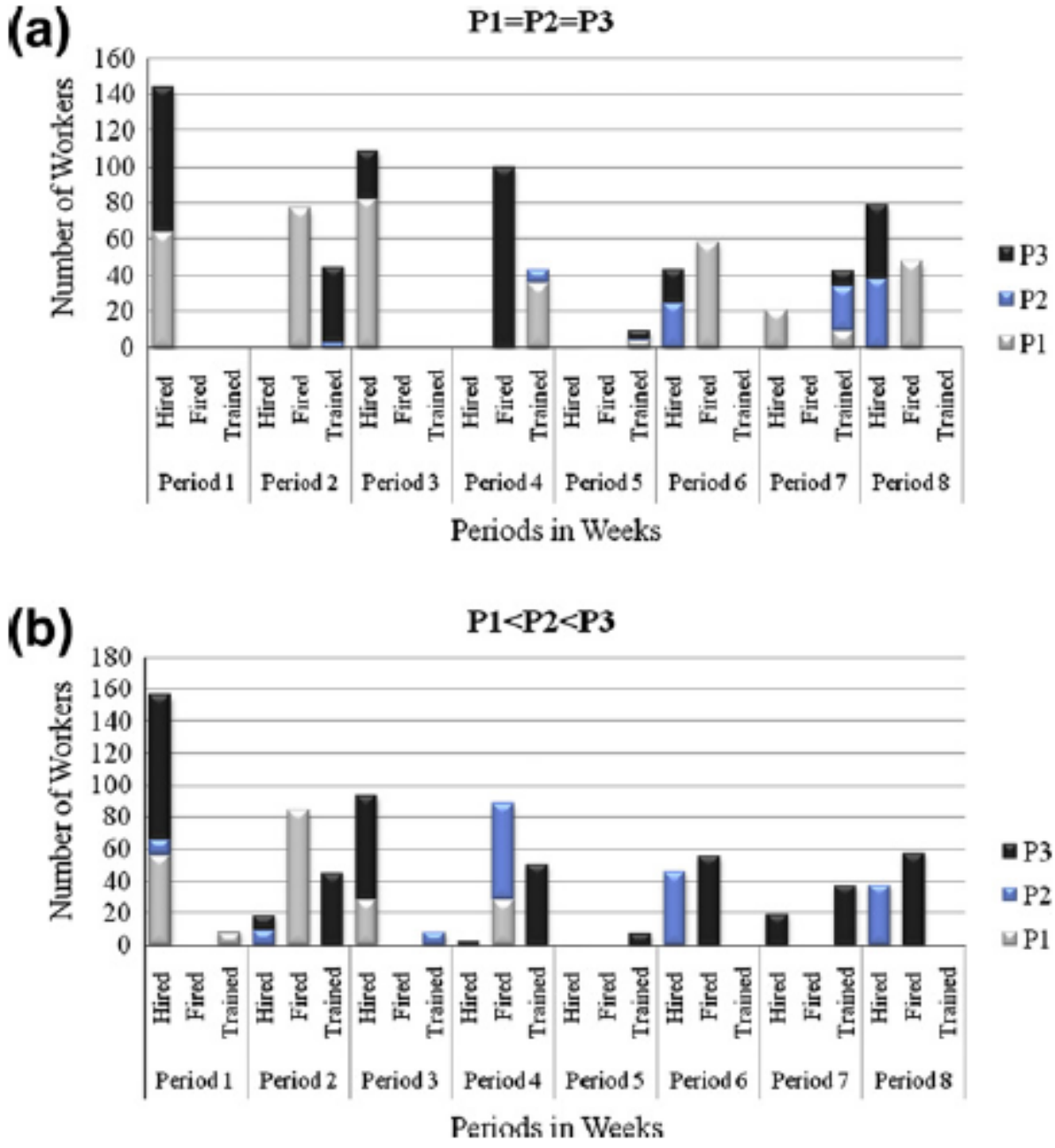
۳-۵ نگرشی بر تاثیرات تفاوت کارگران

در بخش قبلی، یک مثال ساده عددی برای توضیح عملکرد مدل ارائه می‌شود. در این بخش، همین مثال به منظور بررسی تاثیرات فاکتورهای بشری و دیگر پارامترهای مهم مدل راجع به تصمیم‌گیری‌های نیروی کار استفاده می‌شود. این عوامل سطوح شخصیتی، ظرفیت کارگر، انگیزه، تعداد اولیه کارگران، هزینه آموزش و استخدام آنها می‌باشند.

اکثر مدل‌های قبلی (نه تمام آنها) به تفاوت‌های انسان در برنامه‌ریزی نیروی کارتوجه نمی‌کنند. اما، توجه به تفاوت‌های بشری موجود در بین کارگران منجر به تصمیمات دقیق‌تر و موثرتر نیروی کار می‌شود. در این آزمایش، فرض می‌شود که هیچ اطلاعاتی در مورد تفاوت‌های بشری، و هزینه‌های استخدام، اخراج و آموزش کارگران هزینه‌های میانگینی که در مثال قبلی استفاده شد. دو سناریوی متفاوت وجود دارد: اولی موردی را نشان می‌دهد که در آن عملکرد کارگران مشابه است، و دومی موردی را نشان می‌دهد که در آن عملکرد آنها متفاوت است.

شکل ۳-۱۰ شباهت‌های بین دو سناریو را با توجه به تصمیمات نیروی کار نشان می‌دهد. وقتی که تفاوتهای کارگران اصلا در نظر گرفته نمی‌شود هزینه‌ی کلی معادل ۶۵۰۸۱۶۵ دلار در حالیکه در سناریو ۲، که در آن تفاوتهای کارگران در نظر گرفته می‌شود، هزینه‌ی کلی معادل ۶۰۷۶۷۳۵ دلار است. این تفاوت‌ها درهزینه‌های کلی بین دو سناریو بخاطر تفاوت‌های موجود در کار، هزینه‌های استخدام، اخراج، و هزینه‌های آموزش و عملکرد است.

نتایج نشان می‌دهند که بخاطر در نظر گرفتن تفاوت‌های کارگران دراین مدل و به خاطر مقایسه‌ی سناریوی ۱



شکل ۳-۱۰

با سناریو ۲، کاهش هزینه ۷.۱ درصد وجود دارد .اما اگر مدیر تصمیم بگیرد که هزینه‌ها را تغییر دهد نتایج تغییر خواهند کرد. علاوه بر این، اگر تعداد اولیه‌ی کارگران تغییرکند، تعداد کارگران تعلیم دیده، اخراجی و استخدام شده نیز که هزینه‌های کلی را تغییر می‌دهند تغییر خواهد کرد.

از سوی دیگر، شکل ۱الف برنامه نیروی کار نهایی تولید شده توسط سناریو ۱ را نشان می‌دهد. طبق برنامه سناریو۱ می‌توان دید که اکثر کارگران استخدام شده سطح پایینی از شخصیت وانگیزه‌ی کمتری دارند. همچنین،

تعدادی از کارگران که دارای عملکرد بالایی هستند در دوره‌ی ۴ اخراج می‌شوند. اما این طرح بر مبنای اطلاعات داده‌ها بوجود می‌آید و محقق آنرا بدون توجه به تفاوت‌های انسانی تخمین می‌زند که ممکن است نتایج نادرستی بدست دهد. علاوه بر این، شکل ۱ ب سناریوی ۲ را نشان می‌دهد. در این سناریو، گزینه (انتخاب)های آموزش بیشتری از مهارت‌های پایین‌تر تا مهارت‌های بالاتر وجود دارد، و اکثر کارگران آموزش دیده سطوح شخصی و مهارت بالایی دارند. بنابراین، بسیاری از کارگران جدیدی که استخدام می‌شوند سطوح شخصی بیشتر از ۲ دارند. همچنین، اکثریت کارگران اخراجی سطوح شخصیتی پایینی دارند.

این آزمایش نشان می‌دهد که اگر مدل برنامه‌ریزی نیروی کار به فاکتورهای انسانی مانند شخصیت و ظرفیت کارگر، و انگیزه کارگر، توجه کند در آنصورت ممکن است بتوانیم تصمیمات بهتری راجع به تولید و کارکنان بگیریم. به عنوان مثال، با استفاده از یک برنامه که مهارت و شخصیت کارگر توجه می‌کند، تصمیم‌گیری در مورد اختصاص کارگر مناسب برای سطح ماشین مناسب بدون نیاز به تغییر پروسه‌ی برنامه‌ریزی در هر دوره صورت خواهد گرفت بطوریکه هزینه‌ی کلی و زمان کاهش خواهد یافت. به این ترتیب، طرح نیروی کار تا حد زیادی به چندین پارامتر مختلف از جمله تعداد کارگران اولیه، شخصیت و حقوق کارگر و هزینه‌های آموزش، بستگی دارد که تصمیم‌گیری را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

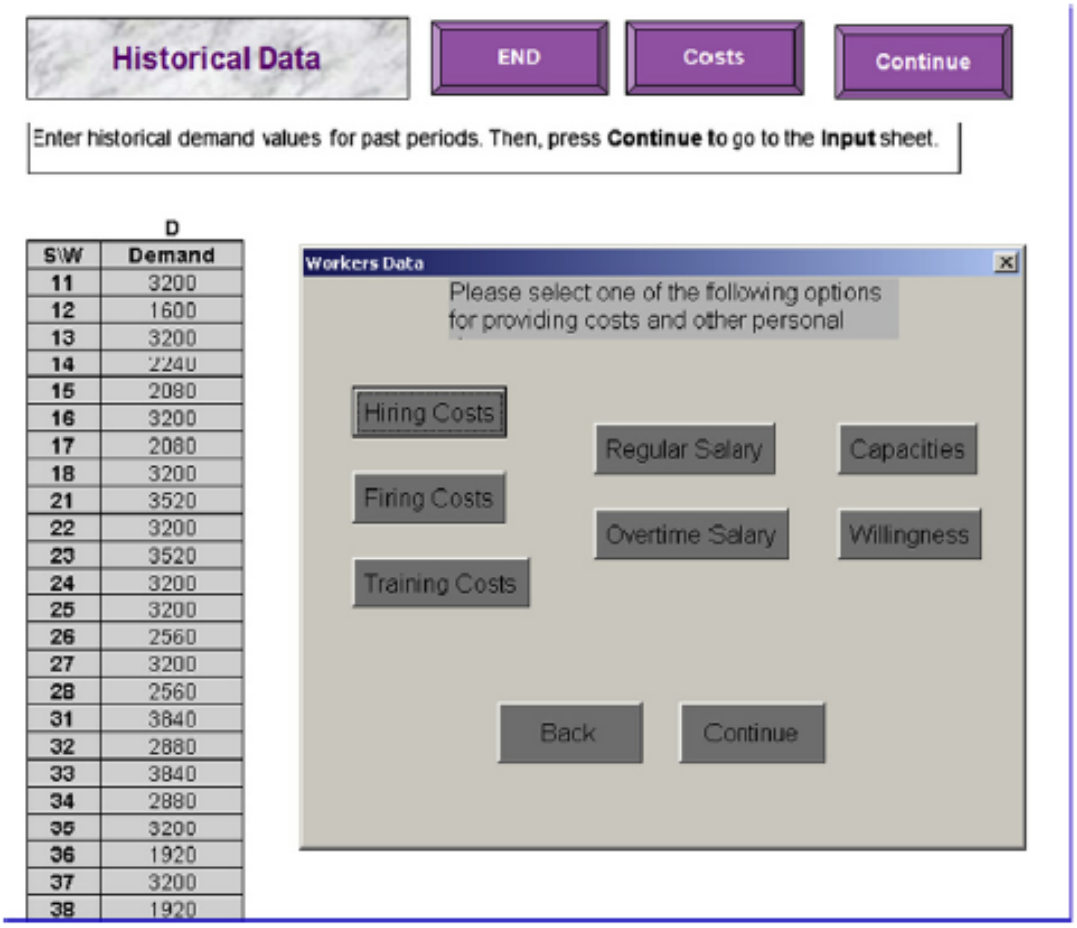
۳-۶ سیستم پشتیبانی تصمیم گیری

اکنون برای حل این مساله یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری [۱۰] بر اساس حلال برنامه‌نویسی خطی LINGO ۱۰ را ارئه می‌کنیم. اولا، کاربر سیستم باید تقاضای تاریخی در هر دوره به عنوان مثال برای هشت دوره وارد کند. سپس هزینه‌های آموزش، استخدام، اخراج و حقوق اضافه کاری و ساعات معین باید وارد شوند. همچنین، موقعیت کاری و توانایی (ظرفیت)کارگران و اشتیاق آنها وارد پایگاه اطلاعات می‌شود.

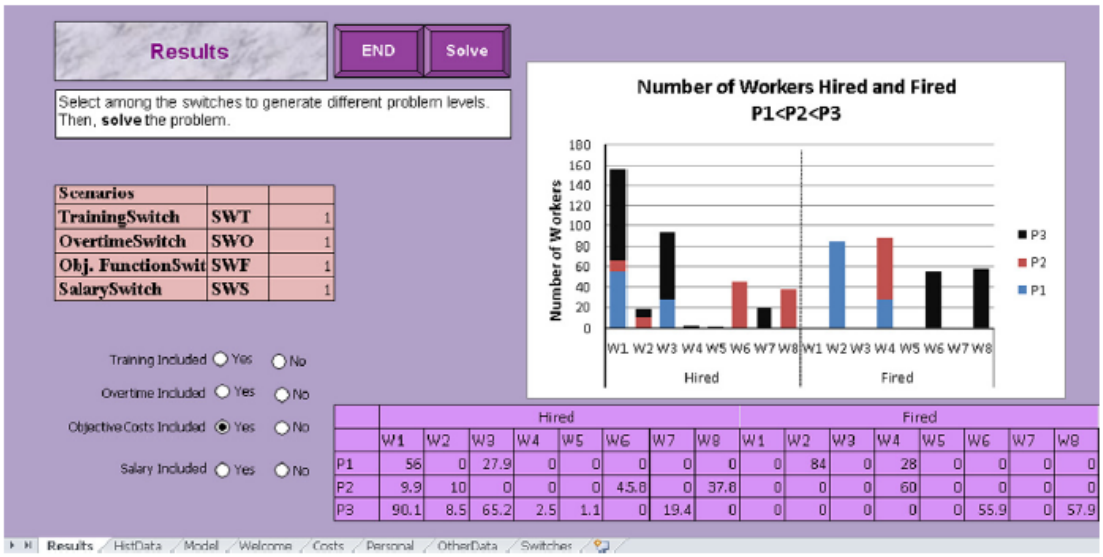
شکل ۳-۱۱ فهرست معرفی برای اطلاعات داده‌ها برای مساله‌ی دوره‌ی برنامه‌ریزی ۸ هفته‌ای را نشان می‌دهد. پس از آن کاربر بخش‌های مختلفی برای انتخاب از بینشان خواهد داشت.

این برنامه شامل " تغییراتی " برای تبدیل مشخصه‌های روشن یا خاموش، بله یا نه است (۱ روشن / بله است، ۰ خاموش / خیر است) که طبق شکل ۳-۱۲ حق انتخاب را از بین آموزش، حقوق، تابع هدف و اضافه کاری ممکن می سازد. تاثیر این تغییرات این است که ما محدودیت را در مدل LINGO واقعی تغییر دهیم. همچنین، مهم است که کاربر شروع به حل مساله با یک هدف اولویت اولیه کند وسپس مساله‌ی دیگری را برای شناسایی مقادیر توابع هدف که شرکت می‌خواهد به آن دست یابد حل نماید. سپس، می‌تواند از طریق تعیین وزنه‌ها برای ضرایب انحرافات بر مبنای نگرانی شرکت یک مساله مرکب را حل کند.

[۱۰] Decision support system



شکل ۳-۱۱



شکل ۳-۱۲

اما، حفظ اطلاعات نیروی کار در یک فایل مدل LINGO کار دشوار و غیر قابل اجرایی است. به همین دلیل، برنامه‌ی LINGO از طریق خصیصه‌ی نصب وارتباط همزمان اشیا (OLE) به اکسل وصل می‌شود. ارتباطات خودکار OLE را می‌توان برای هدایت LINGO از طریق ماکروهای اکسل، و لینک‌های نصب شده‌ی OLE استفاده کرد که به شما این امکان را می‌دهد را تا کارآمدی LINGO را وارد اکسل کنید. اما DSS کامپیوتری که در اینجا ارائه شد این مدل را بعنوان یک ابزار بسیار مفید برای حل مساله برای مدیران معرفی می‌کند. این سیستم بخاطر داشتن وجه اشتراک با اکسل طراحی شده است، به طوری که کاربر می‌تواند اطلاعات داده‌ها را مستقیما از طریق پایگاه اطلاعات وارد و خروجی‌های این مدل را به پایگاه اطلاعاتی دیگر دراین سازمان خارج نماید.

به منظور حل هر مساله‌ای، کاربر باید سه مرحله را طی کند. در مرحله اول، کاربر اطلاعات ضروری داده‌های ورودی را برای حل مدل، از قبیل هزینه‌های استخدام، اخراج، آموزش، دستمزد اضافه کاری و ساعات معین و ویژگی‌های تخمین زده شده بشری را طبق شکل ۲ وارد می‌کند. می‌توان اینکار را از طریق شکل کاربر که برای راحتی آن طراحی می‌شود انجام داد. اطلاعات وارد شده به طور مستقیم در برگه‌ی گزارش کار اکسل ذخیره می‌شوند تا به عنوان یک بخش ورودی برای برنامه LINGO استفاده شود. در مرحله دوم، طبق شکل ۳ کاربر می‌تواند از طریق قرار دادن صفر یا یک برای هر کدام برخی از انتخابها مثل آموزش و اضافه کاری را از مدل اصلی حذف یا اضافه کند. حق انتخاب تغییر،مزیت هدایت تحلیلهای اگرچه را برای مشخص کردن اینکه آیا راه حلها نسبت به مقادیر مختلف پارامتر مسئله‌ی داده شده حساس هستند در اختیار مدیر قرار می‌دهد.

در مرحله سوم، او باید براساس سیاستها و قوانین شرکت وزنه‌های مختلف را برای هر هدف تعیین کند و سپس برای ایجاد نتایجی که نشان می‌دهند در هر دوره برای هر سطح شخصی چند کارگر استخدام، اخراج و آموزش داده می‌شود، مدل را حل کند. نتایج به کاربر کمک می‌کنند تا از طریق بررسی ابعاد مختلف بشری در مساله‌ی برنامه‌ریزی نیروی کار انتخابها و تصمیمات مختلف را ارزیابی و مقایسه کنند. در نهایت، از طریق میانجی ارتباط داشتن مدل LINGO با اکسل یک متدلوژی موثر را برای ذخیره تعداد زیادی از اطلاعات داده‌ها فراهم می‌کند به طوری که از DSS پیشنهادی بتواند مسایل بسیار بزرگ را حل کند.

برای مدیران شاغلی که فاقد دانش لازم راجع به مدل‌های برنامه‌ریزی نیروی کار هستند، پیدا کردن یک جواب تحلیلی برای مدل ارائه شده می‌تواند کاملا چالش برانگیز باشد. اما DSS کامپیوتری ارائه شده در اینجا از این مدل یک ابزار مفید حل مسئله برای چنین مدیرانی می‌سازد. هدف از DSS کمک به مدیران، کاربران مورد نظر، دستیابی به " بهترین جواب " برای یک مساله‌ی داده شده بدون آشنایی با پیچیدگی‌های ریاضیاتی مربوط به این مدل است. این یافته‌ها انگیزه لازم برای ایجاد مدل ارائه شده موجود در سیستم‌های تولید رایج در شرکت‌های صنعتی را فراهم می‌کنند.

۳-۷ بحث و گفتگو

نتایج حاصل از این بررسی از چند جهت مهم هستند. مهمترین آنها کاربرد معیارهای تئوریکی است که باینز [۱۱] و همکاران (۲۰۰۵)، بلومبرگ [۱۲] و پرینگل [۱۳] (۱۹۸۲) وجونز [۱۴] (۱۹۹۳) پیشنهاد دادند تا مهمترین فاکتورهای بشری موثر برفرایند برنامه‌ریزی نیروی کار را شناسایی کنند. برخلاف تحقیقات اولیه که منحصرا بر چشم پوشی از تفاوت‌های کارگران تکیه شده است، این رویکرد این امکان را به ما می‌دهد تا فاکتور شخصیت ادغام شده را مدنظر بگیریم تا براساس آن تصمیم بگیریم که چه چیزی بهترین گزینه برای استخدام، اخراج و آموزش کارگران برای برآوردن اهداف شرکت بدون تغییر قوانینشان است. دوم، نتایج نشان می‌دهد که تفاوت‌های کارگران باید در برنامه‌ریزی نیروی کار مورد توجه قرار بگیرد تا برنامه‌ریزی‌های واقع بینانه با حداقل هزینه ایجاد شوند. بنابراین، ما نشان داده‌ایم که تفاوت‌های ادغام شده کارگر در فرایند برنامه‌ریزی هزینه‌های کلی را کاهش می‌دهد.

سوم اینکه، بر خلاف بسیاری از مطالعات قبلی از برنامه‌ریزی نیروی کار، بررسی فعلی شیوه‌هایی را برای اندازه‌گیری فاکتورهای ناملموس بشری پیشنهاد می‌کند که اندازه‌گیری آنها دشوار است. در نهایت، این مقاله به بررسی تاثیرات عملکرد و انگیزه بشر را درمورد پروسه‌ی برنامه‌ریزی نیروی کار مورد بررسی قرار می‌دهد. عملکرد بشری یک عامل انتقادی در تصمیم‌گیری راجع به آموزش، استخدام و دوران بیکاری است. این مدل کمک می‌کند تا راههایی را برای حفظ کارگران براساس انگیزه و عملکردشان پیدا کنیم. علیرغم این تعداد شماری از ویژگی‌های کار موجود همچنین نتیجه‌گیری‌هایی را که می‌توان از این نتایج حاصل می‌شوند را محدود می‌کند.

اولا، اگر چه این مدل نتایج منطقی بدست می‌دهد، اما اطلاعات داده‌ها بفرضی هستند و براساس عقاید و تجربه نویسندگان بوجود می‌آیند. دومین محدودیت بررسی فعلی همه پارامترهای فاکتور بشری هستند و تقاضای کلی قطعی و معلوم هستند، که ممکن است نتایج غیر واقع بینانه‌ای تولید کنند. سومین محدودیت این است که این مدل بسیاری از فاکتورهای بشری را که می‌توانند فرایند برنامه‌ریزی را تحت تاثیر قرار دهند نادیده می‌گیرد. برخی از این فاکتورها عبارتند از: ارتباط، تجربه، فرایند یادگیری و فراموشی. اگرچه ما روابط بین عوامل انسانی(فاکتورهای بشری) را مطالعه نمی‌کنیم، اما آنها را به عنوان یک مجموعه در نظر می‌گیریم که نشانگر یک گروه از کارگران با ویژگی‌های مشابه هستند. تا زمانی که تحقیقات بیشتر مسیر این روابط و تاثیرات، را روشن نمایند فقط با احتیاط می‌توان جملات سببی بوجود آورد.

واضح است که تحقیق راجع به برنامه‌ریزی نیروی کار به پایان نرسیده است و مسیر هنوز برای جامع‌تر و واقعی‌تر کردن مدل پیشنهادی باز است. این ممکن است دیگر فاکتورهای بشری مانند منحنی‌های یادگیری و تجربه را که می‌تواند منطقه‌ی مورد انتظار کاری برای تحقیقات آینده باشد مورد توجه قرار دهد. با این حال، تاثیرات منحنی

---

۱۱ ؟؟؟؟؟؟
۱۲
۱۳
۱۴

یادگیری باید در فرمول‌بندی مدل مورد بررسی قرار بگیرد. درفعالیت‌های مونتاژ(تولید) نیاز به کاردستی بیشتری دارند، مشاهده شده‌است که زمانیکه تجربه‌شان بیشتر می‌شود زمان تولید کاهش می‌یابد. همچنین اصلاح مدل پیشنهادی برای مورد توجه قرار دادن تجربه‌ی کارگر رویکرد دیگری برای ادغام ابعاد مربوط به بشر در برنامه‌ریزی تولید خواهد بود. به عنوان مثال، دستمزدها می‌توانند یک تابع از زمان و تجربه که نشان‌دهنده سیستم‌های فعلی‌ای باشند که مدیریت در شرکت‌های مختلف استفاده می‌کند. در نهایت، تحقیقات آینده ممکن است پیشرفت DSS تعاملی را مورد توجه قرار دهند که به مدیران کمک می‌کنند تا این مدل را در زمینه عدم قطعیت(بی ثباتی) پارامترهای تقاضا و هزینه حل کنند.

۸-۳ نتیجه گیری

در این مقاله یک شیوه‌ی جدید برای ادغام تفاوت‌های کارگران با برنامه‌ریزی نیروی کار برای عملکرد بهتر سیستم‌های تولید پیشنهاد می‌شود. این مدل را می‌توان ابعاد بشری برای طراحی نیروی کار هر شرکت به حساب آورد بطوریکه رضایت مشتری با حداقل هزینه بدست آید. همچنین دو مثال برای آزمایش تاثیر تفاوت‌های کارگران در پروسه‌ی برنامه‌ریزی زده می‌شود. اهمیت این تحقیق کمک آن به مساله برنامه‌ریزی تولید است که اینکار از طریق ادغام ابعاد بشری بصورت بخش انتگرالی سیستم تولید انجام می‌دهد و موقعیت واقعی را درون سازمانها نشان می‌دهد.علاوه برآن این تحقیق مدیریت شرکت را با یک درک واضح در مورد چطور ادغام کردن فاکتورهای بشری در برنامه‌ریزی تولید برای عملکرد بهتر سیستم‌های تولید فراهم می‌کند.

-مدل برنامه‌ریزی نیروی کار به منظور تمرکز روی موضوعات بشری در برنامه‌ریزی تولید توسعه داده شده است. این مدل امکان تصمیم‌گیری راجع به کارکنان مختلف (ازقبیل استخدام، آموزش، اخراج و اضافه کاری) را به ما می‌دهد تا مجموع هزینه‌های استخدام، اخراج، آموزش و اضافه‌کاری و همچنین تعداد کارگران دارای عملکرد بالا که طی تمام مدت اخراج می‌شوند کاهش یابد. موضوعات بشری از قبیل مهارت کارگر، آموزش، ساعات استراحت، مرخصی، حضور، توانایی، انگیزه و شخصیت مورد بررسی قرار می‌گیرند.

کمک‌های خاص در این مقاله عبارتند از: توسعه مدل برنامه‌ریزی نیروی کار که تفاوت‌های کارگران، آموزش، مهارت، حضورکارگران، انگیزه و شخصیت را مورد بررسی قرار می‌دهد. همچنین سطوح کاری و احتمال آموزش کارگران و ارتقاءشان مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که هزینه‌ها و شخصیت کارگران تاثیر قابل توجه بر روی انتخاب کارگران با توان مهارتی مختلف می‌گذارد. علاوه بر این، سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای شکاف ایجاد کردن بین تئوری و عملکرد(تمرین) مدل‌های برنامه‌ریزی نیروی کار ارائه می‌شود.

در نتیجه، این تحقیقات اهمیت رسیدگی به عوامل بشری اولیه در فرآیند برنامه ریزی سیستم های تولید را

نشان داده است. این یکی از تلاشهایی است که برای شکاف ایجاد کردن بین تئوری و عمل مدلهای برنامه‌ریزی تولید صورت گرفته است. از طریق رسیدگی به عوامل بشری و فنی (تکنیکی)، می‌توان مدل پیشنهادی به عنوان ابزاری برای پشتیبانی از فرآیندهای تصمیم‌گیری در دنیای واقعی در سیستم تولید استفاده کرد.

فصل ۴

اکتشافاتی در برنامه‌ریزی نیروی کار با تفاوت‌های کارگران

۴-۱ مقدمه

انعطاف‌پذیری نیروی کار، مانع موثری در مقابل شکل‌های مختلف نوسان در سیستم‌های تولیدی است. این انطعاف را می‌توان به چند روش از جمله استفاده از نیروی کار موقت، اضافه کار، و کارکنان مقطعی، به دست آورد. در این فصل اثر فلاور [۱] ویروجاناگود [۲] و ژل [۳] [۶]. را که بر انعطاف حاصل از کار مقطعی در نیروی کار تمرکز دارد ارایه می‌دهیم. کار مقطعی به شرکت‌ها امکان بهره‌بردای موثر از کارکنان و منافع دیگری مثل ارتقای ارتباطات، افزایش یادگیری کارکنان، و کارایی بالاتر کارکنان را نیز دارد. در حالیکه کار مقطعی، می‌تواند به علت هزینه‌های آموزش، افزایش حقوق کارکنان، و از دست دادن نیروی کار یا بازدهی در دوره‌ی آموزشی، بسیار گران باشد. بنابراین آموزش مقطعی، باید پس از ملاحظه‌ی دقیق راهکارهای مختلف و هزینه‌های آنها اجرا شود.

در این فصل، یک مدل برنامه‌ریزی نیروی کار ارائه می‌شود که تفاوت‌های فردی کارکنان را با توانایی یادگیری مهارت‌های جدید و اجرای وظایف ترکیب می‌کند. این مدل، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مرکب است که تعدادی از تصمیمات استخدامی مختلف (مثل استخدام، آموزش مقطعی، و اخراج) را برای مینیمم‌سازی هزینه‌های تولید از دست رفته و هزینه‌های مربوط به نیروی کار را فراهم می‌سازد. توانایی ادراک عمومی (GCA) [۴] که به صورت توانایی یادگیری یا پردازش اطلاعات تعریف می‌شود، برای مدلسازی تفاوت‌های فردی در کارایی آموزش مقطعی و بازدهی، مورد استفاده قرار گرفت.

---

[۱] Fowler
[۲] Wirojanagud
[۳] Gel
[۴] ؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟

چندین آزمایش در اثر ویروجاناگود و همکاران، با استفاده از داده‌های تولید واقعی نشان داد زمانی که اندازه‌ی فاصله مسئله بزرگ است (یعنی ۲۵ گروه ماشین)، جواب بهینه را نمی‌توان در یک زمان معقول به دست آورد. رویکرد تقسیم فضای جواب (که با عنوان رویکرد تجزیه در اثر ویروجاناگود و همکاران مطرح شد)، از گروه‌بندی مهارت‌ها برای آموزش مقطعی استفاده می‌کند، که به منظور کاهش اندازه مسافت مسئله پیشنهاد می‌شود. در هر حال، زمان محاسباتی برای رویکرد تقسیم فضای جواب می‌تواند بسیار بزرگ بوده (تقریبا ۱۰ ساعت) و بر زیرگروه‌های بزرگتری حاکم باشد. به علاوه، حل مسئله از طریق آزادسازی برنامه‌ریزی خطی (LP) [۵] می‌تواند زمان محاسباتی نسبتا زیادی را بگیرد (تقریبا ۲۵ دقیقه). بنابراین الگوریتم‌هایی مثل شاخه و کران، که دفعات زیادی نسبت به حل آزادسازی LP نیاز دارند برای حل فاصله مسئله‌های بزرگ مناسب نیستند. هدف این مقاله معرفی مباحث اکتشافی موثر و ساده‌ای است که زمان محاسباتی مورد نیاز برای حل مسائل برنامه‌ریزی نیروی کار را در اندازه‌ی واقعی، کاهش می‌دهد. بر اساس جواب‌های آزادسازی LP ، تلاشی اکتشافی برای تبدیل جواب‌های کسری به جواب‌های ساده با رندسازی بالا یا پایین به مقدار صحیح بعدی است. رندسازی بالا، استخدام مازاد ایجاد می‌کند در حالی که رندسازی پایین باعث از دست رفتن بخش از تولید می‌شود. بنابراین تصمیمات اکتشافی تعیین می‌کند که رندسازی بالا یا پایین راه حل انجام شود و برای تعداد مازداد کارکنان حاصل از رندسازی بالا آموزش مقطعی انجام شود تا تقاضایی که از رندسازی پایین رفع نشده، پوشش داده شود.

علاوه بر دو اکتشاف (LP) پیشنهادی، یک الگوریتم عمومی (GA) [۶] اجرا شد. (GA) ها، عموما برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی به کار رفته و اغلب جواب‌های بهینه یا نزدیک به بهینه را به دست می‌آورند. در اینجا (GA) به عنوان نشانه‌ای برای کشف پیشنهادی و نیز به‌عنوان یک روش متناوب به کار می‌رود که شرکت‌کنندگان می‌توانند از آن برای کسب راه حل‌های بهتر استفاده کنند. چندین اکتشافی مبتنی بر LP برای زمان‌بندی نیروی کار وجود دارد. جواب‌های اکتشافی مبتنی بر LP با حل LP و سپس اصلاح جواب برای حذف مقدارهای کسری، به دست می‌آید.

۴-۱-۱ توصیف مدل

در مدل MIP [۷] مورد استفاده دراین فصل، مجموعه مهارت نیروی کار، به مجموعه گروه ماشین آلاتی اشاره دارد که می‌تواند با آنها کار کند. مثلا یک مجموعه مهارت تهی به کارگر جدید استخدام شده‌ای اشاره دارد که مهارتی ندارد. مجموعه مهارت‌هایی که یک مهارت دارند، به یک کارگر متخصص اشاره دارد که می‌تواند تنها با یک گروه ماشین آلات کار کند و مجموعه مهارت‌هایی با دو یا چند مهارت، با کارکنان آموزش دیده‌ی تناظر دارد.

[۵] linear Programing
[۶] ؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟
[۷] Mixed Integer Prgramming

۲-۴ پارامترهای مدل

پارامترهای مدل در زیر تعریف می‌شوند. توجه داشته باشید α به مجموعه مهارت‌های قبل از آموزش و β به مجموعه مهارت‌های پس از آموزش اشاره دارد که $\alpha \subset \beta$. به علاوه ، یک نیروی کار با سطح GCA از $g \in \{۱, ..., G\}$ بعنوان کارگر سطح g مطرح می‌شود.

M : تعداد مهارت‌ها

S : مجموعه‌ای از زیرمجموعه مهارت‌های غیرتهی بنابراین $|S| = ۲^M - ۱$

A : زمان کاری مفید برای هر کارگر درساعت‌های هر دوره زمانی

T : تعداد دوره‌های زمانی

G : تعداد سطوح GCA

$h^t_{\alpha g}$: هزینه استخدام یک کارگر سطح g با مجموعه مهارت α در دوره t

$c^t_{\alpha\beta g}$: هزینه آموزش یک کارگر سطحgاز مجموعه مهارت α به مجموعه مهارت β در دوره t

$s^t_{\alpha g}$: حقوق یک کارگر سطح g با مجموعه مهارت α در دوره t (بر حسب دلار در ماه)

$f^t_{\alpha g}$: هزینه جریمه اخراج یک کارگر سطح g با مجموعه مهارت α در دوره t

p^t_i : هزینه جریمه مجاز کردن یک واحد تولید از دست رفته برای مهارت iدر دورهt

$\gamma_{\alpha g}$: بازدهی کار برای کارگر سطح g با مهارت iکه $۰ \leq \gamma_{gi} \leq ۱$

$\lambda_{\alpha g}$: بازدهی آموزشی برای یک کارگر جدید استخدام شده‌ی سطح gبا مهارت α که $۰ \leq \lambda_{\alpha g} \leq ۱$

$\delta_{\alpha\beta g}$: بازدهی آموزش مقعطی برای یک کارگر سطحg که از مجموعه مهارت α به مجموعه مهارت β آموزش دیده است که $۰ \leq \delta_{\alpha\beta g} \leq ۱$

ω^t_i: تقاضا برای مهارت iدر دورهt (در ساعت کاری هر دوره زمانی)

۳-۴ متغیرهای تصمیم‌گیری

متغیرهای تصمیم‌گیری به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$U^t_{\alpha g}$: تعداد کارکنان سطح g با مجموعه مهارت α در دوره t ، عدد صحیح

$X^t_{\alpha\beta g}$: تعداد کارکنان سطح g که از مجموعه مهارت α به مجموعه مهارت β در دوره t اموزش دیده‌اند ، عدد صحیح

$\xi^t_{\alpha g}$: تعداد کارکنان سطح g با مهارت α در دوره t (متغیر ذخیره) [۸]

$W^t_{\alpha g}$: تعداد کارکنان سطح g با مجموعه مهارت α که در دوره t اخراج شده‌اند، عدد صحیح

$Y^t_{\alpha g i}$: تعداد کارکنان سطح g با مجموعه مهارت α که به مهارت iدر دوره t تخصیص داده شده‌اند که $i \in \alpha \subseteq \{۱, ۲, ..., M\}$

Z^t_i : تعداد ساعت‌های i مهارت رفع‌نشده مورد نیاز در دوره t

۴-۴ تابع هدف مساله

مسئله را می‌توان به صورت یکMIP به صورت زیر فرمول‌سازی کرد:

$$min \sum_{t=۱}^{T}[\sum_{g=۱}^{G}(\sum_{\alpha \in S} h^t_{\alpha g} U^t_{\alpha g} + \sum_{\beta \in S}\sum_{\alpha \subset \beta}(c^t_{\alpha \beta g} X^t_{\alpha \beta g}) + \sum_{\alpha \in S} s^t_{\alpha g}\xi^{t-۱}_{\alpha g} + \sum_{\alpha \in S} f^t_{\alpha g} W^t_{\alpha g}) + \sum_{i=۱}^{M} p_{i^t} Z^t_i]$$

تابع هدف فوق هزینه کل شامل استخدام، آموزش، حقوق و هزینه‌های اخراج و نیز هزینه‌های تولید از دست‌رفته برای مهارت M در دوره‌ی Tرا مینیمم می‌سازد. دراین هزینه‌ها فرض می‌شود :

۱. هزینه‌های آموزش، بر اساس سطحGCAو مهارت‌هایی که کارکنان برای آن آموزش دیده‌اند، تعیین می‌شود.

۲. حقوق و هزینه‌های اخراج بر اساس سطح GCAو مهارت‌های کارکنان تعیین می‌شود.

متغیر ذخیره، برای بروزرسانی و تعدیل تعداد کارکنان هر مجموعه مهارت بر اساس تصمیمات آموزش مقطعی در هر دوره، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$subject\ to \quad A[\sum_{g=۱}^{G}\sum_{\alpha : i \in \alpha \in S} \gamma_{gi} Y^t_{\alpha g i}] + Z^t_i = \omega^t_i \qquad \forall i \in \{۱, ۲, ..., M\} \quad \forall t \in T \quad (۱-۴)$$

محدودیت (۱-۴) تضمین می‌کند که کل ساعت کاری مفید به علاوه تعداد ساعت‌های i مهارت رفع نشده با تعداد ساعات تقاضای مورد نیاز برای هر مهارت برابر است.

[۸] Bookkeeping variable

$$\sum_{\beta:\alpha i\in\beta} X^t_{\alpha\beta\gamma} + W^t_{\alpha g} \le \xi^{t-1}_{\alpha g} \qquad \forall\alpha\beta\in S \qquad \forall g\in G \qquad \forall t\in T \qquad (۲-۴)$$

محدودیت (۲-۴) تعداد کارکنان سطحgکه از مجموعه مهارت آلفا به مجموعه مهارت بتا در دوره tآموزش دیده‌اند و تعداد کارکنان سطح g با مجموعه مهارت آلفا که در دوره‌ی t اخراج شده‌اند را به تعداد کارکنان سطح gبا مجموعه مهارت آلفا در پایان دوره $t-1$ اخراج شده‌اند، محدود می‌کند.

$$\zeta^{t-1}_{\alpha g} + \lambda_{\alpha g} U^t_{\alpha g} + \sum_{v:v\subset\alpha} \delta_{v\alpha g} X^t_{v\alpha g} - \sum_{\beta:\alpha\subset\beta} X^t_{\alpha\beta g} - W^t_{\alpha g} \ge \sum_{i\in\alpha} Y^t_{\alpha g i} \quad \forall\alpha\beta\in S\,\forall g\in G\forall t\in T$$

(۳-۴)

محدودیت (۳-۴) تضمین می‌کند که هیچ تخصیصی برای کارکنان سطح g با مجموعه مهارت آلفا که به مهارت در دوره تخصیص داده شده‌اند بیشتر از کارکنان مفید سطحg با مهارت آلفا وجود ندارد.

$$\zeta^t_{\alpha g} = \zeta^{t-1}_{\alpha g} + U^t_{\alpha g} + \sum_{v:v\subset\alpha} X^t_{v\alpha g} - \sum_{\beta:\alpha\subset\beta} X^t_{\alpha\beta g} - W^t_{\alpha g} \quad \forall\alpha\beta\in S \quad \forall g\in G \quad \forall t\in T$$

(۴-۴)

محدودیت (۴-۴) مجموعه معادلات توازن کارکنان است. این مجموعه تعداد کارکنان با مهارت آلفا را در دورهtبه‌روزرسانی می‌کند.

$$U^t_{\alpha g}, X^t_{\alpha\beta g}, W^t_{\alpha g} \ge 0, \qquad integer, \qquad \zeta^t_{\alpha g}, Z^t_i, Y^t_{\alpha g i} \ge 0 \qquad (۵-۴)$$

نهایتا مجموعه شرط (۵-۴) محدودیت‌های عددصحیح و غیر صحیح را در رابطه با متغیرهای تصمیم گیری ارائه می‌کند.

۴-۴-۱ اکتشافی پیشنهادی

دو اکتشافی پیشنهادی، اکتشافی‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی (LP) هستند. این اکتشافی‌ها، جواب کسری LP را با افزایش (کاهش) متغیرهای تصمیم‌گیری استخدام و آموزش مقطعی (اخراج) به مقدار عدد صحیح بالاتر (پایین‌تر) بعدی که باعث استخدام مازاد می‌شود یا با کاهش (افزایش) آنها به مقدار عدد صحیح پایین‌تر (بالاتر) که باعث از دست رفتن تولید می‌شود، به یک راه حل ساده تبدیل می‌کند. همچنین این رویکرد سعی دارد که تعداد مازاد کارکنان حاصل از رندسازی بالا را به منظور پوشش تقاضای سطح کارکنان با رندسازی پایین را تحت آموزش مقطعی قراردهد. به علاوه از یک الگوریتم عمومی (GA) و یک رویکرد تقسیم فضای جواب که در اثر ویروجاناگود و همکاران ارائه شد، استفاده شد تا به منظور ارزیابی عملکرد اکتشافی‌های LPH1 و LPH2 ، جواب‌ها به دست‌آید.

۴-۵ اکتشافی LP۱ (LPH۱)

اکتشافی LPH1 [۹] با حل آزادسازی مساله LP آغاز می‌شود. سپس با شروع در دوره ۱، مقدار کسری متغیرهای تصمیم‌گیری، با نظمی نزولی، ذخیره و متغیری با بالاترین مقدار کسری، انتخاب می‌شود. بالاترین مقدار کسری، به منظور مینیمم‌کردن ساعات اضافه برای رندسازی بالا به یک مقدار عدد صحیح، انتخاب می‌شود. دو گزینه برای متغیر انتخابی وجود دارد، رندسازی بالا یا رندسازی پایین به یک مقدار صحیح که باعث استخدام یا استخدام مازاد یا از دست‌رفتن تولید می‌شود. استخدام، آموزش مقطعی و هزینه‌ی از دست رفتن تولید، برای رندسازی بالا یا پایین محاسبه می‌شود. گزینه‌ای که مینیمم هزینه را به دست می‌آورد، برای این متغیر انتخاب می‌شود. اگر از دست رفتن تولید انتخاب شود، متغیر رو به پایین رندسازی می‌شود و متغیر بعدی فهرست مقدار کسری، در نظر گرفته می‌شود. اگر اجاره انتخاب شد، آنگاه ساعات مازاد رندسازی بالا محاسبه می‌شود. سایر متغیرهایی که درنظر گرفته نمی‌شوند، موقتا رو به پایین به نزدیک‌ترین عدد صحیح رند می‌شوند که باعث از دست رفتن تولید می‌شوند. ساعات مورد نیاز برای هر مهارت محاسبه می‌شود. ساعات مازاد با مهارتی که مینیمم ساعات را نیاز دارد مقایسه می‌شود؛ اگر ساعات اضافه کافی وجود داشته باشد آنگاه کارکنان برای رفع ساعات مورد نیاز تحت آموزش مقطعی قرار می‌گیرند. هنگامی که تمام زمان مورد نیاز برای هر مهارت در دوره‌ی نخست، به دست آمد، این منطق، برای دوره‌ی ۲ تا T تکرار می‌شود. توجه داشته باشید که جواب پایان دوره t به عنوان تعداد کارکنان اولیه برای دوره t+1 به کار می‌رود و LP برای دوره‌های ۲ تا Tمجدد اجرا نمی‌شود. در زیر روند LPH1 خلاصه شده است.

[۹] ??????????????????????????

۴-۵-۱ اکتشافی LP1

مرحله ۱

گام ۰: فرض کنید $t = ۱$ گام ۱: آزادسازی LP را حل کنید.

گام ۲: فرض کنید L مجموعه مقدارهای متغیر برای یک جواب از آزادسازی LP باشد پس $L = \{U^t_{\alpha g}, X^t_{\alpha\beta g}, W^t_{\alpha g}\}$ مقدار کسری متغیرها را با نظم نزولی مرتب کنید.

گام ۳: $U^t_{\alpha g}$، $X^t_{\alpha\beta g}$ یا $W^t_{\alpha g}$ را با بالاترین مقدار کسری انتخاب کنید و مقدار آنها را در $U^{t*}_{\alpha g}$، $X^{t*}_{\alpha\beta g}$ یا $W^{t*}_{\alpha g}$ قرار دهید و $U^{t*}_{\alpha g}$، $X^{t*}_{\alpha\beta g}$ یا $W^{t*}_{\alpha g}$ را از L حذف کنید. گام ۴: $U^{t*}_{\alpha g}$، $X^{t*}_{\alpha\beta g}$ یا $W^{t*}_{\alpha g}$ را رو به بالا رند کنید. هزینه نیروی کار $wc^{t*}_{\alpha g}$ ، را برای استخدام، آموزش مقطعی یا اخراج محاسبه کنید (یعنی هزینه استخدام کارگر عبارت است از : $wc^{t*}_{\alpha g} = h^{t*}_{\alpha g} U^{t*}_{\alpha g}$) گام ۵: $U^{t*}_{\alpha g}$، $X^{t*}_{\alpha\beta g}$ یا $W^{t*}_{\alpha g}$ را رو به پایین رند کنید. هزینه تولید از دست رفته را محاسبه کنید: $mc^{t*}_i = p^{t*}_i z^{t*}_i$

گام ۶: رند بالا یا پایین را برای مینیمم $\{wc^{t*}_{\alpha g}, mc^{t*}_i\}$ محاسبه کنید. اگر رو به بالا رند کردید آنگاه، ساعات مازاد را از رندسازی رو به بالای متغیر محاسبه کنید: $he^{t*}_i = ha^{t*}_i - w^{t*}_i$ (که ha^{t*}_i ، ساعت نیروی کار بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$ha^{t*}_i = A[\sum_{g=۱}^{G} \sum_{\alpha: i\in\alpha\in S} \gamma_{gi} Y^{t*}_{\alpha g i}] \qquad (۴-۶)$$

به گام ۷ بروید.

اگر رند پایین انجام دادید آنگاه به گام ۳ بروید.

گام ۷: تمام متغیرها را در L ، $U^t_{\alpha g}$، $X^t_{\alpha\beta g}$ و $W^t_{\alpha g}$ رو به پایین رند کنید . ساعات باقیمانده‌ی مورد نیاز برای تمام مهارت‌ها را محاسبه کنید و $hr^t_i = w^t_i - ha^t_i$ و hr^t_i را با نظمی نزولی مرتب کنید.

گام ۸: بررسی کنید که آیا آموزش مقطعی، با شروع از مهارتی که مینیمم نیاز را دارد، امکان‌پذیر است یا نه. یعنی اگر $he^{t*}_i - hr^t_i > ۰$ آنگاه کارکنان را تحت آموزش مقطعی قرار داده و متغیرها را بروز رسانی کنید و به گام ۹ بروید.

گام ۹: اگر تقاضا برای تمام مهارت‌ها رفع شده باشد $hr^t_i = ۰$ ، برای تمام مهارت‌های i ، آنگاه به گام ۱۱ بروید.

گام ۱۰: اگر $L = \varnothing$ ، و تقاضا برای هر مهارت رفع نشده باشد، $hr^t_i \neq ۰$ آنگاه برای تمام مهارت‌های $i, .., M$ که $hr^t_i > ۰$

- با انتخاب کارگری که مینیمم نسبت بازدهی به هزینه را دارد، کارکنانی را استخدام کنید و هزینه کارکنان را

محاسبه کنید:

$$wc_{\alpha g}^{t*} = h_{\alpha g}^{t*} U_{\alpha g}^{t*}$$

- تولید از دست رفته را مجاز کنید. هزینه تولید از دست رفته را محاسبه کنید: $mc_i^{t*} = p_i^{t*} z_i^{t*}$
- مینیمم $\{wc_{\alpha g}^{t*}, mc_i^{t*}\}$ را انتخاب کنید و به گام ۱۱ بروید. در غیر این صورت به گام ۳ بروید.

مرحله ۲.

گام ۱۱: فرض کنید $t = t + ۱$

گام۱۲: ساعات مازاد $he_i^t = ha_i^t - w_i^t$ و ساعات مورد نیاز برای تمام مهارت‌ها $hr_i^t = w_i^t - ha_i^t$ را محاسبه کنید. he_i^t و hr_i^t را به صورت نزولی مرتب کنید.

مجموعه E مهارت‌هایی با he_i^t مثبت فرض کنید.

گام ۱۳: بررسی کنید که آیا با شروع از مهارتی که مینیمم نیاز را دارد آموزش مقطعی امکان پذیر است. اگر $he_i^{t*} - hr_i^{t*} > ۰$ آنگاه به کارکنان آموزش مقطعی ارائه کنید و متغیرها را به‌روزرسانی کنید و به گام ۱۴ بروید.

گام ۱۴: اگر تقاضا برای تمام مهارت‌ها رفع شده باشد $hr_i^t = ۰$ آنگاه به گام ۱۶ بروید.

گام ۱۵: اگر $E = \varnothing$ و تقاضا برای هیچ مهارتی رفع نشده باشد و $hr_i^t \neq ۰$ آنگاه برای تمام مهارت‌های $i, ..., M$ که $hr_i^t > ۰$

- کارکنان را $U_{\alpha g}$ با انتخاب کسی که مینیمم نسبت بازدهی به هزینه را داشته باشد، استخدام کنید و هزینه نیروی کار را محاسبه کنید: $wc_{\alpha g}^{t*} = h_{\alpha g}^{t*} U_{\alpha g}^{t*}$
- تولید از دست رفته را مجاز سازید. هزینه تولید از دست رفته را محاسبه کنید: $mc_i^{t*} = p_i^{t*} z_i^{t*}$
- مینیمم $\{wc_{\alpha g}^{t*}, mc_{\alpha g}^{t*}\}$ را انتخاب کنید و به گام ۱۶ بروید. در غیر این صورت به گام ۱۳ بروید.

گام۱۶: فرض کنید $t = t + ۱$ اگر $t < T$ آنگاه به گام ۱۲ بروید. در غیر این صورت توقف کنید.

در LPH1 ، اکتشافی‌ها، با درنظر گرفتن یک دوره از یک زمان، برای نتایج حل می‌شود. در بخش بعد، اکتشافی ارتقا یافته ارائه می‌شود که سایر دوره‌ها را برای حل نتایج در نظر می‌گیرد.

۲-۵-۴ اکتشافی ۲ (LPH۲)

روند LPH1 مشابه LPH1 است. اختلاف اصلی بین دو اکتشافی در این است که در LPH1 ، آزادسازی LP ، تنها یک بار در دوره‌ی نخست حل می‌شود (تمام دوره‌ها را لحاظ می‌کند اما تنها از نتایج دوره نخست استفاده

می‌کند) در حالی که در LPH1 ، آزادسازی LP در آغاز هر دوره حل می‌شود. این امر عموما، جواب را بهبود می‌بخشد زیرا حل LP در شروع هر دوره، دوره‌های باقیمانده را نیز لحاظ می‌کند. در هر دوره، پس از دوره‌ی نخست، پروفایل نیروی کار، از دوره‌ی قبل، به عنوان تعداد اولیه‌ی کارکنان برای LP به کار می‌رود. روند LPH2 به صورت زیر است:

اکتشافی۲ (LPH2) گام ۰: فرض کنید $t = ۱$ گام ۱: آزادسازی LP را حل کنید.

گام ۲: فرض کنید L مجموعه مقدارهای متغیر برای یک جواب از آزادسازی LP باشد و $L = \{U^t_{\alpha g}, X^t_{\alpha\beta g}, W^t_{\alpha g}\}$ مقدار کسری متغیرها را با نظم نزولی مرتب کنید.

گام ۳: $U^t_{\alpha g}$، $X^t_{\alpha\beta g}$ یا $W^t_{\alpha g}$ را با بالاترین مقدار کسری انتخاب کنید و مقدار آنها را در $U^{t*}_{\alpha g}$، $X^{t*}_{\alpha\beta g}$ یا $W^{t*}_{\alpha g}$ قرار دهید و $U^{t*}_{\alpha g}$، $X^{t*}_{\alpha\beta g}$ یا $W^{t*}_{\alpha g}$ را از L حذف کنید. گام ۴: $U^{t*}_{\alpha g}$، $X^{t*}_{\alpha\beta g}$ یا $W^{t*}_{\alpha g}$ را رو به بالا رند کنید. هزینه نیروی کار $wc^{t*}_{\alpha g}$ ، را برای استخدام، آموزش مقطعی یا اخراج محاسبه کنید (یعنی هزینه استخدام کارگر عبارت است از : $wc^{t*}_{\alpha g} = h^{t*}_{\alpha g} U^{t*}_{\alpha g}$) گام ۵: $U^{t*}_{\alpha g}$، $X^{t*}_{\alpha\beta g}$ یا $W^{t*}_{\alpha g}$ را رو به پایین رند کنید. هزینه تولید از دست رفته را محاسبه کنید: $mc^{t*}_i = p^{t*}_i z^{t*}_i$

گام ۶: رند بالا یا پایین را برای مینیمم $\{wc^{t*}_{\alpha g}, mc^{t*}_i\}$ محاسبه کنید. اگر رو به بالا رند کردید آنگاه، ساعات مازاد را از رندسازی رو به بالای متغیر محاسبه کنید: $he^{t*}_i = ha^{t*}_i - w^{t*}_i$ به گام ۷ بروید.

اگر رندسازی رو به پایین انجام دادید به گام ۳ بروید.

گام ۷: تمام متغیرها را در L ، $U^t_{\alpha g}$، $X^t_{\alpha\beta g}$ و $W^t_{\alpha g}$ رو به پایین رند کنید . ساعات باقیمانده‌ی مورد نیاز برای تمام مهارت‌ها را محاسبه کنید و $hr^t_i = w^t_i - ha^t_i$ و hr^t_i را با نظمی نزولی مرتب کنید.

گام ۸: بررسی کنید که آیا آموزش مقطعی، با شروع از مهارتی که مینیمم نیاز را دارد، امکان‌پذیر است یا نه. یعنی اگر $he^{t*}_i - hr^t_i > ۰$ آنگاه کارکنان را تحت آموزش مقطعی قرار داده و متغیرها را بروز رسانی کنید و به گام ۹ بروید.

گام ۹: اگر تقاضا برای تمام مهارت‌ها رفع شده باشد $hr^t_i = ۰$ ، برای تمام مهارت‌های i ، آنگاه به گام ۱۱ بروید.

گام ۱۰: اگر $L = \varnothing$ ، و تقاضا برای هر مهارت رفع نشده باشد، $hr^t_i \neq ۰$ آنگاه برای تمام مهارت‌های $i, .., M$ که $hr^t_i > ۰$

- با انتخاب کارگری که مینیمم نسبت بازدهی به هزینه را دارد، کارکنانی را استخدام کنید و هزینه کارکنان را محاسبه کنید:

$$wc^{t*}_{\alpha g} = h^{t*}_{\alpha g} U^{t*}_{\alpha g}$$

- تولید از دست رفته را مجاز کنید. هزینه تولید از دست رفته را محاسبه کنید: $mc_i^{t*} = p_i^{t*} z_i^{t*}$
- مینیمم $\{wc_{\alpha g}^{t*}, mc_i^{t*}\}$ را انتخاب کنید و به گام ۱۱ بروید. در غیر این صورت به گام ۳ بروید.

مرحله ۲.

گام ۱۱: فرض کنید $t = t + 1$ اگر $t < T$ آنگاه به گام ۱ بروید. در غیر این صورت توقف کنید.

به منظور ارزیابی عملکرد این دو اکتشافی پیشنهادی مبتنی بر LP ، یک GA برای حل مسئله اجرا شد. پارامترهای GA و گام‌های آن در بخش بعد مورد بحث قرار می‌گیرند.

۶-۴ الگوریتم عمومی GA

یک الگوریتم عمومی GA ، یک روش متااکتشافی است که برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی به کار می‌رود و نشان داده شده که جواب‌های بهینه یا نزدیک به بهینه را ارائه می‌کند. در اینجا GA به عنوان روش دیگری برای حل مسائل برنامه ریزی نیروی کار به منظور ارزیابی عملکرد اکتشافی های LPH1 و LPH2 اجرا شد زیرا امکان دستیابی به جوابی دقیق در برخی نمونه‌های آزمایشی بزرگ که در اینجا مورد استفاده قرار گرفته، وجود ندارد. گام‌های اساسی GA در شکل ۴-۱ نشان داده شده و ترکیبات GA به تفصیل در زیر توصیف شده است:

Step 0. Generate initial population of *N* chromosomes
Step 1. Check feasibility and repair the chromosomes that are infeasible
Step 2. Evaluate the fitness of each chromosome in the population
Step 3. Create new population by the following steps until the new population is complete
  3.1. Selection: Select two parent chromosomes according to their fitness
  3.2. Crossover: Crossover the parents to produce new offspring. If no crossover was performed, then the offspring are copies of the parents.
  3.3. Mutation: A gene is randomly selected and a new offspring is produced.
  3.4. Elitism: Select the best chromosome to be a member of the next generation
  3.5. Insert new offspring in a new population
Step 4. Check the stopping condition
  If the stopping condition is satisfied, then
    Stop and return best solution in current population
  Else
    Go to step 1

شکل ۴-۱: گامهای الگوریتم ژنتیکGA

- کدگذاری کروموزوم [۱۰] : کروموزوم، متغیرهای تصمیم گیری $U_{\alpha g}^t X_{\alpha \beta g}^t W_{\alpha g}^t$ را ارائه می کند و به صورت برداری از اعداد صحیح مثبت بیان می‌شود. مقدار هر ژن در کروموزوم، تعداد کارکنان سطح g ، تحت

[۱۰] Chromosome encoding

آموزش مقطعی یا اخراج شده در دوره tرا نشان می‌دهد. متغیرهای استخدام و اخراج با مجموعه مهارت های کارکنان، آلفا، سطح gاز GCA ، و دوره t مرتب می‌شوند. متغیرهای آموزش مقطعی در مجموعه مهارت‌های کارکنان پیش از آموزش مقطعی، آلفا، مجموعه مهارت پس از آموزش مقطعی (احتمالی)، بتا، که $\alpha \subset \beta$ ، سطح GCA g، و دوره t مرتب می‌شوند. طول کروموزوم به تعداد مهارت‌ها، سطوح GCA سطح g و دوره‌ها بستگی دارد. به عنوان مثال، طرح کدگذاری سه مهارت، سطح GCA ۲، و مسئله‌ی یک دوره‌ای عبارت است از:

$$U^{۱}_{\{۱\}۱}, U^{۱}_{\{۲\}۱}, U^{۱}_{\{۳\}۱}, U^{۱}_{\{۱,۲\}۱}, U^{۱}_{\{۱,۳\}۱}, U^{۱}_{\{۲,۳\}۱}, U^{۱}_{\{۱,۲,۳\}۱}, U^{۱}_{\{۱\}۲}, U^{۱}_{\{۲\}۲}, U^{۱}_{\{۳\}۲}, U^{۱}_{\{۱,۲\}۲},$$

$$U^{۱}_{\{۱,۳\}۲}, U^{۱}_{\{۲,۳\}۲}, U^{۱}_{\{۱,۲,۳\}۲}, X^{۱}_{\{۱\}\{۱,۲\}۱}, X^{۱}_{\{۱\}\{۱,۳\}۱}, X^{۱}_{\{۱\}\{۱,۲,۳\}۱}, X^{۱}_{\{۲\}\{۱,۲\}۱}, X^{۱}_{\{۲\}\{۲,۳\}۱},$$

$$X^{۱}_{\{۲\}\{۱,۲,۳\}۱}, X^{۱}_{\{۳\}\{۱,۳\}۱}, X^{۱}_{\{۳\}\{۲,۳\}۱}, X^{۱}_{\{۳\}\{۱,۲,۳\}۱}, X^{۱}_{\{۱,۲\}\{۱,۲,۳\}۱}, X^{۱}_{\{۱,۳\}\{۱,۲,۳\}۱}, X^{۱}_{\{۲,۳\}\{۱,۲,۳\}۱}$$

$$, X^{۱}_{\{۱\}\{۱,۲\}۲}, X^{۱}_{\{۱\}\{۱,۳\}۲}, X^{۱}_{\{۱\}\{۱,۲,۳\}۲}, X^{۱}_{\{۲\}\{۱,۲\}۲}, X^{۱}_{\{۲\}\{۲,۳\}۲}, X^{۱}_{\{۲\}\{۱,۲,۳\}۲}, X^{۱}_{\{۳\}\{۱,۳\}۲}, X^{۱}_{\{۳\}\{۲,۳\}۲}$$

$$, X^{۱}_{\{۳\}\{۱,۲,۳\}۲}, X^{۱}_{\{۱,۳\}\{۱,۲,۳\}۲}, X^{۱}_{\{۲,۳\}\{۱,۲,۳\}۲}, W^{۱}_{\{۱\}۱}, W^{۱}_{\{۲\}۱}, W^{۱}_{\{۳\}۱}, W^{۱}_{\{۱,۲\}۱}, W^{۱}_{\{۱,۳\}۱}, W^{۱}_{\{۲,۳\}۱},$$

$$W^{۱}_{\{۱,۲,۳\}۱}, W^{۱}_{\{۱\}۲}, W^{۱}_{\{۳\}۲}, W^{۱}_{\{۱,۲\}۲}, W^{۱}_{\{۱,۳\}۲}, W^{۱}_{\{۲,۳\}۲}, W^{۱}_{\{۱,۲,۳\}۲}$$

- شروع [۱۱] : گروه اولیه شامل جوابهای LPH1 و LPH2 ، رویکرد تقسیم فضای جواب و کروموزم‌های تولیدی تصادفی است.
- ارزیابی تناسب [۱۲] : تناسب یک جواب با محاسبه مقدار تابع هدف آن بدست می‌آید.
- نماینده‌های انتخابی [۱۳] : والدها بر اساس تناسب شان انتخاب می‌شوند. روش مورد استفاده برای انتخاب والدها انتخاب چرخ گردان است. کروموزوم‌های این جمعیت، با چرخ گردان بر اساس تناسب نرمال‌شده شان قرار می‌گیرند. کروموزم‌هایی که تناسب بیشتری دارند، شانس بهتری برای انتخاب شدن دارند زیرا فضای بیشتری را در چرخ گردان اشغال می‌کنند. یک عدد تصادفی تولید شده و یک کروموزم برداشته می‌شود. از آنجا که این مسئله، یک مسئله‌ی مینیمم‌سازی است، تناسب به گونه‌ای تبدیل می‌شود که هزینه کل کوچکتر، تناسب بیشتری داشته باشد. بنابراین تناسب f_j از کروموزم jبرابر با نسبت ۱ به هزینه‌ی کل j برابر است که هزینه‌ی کل jاز ۱ است.

[۱۱] Initialization
[۱۲] Fitness evaluation
[۱۳] Selecting candidate

- تکثیر [۱۴] : در آزمایشات، یک جواب فرزند، با اعمال نخستین نقطه متقاطع بر والدهای انتخابی، تولید شد. دو کروموزوم والد، به طور تصادفی بر اساس تناسبشان انتخاب شده و نقطه تقاطع، به طور تصادفی انتخاب شد. جهش پس از تقاطع بر فرزند جدید اعمال شد. با کم کردن یک کارگر از مقدار رایج ژن انتخابی، این کار انجام می‌شود. نخبه گرایی نیز در تکثیر به کار می‌رود، بهترین کروموزوم همواره به نسل بعد منتقل می‌شود.

- ممکن بودن [۱۵] : تقاطع و یا جهش، ممکن است جواب‌های غیرممکنی ایجاد کند. در مدل حاضر، غیرممکن بودن، به علت عناصر موجود در مجموعه محدودیت (۴-۲) است. برای ممکن شدن ، فرزند از طریق تفریق اختلاف بین تعداد کارکنان تحت آموزش مقطعی از هر مجموعه مهارت آلفا به مجموعه مهارت بتا در دوره‌ی tبرای کروموزوم j و تعداد اولیه‌ی کارکنان دارای مهارت آلفا در شروع دوره tبرای هر متغیر غیر ممکن، جبران می‌شود.

- معیار توقف [۱۶] : الگوریتم پس از تعداد ثابتی ارزیابی تابع/ کارکرد، به پایان می‌رسد که با تعداد دفعات تولید اندازه ی جمعیت یا زمانی است که بهترین جواب در این جمعیت، در ۵۰ نسل آخر، کاهش نیابد.

۴-۶-۱ تنظیمات پارامتری برای GA

مقدار پارامترهای GA بر اساس آزمایشات اولیه انتخاب شد. سه پارامتر، احتمال متقاطع بودن، احتمال جهش و اندازه‌ی گروه، مورد بررسی قرار گرفت. یک طرح $۲^۳$ فاکتوریل به منظور تعیین بهترین مقدار پارامترها انتخاب شد. تعداد کل ارزیابی‌های تابع، ۲۵۰۰۰ بود. بازه‌ی مقدار هر پارامتر براساس تمرین‌های رایج در مقالات GA انتخاب شد. مقدار هر پارامتر و نتایج مدل ۴ مهارتی در جدول ۴-۱ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که ستون هزینه کل، از متوسط هزینه‌ی کل (مقدار تابع هدف) ۱۰ اجرا با تعداد اولاد متفاوت است.

جدول ۴-۱: تنظیمات پارامترهای GA و نتایج مثال یک

Crossover probability	Mutation probability	Population size	Total cost ($)
0.6	0.1	50	799,307
0.6	0.1	100	774,261
0.6	0.2	50	748,648
0.6	0.2	100	779,470
0.8	0.1	50	727,773
0.8	0.1	100	731,727
0.8	0.2	50	753,013
0.8	0.2	100	728,761

بر اساس آزمایشات، احتمال متقاطع بودن . ، نرخ جهش . و اندازه جمعیت ۵۰ کروموزوم (۵۰۰ نسل)

[۱۴] Reproduction
[۱۵] Feasibility
[۱۶] Stopping criteria

بهترین جواب را ارائه می‌کند. بنابراین، این مقادیر به عنوان تنظیمات پارامتر GA برای آزمایشات را در دو بخش بعد به کار می‌روند.

۴-۷ رویکرد تفسیم فضای جواب SSP

در این بخش به اختصار، رویکرد تقسیم فضای جواب (SSP) [۱۷] تشریح می‌شود که در اثر ویروجاناگود و همکاران با عنوان رویکرد تجزیه/ تفکیک مطرح شد. SSP اندازه مسئله را با استفاده از این واقعیت کاهش می‌دهد که کارکنان تحت آموزش مقطعی در زیر گروه ماشین آلات، احتمالا به اندازه‌ی کارکنان تمام ماشین آلات در کارخانه موثرند. گروه‌های ماشین آلات می‌تواند از طریق شباهت کار، جریان فرآیند/ استدلالی، برنامه ماشین آلات فیزیکی یا مرزهای سازمانی دسته‌بندی شود. مراحل SSP به صورت زیر است:

۱. تقسیم مهارت‌های به زیرگروه‌ها

۲. مجوز آموزش مقطعی تنها در زیرگروه‌ها

۳. یافتن راه حل بهینه در هر زیرگروه

۴. ترکیب راه حل بهینه هر زیرگروه برای دستیابی به راه حل کل مسئله

در بخش بعد، به منظور ارزیابی عملکرد اکتشافی‌ها، اکتشافی‌های ارائه شده در مطالعات موردی اعمال می‌شود.

۴-۸ نتایج آزمایشات

اکتشافی‌های مطرحی شده در بخش‌های قبل با استفاده از دو مجموعه آزمایشات، آزمون شد. آزمایش نخست اکتشافی را به منظور مقایسه نتایج اکتشافی با نتایج رویکرد تقسیم فضای جواب پیشنهادی ویروجاناگود و همکاران در یک مطالعه‌ی موردی در تولید نیمه رسانا اعمال می‌کند. مجموعه آزمایشات دوم عملکرد اکتشافی‌ها را با نمونه‌های مسئله‌ی تولید تصادفی مورد بررسی قرار می‌دهد. دو مدل در این آزمایش بررسی شد: مدل سه دوره‌ای سه سطح GCA چهار مهارتی، و مدل ۶ دوره‌ای سه سطح GCA ۲۵ مهارتی.

[۱۷] ??????????????????

۹-۴ بیان مثالی از تولید نیمه رسانا

اکتشافی‌های پیشنهادی، LPH1 و LPH2 در داده‌های مثال ویروجاناگود و همکاران اعمال شد. مجموعه داده‌ها متشکل از دو جریان تولید با ۲۵ گروه ماشین آلات و مهارهای متفاوت بود. ۲۵ مهارت بر اساس مکان (یعنی ناحیه) در کارخانه و مرزهای سازمانی به گروه‌ها تقسیم شد. یک مدل سه دوره‌ای سه سطح GCA (یعنی G=۳) دراین مثال فرض شد. سطوح ۱، ۲ و ۳ GCA بالاترین سطح، سطح متوسط و پایین‌ترین سطح را نشان می‌دهند.

جواب آزادسازی LP برای این مدل، به صورت یک مبنای قیاس ارائه شد. به علاوه جواب حاصل از

۱. رندسازی بالای تمام متغیرها LPRU

۲. رندسازی پایین تمام متغیرها LPRD

۳. رندسازی هر متغیر به نزدیک ترین عدد صحیح LPRC

از جواب آزادسازی LP ارائه شد. رندسازی جواب آزادسازی LP ، یک اکتشافی ساده را برای دستیابی به جواب عدد صحیح ارائه می‌کند. این اکتشافی ساده بر اساس رندسازی تثبیت LP و GA با SSP و LPH1 و LPH2 مقایسه شد. هزینه کل (هزینه نیروی کار و هزینه تولید از دست رفته) و زمان محاسباتی برای تمام روش‌ها در جدول ۴-۲ نشان داده شده‌است. نتایج مربوط به LPRU به علت نقض مجموعه محدودیت (۴-۲) که

Methodology	Workforce cost ($)	Missed production cost ($)	Total cost ($)	%	Time (seconds)
LP relaxation (LP)	658,138	0	658,138	–	1512.9
LP relaxation-round up (LPRU)	–	–	Infeasible	–	1801.5
LP relaxation-round up* (LPRU*)	749,841	2562	752,403	14.32	1846.2
LP relaxation-round down (LPRD)	549,775	1,874,140	2,423,915	268.30	1806.5
LP relaxation-round to closest integer (LPRC)	677,462	383,095	1,060,557	61.15	1794.0
LPH1	690,355	0	690,355	4.90	5632.4
LPH2	690,355	0	690,355	4.90	6001.1
Solution space partition (SSP) approach	685,644	0	685,644	4.18	37,472.6
SSP using LPH1	689,280	715	689,995	4.84	3.7
SSP using LPH2	689,280	715	689,995	4.84	3.8
Genetic Algorithm (GA)	684,967	0	684,967	4.08	39,461.4

شکل ۴-۲: زمانGA

تعداد کارکنان تحت آموزش مقطعی از مجموعه مهارت آلفا نباید از تعداد کارکنان مجموعه مهارت آلفا در شروع دوره$t-1$بیشتر باشد، امکان‌پذیر نیست. رندسازی رو به بالا، استخدام مازاد ایجاد می‌کند بنابراین هیچ‌گونه تولید از دست رفته‌ای نباید رخ دهد. *LPRU ، موردی است که در آن غیر ممکن بودن رندسازی رو به بالا، جبران می‌شود. در این مورد تولید از دست رفته، می‌تواند رخ دهد زیرا از متغیری استفاده می‌شود که برای اجتناب از امکان‌ناپذیری، تعدیل شده است. جواب *LPRU ۱۴.۳۲ درصد بالاتر از نتایج آزادسازی LP است. در مورد

LPRD ، نتایج ۲۶۸.۳۰ درصد اختلاف با جواب آزادسازی LP را نشان می‌دهد: این اختلاف اساسا به علت هزینه تولید از دست رفته است. در آخرین اکتشافی آزادسازی LP ساده، LPRC ، نتیجه ۶۱.۵۱ درصد با جواب آزادسازی LP تفاوت دارد. در این مورد، هزینه‌های قابل ملاحظه‌ای هم از استخدام مازاد و هم از تولید از دست رفته وجود دارد.

هزینه کل برای LPH1 و LPH2 ۴.۹۰ درصد بالاتر از جواب آزادسازی LP است که کران پایین را نشان می‌دهد. هزینه کل برای رویکرد SSP ۴.۱۸ درصد بالاتر از جواب آزادساری LP است. به علاوه می‌توان دید که عملکرد LPH1 و LPH2 و رویکرد SSP دقیقا یک بیت بهتر از جواب‌های اکتشافی رندسازی ساده‌ی آزادسازی LP هستند. اگرچه جواب‌های حاصل از رویکردهای

LPH1 ، ،LPH2 و SSP ، مشابهند، زمان محاسباتی برای LPH1 و LPH2 به شکل معناداری از زمان رویکرد SSP کمتر است. زیرا در رویکرد SSP هر زیرگروه به صورت بهینه حل می‌شود. اختلاف بین رویکرد SSP و جواب‌های LPH1 و LPH2 در این است که در LPH1 و LPH2 ، کارکنان می‌توانند برای هر یک از ۲۵ مهارت تحت آموزش مقطعی قرار گیرند در حالی که در رویکرد SSP کارکنان می‌توانند تنها در زیر گروه تحت آموزش مقطعی قرار گیرند. در هر حال رویکرد SSP جواب بهینه IP را در زیرگروه‌ها فراهم می‌کند. به علاوه همانطور که انتظار می‌رود، LPH2 زمان محاسباتی بالاتر از LPH1 دارد. زیرا در LPH2 ، LP برای هر دوره حل می‌شود در حالی که در LPH1 این LP تنها یک بار در دوره‌ی نخست حل می‌شود. توجه شود که در این مثال، LPH1 و LPH2 راه حل‌های مشابهی ارائه می‌کنند. این امر به طور کلی پیش‌بینی نشده بود.

رویکرد SSP نیز با استفاده از LPH1 و LPH2 برای حل مجموعه‌های تفکیکی کارکنان، حل شده است. جواب‌های هر دو اکتشافی، برابر بود اما باز هم LPH2 زمان محاسباتی نسبتا بیشتری گرفت. هزینه کل این رویکرد حدود ۴.۸۴ درصد بالاتر از جواب آزادسازی LP است. این جواب تنها اندکی بالاتر از رویکرد SSP است. در هر حال زمان محاسباتی به شکل معنادار، کمتر از رویکرد اصلی SSP است. GA بهترین نتیجه را به دست آورد که تقریبا ۴ درصد بالاتر از جواب آزادسازی LP بود اما طولانی‌ترین زمان محاسباتی را داشت. همچنین می‌توان دید که رویکرد SSP و GA نتایج و زمان محاسباتی مشابهی دارند.

نتایج نشان می‌دهد که استخدام و آموزش مقعطی کارکنان بین تمام سطوح GCA بر اساس ساختار تقاضا، بازدهی، و هزینه متفاوت است. به طور کلی، نتایج LP نشان می‌دهد که تمام کارکنان با یک مهارت استخدام شده وبرخی برای دو مهارت تحت آموزش مقعطی هستند. در مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح، در رویکرد SSP ، می‌توان دید که اگر ساعت کاری مورد نیاز بالا باشد، کارکنان متخصص اجاره می‌شوند. اگر ساعت کاری مورد نیاز پایین باشد، کارکنان تحت آموزش مقطعی استخدام می‌شوند. آموزش مقطعی کارکنان نیز در صورتی رخ می‌دهد که اختلاف زیادی در تقاضای دوره به دوره برای یک یا چند گروه ماشین آلات وجود داشته باشد. برای

LPH1 و LPH2 ، از آنجا که نتایج اولیه مبتنی بر آزادسازی LP بود، تمام کارکنان با یک مهارت استخدام شدند. آموزش مقطعی کارکنان در مهارت‌هایی پدیدار می‌شد که ساعات مورد نیاز پایین باشد. این کارکنان تحت آموزش مقعطی مهارت‌هایی هستند که استخدام مازاد ایجاد می‌کنند که از رندسازی رو به بالای جواب‌های کسری ایجاد می‌شود. توجه شود که اگر تنظیمات اولیه آزمایشات، تغییر داده شده باشد، نتایج متفاوت خواهد بود.

۴-۱۰ مجموعه داده های تولید تصادفی

در این بخش، LPH1 و LPH2 به دقت در دو مدل آزمون می‌شود: یک مدل سه دوره‌ای چهار مهارتی سطح سه GCA و یک مدل ۶ دوره‌ای، ۲۵ مهارتی سطح سه ی GCA ، که نمونه‌های مسئله (۲۰ در مدل چهار مهارتی و ۱۰ در مدل ۲۵ مهارتی) به طور تصادفی ایجاد شدند. سطح ۱، ۲ و ۳ GCA بالاترین سطح، سطح متوسط و پایین‌ترین سطح GCA را به ترتیب نشان می‌دهند.

۴-۱۰-۱ مدل چهار مهارتی

در مجموعه آزمایشات نخست، یک مدل سه دوره‌ای چهار مهارتی سطح سه GCA، مورد بررسی قرار گرفت. در این مثال مسئله این است که جواب بهینه برای MIP را می‌توان در زمانی منطقی به دست آورد یا نه. ۲۰ نمونه مسئله به طور تصادفی با تغییر دادن تعداد اولیه کارکنان، تقاضا، عامل‌های تولید و هزینه‌ها، ایجاد شد. بازه‌ی مقادیر پارامترها در جدول ۴-۳ نشان داده شده است.

Parameters	Values		
Number of skills	4		
Number of GCA levels	3		
Number of periods	3		
Hiring productivity	λ_{1g}	λ_{2g}	λ_{3g}
GCA level 1	$U[0.8, 0.95]$	$\lambda_{11} - (\lambda_{11} \times U[0.1, 0.4])$	$\lambda_{21} - (\lambda_{21} \times U[0.1, 0.4])$
GCA level 2	$\lambda_{11} - (\lambda_{11} \times U[0.1, 0.4])$	$\lambda_{21} - (\lambda_{21} \times U[0.1, 0.4])$	$\lambda_{31} - (\lambda_{31} \times U[0.1, 0.4])$
GCA level 3	$\lambda_{12} - (\lambda_{12} \times U[0.1, 0.4])$	$\lambda_{22} - (\lambda_{22} \times U[0.1, 0.4])$	$\lambda_{32} - (\lambda_{32} \times U[0.1, 0.4])$
Training productivity	$\delta_{[1],[2]g}$	$\delta_{[1],[3]g}$	$\delta_{[2],[3]g}$
GCA level 1	$U[0.85, 0.95]$	$\delta_{121} - (\delta_{121} \times U[0.1, 0.4])$	$U[0.9, 0.95]$
GCA level 2	$\delta_{121} - (\delta_{121} \times U[0.1, 0.4])$	$\delta_{131} - (\delta_{131} \times U[0.1, 0.4])$	$\delta_{231} - (\delta_{231} \times U[0.1, 0.4])$
GCA level 3	$\delta_{122} - (\delta_{122} \times U[0.1, 0.4])$	$\delta_{132} - (\delta_{132} \times U[0.1, 0.4])$	$\delta_{232} - (\delta_{232} \times U[0.1, 0.4])$
Worker productivity	γ_{gi}		
GCA level 1	$U[0.8, 1]$		
GCA level 2	$\gamma_{1i} - (\gamma_{1i} \times U[0.1, 0.4])$		
GCA level 3	$\gamma_{2i} - (\gamma_{2i} \times U[0.1, 0.4])$		
Hiring costs	h_{1g}	h_{2g}	h_{3g}
GCA level 1	$U[2035, 3045]$	$h_{11} + (h_{11} \times U[0.1, 0.4])$	$h_{21} + (h_{21} \times U[0.1, 0.4])$
GCA level 2	$h_{11} - (h_{11} \times U[0.1, 0.4])$	$h_{21} - (h_{21} \times U[0.1, 0.4])$	$h_{31} - (h_{31} \times U[0.1, 0.4])$
GCA level 3	$h_{12} - (h_{12} \times U[0.1, 0.4])$	$h_{22} - (h_{22} \times U[0.1, 0.4])$	$h_{32} - (h_{32} \times U[0.1, 0.4])$
Cross-training costs	$c_{[1],[2]g}$	$c_{[1],[3]g}$	$c_{[2],[3]g}$
GCA level 1	$U[20, 30]$	$c_{121} + (c_{121} \times U[0.1, 0.4])$	$U[10, 20]$
GCA level 2	$c_{121} - (c_{121} \times U[0.1, 0.4])$	$c_{121} - (c_{121} \times U[0.1, 0.4])$	$c_{231} - (c_{231} \times U[0.1, 0.4])$
GCA level 3	$c_{122} - (c_{122} \times U[0.1, 0.4])$	$c_{122} - (c_{122} \times U[0.1, 0.4])$	$c_{232} - (c_{232} \times U[0.1, 0.4])$
Salary	s_{1g}	s_{2g}	s_{3g}
GCA level 1	$U[2000, 3000]$	$s_{11} + (s_{11} \times U[0.1, 0.4])$	$s_{21} + (s_{21} \times U[0.1, 0.4])$
GCA level 2	$s_{11} - (s_{11} \times U[0.1, 0.4])$	$s_{21} - (s_{21} \times U[0.1, 0.4])$	$s_{31} - (s_{31} \times U[0.1, 0.4])$
GCA level 3	$s_{12} - (s_{12} \times U[0.1, 0.4])$	$s_{22} - (s_{22} \times U[0.1, 0.4])$	$s_{32} - (s_{32} \times U[0.1, 0.4])$
Firing costs	f_{1g}	f_{2g}	f_{3g}
GCA level 1	$U[3000, 4000]$	$f_{11} + (f_{11} \times U[0.1, 0.4])$	$f_{21} + (f_{21} \times U[0.1, 0.4])$
GCA level 2	$f_{11} - (f_{11} \times U[0.1, 0.4])$	$f_{21} - (f_{21} \times U[0.1, 0.4])$	$f_{31} - (f_{31} \times U[0.1, 0.4])$
GCA level 3	$f_{12} - (f_{12} \times U[0.1, 0.4])$	$f_{22} - (f_{22} \times U[0.1, 0.4])$	$f_{32} - (f_{32} \times U[0.1, 0.4])$
Missed production costs	$U[50, 100]$		
Demand	$U[5,000, 20,000]$		

شکل ۴-۳: زمانGA

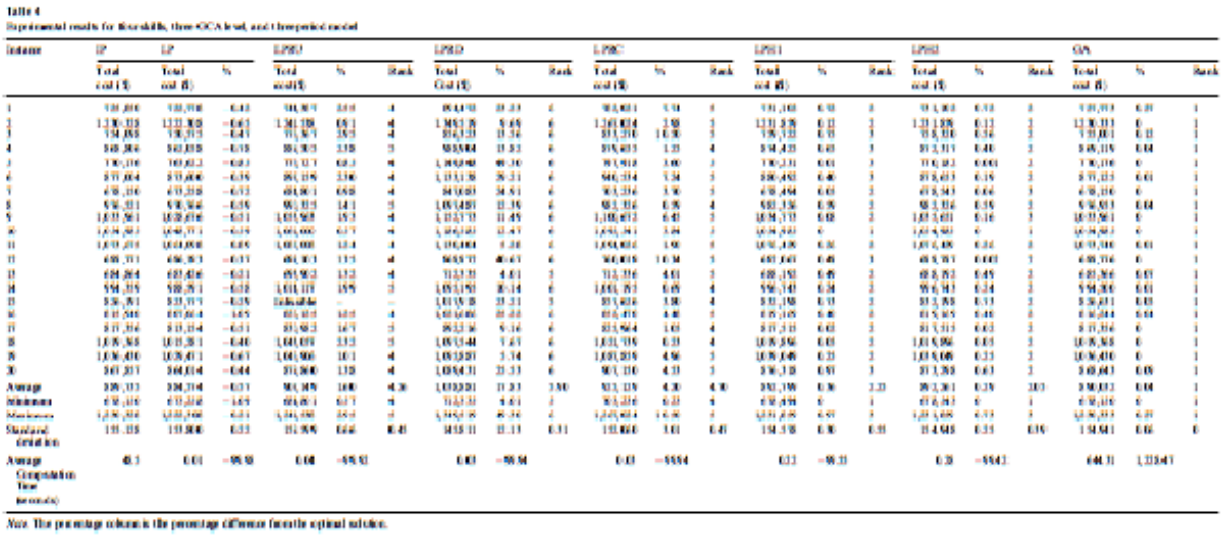
مفهوم $U[x, y]$ نشان می‌دهد که در یک نمونه مسئله‌ی فرضی، یک مقدار از توزیع یکسان پیوسته بین x و y ایجاد شده است. فرض شده هزینه‌های استخدام، آموزش مقطعی، حقوق و هزینه‌های اخراج، برای کارکنان سطوح بالاتر GCA ، بالاتر است. با افزایش زمان، هزینه‌های آموزش مقطعی با مقدار تصادفی توزیع شده با $U[۰/۱, ۰/۴]$ کاهش می‌یابد زیرا وقتی یکی از کارکنان در افق زمانی، دیرتر تحت آموزش مقطعی قرار می‌گیرد، مهارت‌های جدیدش در مقدار زمان کمتری مورد استفاده قرار میگیرد. هزینه‌ی استحدام، مجموع حقوق و هزینه آموزش برای یک مجموعه مهارت معین بود. هزینه‌های تولید از دست رفته، استخدام و حقوق، در تمام دوره‌ها یکسان فرض شد. در هر نمونه مثال، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح، آزادسازی LP ، LPH1 و LPH2 حل شد. نتایج اکتشافی‌های آزادسازی LP ساده عبارتند از:

۱. LPRU

۲. LPRD

۳. LPRC

هزینه‌ی بهینه و درصد تفاوت با بهینه در تمام روش‌ها در جدول ۴-۴ نشان داده شده‌است.



شکل ۴-۴: زمانGA

در مورد LPRU ، که به استخدام مازاد منجر می‌شود. اختلاف با بهینگی ۰.۵۷ تا ۲.۹۵ درصد با میانگین ۱.۶۰ درصد است. در این مورد، نتایج غیرممکن بودن، ممکن است به علت نقض محدودیت (۴-۲) ، تعداد کارکنان تحت آموزش مقطعی و تعداد کارکنان اخراج شده از مهارت آلفا از تعداد کارکنان مهارت آلفا در شروع دوره t-۱بیشتر نشود، رخ دهد. در LPRD ، نتایج اختلاف ۴.۰۱ تا ۴۹.۳۰ درصدی با میانگین ۱۷.۸۳ درصدی را با جواب بهینه نشان می‌دهد. علت این امر هزینه تولید از دست رفته است. اگر هزینه تولید از دست رفته یک واحد پایین‌تر باشد، درصد اختلاف ممکن است کاهش یابد. در LPRC، نتایج۰.۲۳ تا ۱۰.۵۰ درصد اختلاف با میانگین ۴.۲۰ درصدی را با جواب بهینه نشان میدهد. در این مورد هزینه‌ها مربوط به تولید از دست رفته و استخدام مازاد است. به علاوه احتمال نتایج غیرممکن نیز وجود دارد.

هزینه کل LPH1 و LPH2 به ترتیب ۰ تا ۰.۹۷ درصد با میانگین ۰.۳۶ و صفر تا ۰.۷۳ درصد با میانگین ۰.۲۹ درصد بالاتر از جواب بهینه است. LPH2 به علت حل آزادسازی LP در آغاز هر دوره بهتر از LPH1 اجرا می شود و زمان محاسبات تقریبا مشابه است. عملکرد LPH1 و LPH2 به طور قابل ملاحظه بهتر از رندسازی جواب‌های اکتشافی تثبیت ساده LP است. منطقی است زیرا اکتشافی‌ها از رندسازی آزادسازی LP به طور موثرتر

از رندسازی آزادسازی ساده LP استفاده می‌کنند. هزینه کل برای GA صفر تا ۰.۲۷ درصد با میانگین ۰.۰۴ درصد بالاتر از جواب بهینه است. عملکرد GA از LPH1 و LPH2 بهتر است. با این حال زمان محاسبات به شکل معناداری طولانی‌تر (تقریبا ۱۱ دقیقه در مقایسه با۰.۲۲ و ۰.۲۸ ثانیه) از زمان محاسبات اکتشافی‌هاست. از این آزمایش می‌توان دید که LPH1 و LPH2 ، جواب‌های نزدیک به بهینه ایجاد کرده و زمان محاسباتی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند به علاوه، GA ، بدون مقداردهی اولیه جمعیت با جواب‌های LPH1 و LPH2 و SSP اجرا شد. هزینه کل برای این آزمایشات، ۰ تا ۰.۳۷ درصد، با میانگین ۰.۱۱ درصد، بالاتر از جواب بهینه بود و زمان محاسباتی به طور متوسط، ۱۵ دقیقه بود. می‌توان دید که وقتی جمعیت شامل جواب‌های اولیه‌ی LPH1 ، LPH2 و SSP است، ،GA سریع‌تر، همگرا شد. زمان محاسباتی ۲۶.۶۷ درصد (۱۵ دقیقه در مقایسه با ۱۱ دقیقه) بهبود یافت و نتایج تقریبا ۰.۰۹ درصد بهبود داشت.

به منظور نمایش قدرت مقادیر پارامترها در جواب هر رویکرد، جواب‌های هر شش الگوریتم LPRU و LPRD و LPRC و LPH1 و LPH2 و GA بر اساس درصد اختلاف آنها با نتایج IP رتبه‌بندی شد. یعنی الگوریتمی که کمترین درصد اختلاف را با جواب IP داشت، در رتبه‌ی اول قرار می‌گرفت و مانند آن. رتبه‌بندی نشان می‌دهد که برای هر ۲۰ نمونه مسئله، GA بهترین عملکرد را داشته (رتبه اول) و LPRD بدترین عملکرد را. LPH1 و LPH2 به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم یا در دو نمونه مسئله در رتبه‌های یکسان قرار داشتند. می‌توان دید که عملکرد الگوریتم در بازه‌ی مقادیر پارامترهای آزمایش حاضر، قدرتمند است.

بر اساس مشاهدات، پارامتری که به طور قابل ملاحظه بر جواب اثرگذار بود، نوسان تقاضا بین دوره‌هاست. در LPH1 و LPH2 در نمونه مسائلی با درصد اختلاف پایین نسبت به بهینه، تغییرات تقاضا بین دوره‌ها پایین بود. وقتی تغییر تقاضابین دوره‌ها بالاست، درصد اختلاف با بهینه، برای این اکتشافی‌ها، روند نسبتا بالاتری دارد این مطلب در جواب اولیه LP به دست می‌آید. در تمام رویکرد به جز GA ، کیفیت جواب به نتایج اولیه LP بستگی دارد. اگر نتایج اولیه LP و IP نزدیک باشند، کیفیت جواب پس از LPH1 و LPH2 بهتر از زمانی است که شکاف نتایج زیاد است. مشاهده شد که وقتی تغییرات تقاضا بالاست، جواب اولیه LP ، کاملا با جواب IP متفاوت است که کیفیت جواب نسبتا پایین‌تری ایجاد می‌کند.

۴-۱۰-۲ مدل ۲۵ مهارتی

در این مدل، اکتشافی‌ها برای نمونه مسائل بزرگتر اعمال شد. مدل مورد بررسی، مطالعه موردی تولید نیمه رسانا در سطح سه GCA و ۲۵ مهارتی بود که در بخش قبل ارائه شد. در هر حال برای آزمون عملکرد دقیق اکتشافی‌ها، مسئله به ۶ دوره گسترش یافته و تقاضا برای هر ده نمونه مسئله‌ی مورد استفاده در آزمون تغییر کرد. هزینه‌ها و

عوامل تولید مشابه با چیزی است که در بخش قبل به کار رفته است. برای هر نمونه مسئله، آزادسازی LP ، LPH1 ، LPH2 و GA حل شد. نتایج اکتشافی آزادسازی ساده LP عبارتند از:

۱. LPRU

۲. LPRD

۳. LPRC

هزینه کل و درصد اختلاف با آزادسازی LP ، جوابی است که یک کران پایین ارائه می‌کند، برای تمام روش‌ها در جدول (۴-۵) نشان داده شده است. بر اساس آزمایشات، *LPRU جوابی را برای راه حل LP رند شده‌ی

Instance	LP	LPRU*		LPRD		LPRC		LPH1		LPH2		GA	
	Total cost ($)	Total cost ($)	%	Total cost ($)	%	Total cost ($)	%	Total cost ($)	%	Total cost ($)	%	Total cost ($)	%
1	9,219,895	10,624,736	15.24	10,758,070	16.68	9,649,873	4.66	9,409,486	2.06	9,396,919	1.92	9,331,531	1.21
2	4,486,119	4,791,780	6.81	12,143,313	170.69	5,920,756	31.98	4,572,483	1.93	4,570,195	1.87	4,528,865	0.95
3	6,918,697	7,546,580	9.08	11,449,675	65.49	7,678,021	10.97	7,239,339	4.63	7,211,644	4.23	7,121,085	2.93
4	4,342,797	5,808,273	33.75	5,721,118	31.74	5,038,942	16.03	4,415,664	1.68	4,409,102	1.53	4,395,992	1.22
5	6,157,700	7,521,400	22.15	7,381,563	19.88	6,836,036	11.02	6,216,232	0.95	6,212,844	0.90	6,195,462	0.61
6	3,129,843	3,483,744	11.31	9,750,818	211.54	4,378,968	39.91	3,241,844	3.58	3,227,239	3.11	3,206,980	2.46
7	4,419,779	4,598,775	4.05	13,396,800	203.11	4,962,638	12.28	4,511,050	2.07	4,497,620	1.76	4,471,242	1.16
8	5,638,475	6,228,333	10.46	9,161,700	62.49	6,933,494	22.97	5,749,957	1.98	5,740,968	1.82	5,704,768	1.18
9	5,537,585	6,211,293	12.17	10,222,860	84.61	6,552,800	18.33	5,739,262	3.64	5,710,353	3.12	5,658,931	2.19
10	2,483,187	2,687,526	8.23	7,460,383	200.44	4,398,643	77.14	2,503,198	0.81	2,498,662	0.62	2,496,194	0.52
Average	5,233,408	5,950,244	13.32	9,744,630	106.67	6,235,017	24.53	5,359,851	2.33	5,347,555	2.09	5,311,105	1.44
Minimum	2,483,187	2,687,526	4.05	5,721,118	16.68	4,378,968	4.66	2,503,198	0.81	2,498,662	0.62	2,496,194	0.52
Maximum	9,219,895	10,624,736	33.75	13,396,800	211.54	9,649,873	77.14	9,409,486	4.63	9,396,919	4.23	9,331,531	2.93
Average computation time (hours)	7.92	8.10	2.23	8.06	1.74	8.06	1.79	9.33	17.87	14.96	88.86	59.26	648.26

شکل ۴-۵: زمانGA

رو به بالا برای جبران غیرممکن بودن ارائه می‌کند. نتایج تقریبا ۴ تا ۳۳ درصد با میانگین ۱۳ درصد، بالاتر از جواب‌های آزادسازی LP هستند. نتایج برای LPRU تقریبا۱۶ تا ۲۱۱ درصد ، با میانگین ۱۰۷ درصد، بالاتر از جواب آزادسازی LP هستند. این درصد بالای اختلاف، ناشی از هزینه‌های تولید از دست رفته است. در مورد LPRC ، نتایج تقریبا ۴ تا ۷۷ درصد ، با میانگین ۲۵ درصد، بالاتر از جواب آزادسازی LP هستند. هزینه‌های LPRD مربوط به تولید از دست رفته و استخدام مازاد است. *LPRU بهترین عملکرد را در بین سه اکتشافی ساده دارد. توجه شود که نتایج در صورتی که تنظیمات اولیه تغییر کند احتمالا متفاوت خواهد بود.

هزینه کل برای LPH1 و LPH2 به طور متوسط به ترتیب ۲.۳۳ و ۲.۰۹درصد بالاتر از جواب آزادسازی LP است. از آنجا که جواب آزادسازی LP ، کران پایین‌تری را ارائه می‌کند، جواب‌های اکتشافی، به طور متوسط، بهینگی فرعی کمتر از حدود ۲.۵۰ درصد را ارائه می‌کنند. در آزمایشات بخش قبل زمان محاسباتی برای LPH1 و LPH2 تقریبا مشابه بود. با این حال، در این بخش زمان محاسباتی برای LPH2 به طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از LPH1 است. علت این است که برای LPH2 باید LP در شروع هر دوره حل شود و آزمایشات برای ۶ دوره بود

در حالی که در بخش قبل، آزمایشات برای سه دوره بود. از آنجا که درصد زیربهینگی/ بهینگی فرعی بین LPH1 و LPH2 چندان تفاوتی ندارد، در این آزمایش، LPH1 به علت زمان محاسباتی بر LPH2 قابل ترجیح است.

عملکرد LPH1 و LPH2 به طور مقابل ملاحظه‌ای بهتر از رندسازی راه حل‌های اکتشافی آزادسازی ساده LP است. زمان محاسبات برای LPH1 از زمان محاسبات اکتشافی تثبیت ساده LP در مقایسه با بهبود جواب، افزایش داشت. مثلا، به طور متوسط، جواب‌های LPH1 ۸۲.۵۱ درصد بهتر از *LPRU بودند در حالی که زمان محاسبات تنها ۱۵.۱۸درصد افزایش داشت. GA بهترین نتایج را ارائه می‌کند، تقریبا ۰.۵ تا ۳ درصد با میانگین ۱.۴ درصد بالاتر از جواب آزادسازی LP اما زمان محاسبات طولانی‌ترین زمان است.

نتایج نشان می‌دهد که استخدام و آموزش مقطعی کارکنان بین تمام سطوح GCA بر اساس ساختار تقاضا، تولید، و هزینه متفاوت است. نتایج LP نشان می‌دهد که تمام کارکنان با یک مهارت استخدام می‌شوند و برخی از آنها با دو مهارت تحت آموزش مقطعی قرار می‌گیرند. در LPH ، از آنجا که نتایج اولیه بر اساس آزادسازی LP است، تمام کارکنان با یک مهارت استخدام می‌شوند. آموزش مقطعی کارکنان در مهارت‌هایی رخ می‌دهد که ساعات کار مورد نیاز پایین است. این کارکنان از مهارتی که استخدام مازاد دارد که از رندسازی رو به بالای جواب‌های کسری ایجاد شده، تحت آموزش مقطعی قرار می‌گیرند. توجه شود که اگر تنظیمات اولیه برای آزمایشات تغییر کند، نتایج متفاوت خواهد بود.

۱۱-۴ نتیجه گیری

در این فصل، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح که شامل ملاحظه‌ی توانایی‌های ادراکی کارکنان است، توصیف شد. نتایج این مدل تصمیم‌گیری‌های مربوط به استخدام در رابطه با زمان، مکان و شخص استخدام شده، آموزش مقطعی یا اخراج و مقدار تولید از دست رفته را تعیین می‌کند. در اثر ویروجاناگود و همکاران، آزمایشات عدد با استفاده از داده‌های تولید واقعی نشان داد که با افزایش اندازه نمونه مسائل، جواب بهینه نمی‌تواند در زمان محاسبات منطقی به دست آید. یک رویکرد تقسیم فضای جواب که با عنوان رویکرد تفکیک مطرح می‌شود، که جواب نزدیک به بهینه را ایجاد می‌کند نیز ارائه شد. در هر حال همانطور که در برخی نمونه مسائل دیده شد، زمان محاسبات همچنان بالا بود.

دو اکتشافی مبتنی بر LP (LPH1, LPH2) برای حل این مسائل پیشنهاد شد. این دو اکتشافی، جواب‌های LP کسری را در یک جواب ممکن بودن با رندسازی رو به بالا (استخدام مازاد) یا رندسازی رو به پایین (تولید ازدست رفته) تعدیل می‌کند. یک الگوریتم عمومی GA نیز به عنوان یک راهکار متناوب برای حل مسئله و به منظور مقایسه عملکرد اکتشافی‌های پیشنهادی اجرا شد. اکتشافی‌ها در مثال سیستم تولید نیمه رسانا با تعداد گروه

ماشین‌آلات زیاد اعمال شد و با رویکرد تقسیم فضای جواب پیشنهادی ویروجاناگود و همکاران مقایسه شد. هم رویکرد تقسیم فضای جواب و هم اکتشافی‌های مبتنی بر LP جواب‌های ممکنی ایجاد کردند که در ۵ درصد از نتایج آزادسازی LP در زمان محاسباتی منطقی قرار داشتم. ترکیب رویکرد تقسیم فضای جواب و اکتشافی‌های مبتنی بر LP زمان محاسبات را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

به علاوه، اکتشافی‌ها در مدل‌هایی با داده‌های تصادفی اعمال شد تا عملکرد اکتشافی‌ها مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نشان داد که اکتشافی‌های مبتنی بر LP جواب‌های نزدیک به بهینه را در زمان محاسبات منطقی تولید می‌کنند. در تمام آزمایشات GA بهترین نتایج را به دست آورد اما بیشترین زمان محاسبات را گرفت. مطالعات بیشتر در رابطه با پارامترهای GA به منظور کاهش زمان محاسبات می‌تواند انجام شود. پژوهش‌های بیشتر را می‌توان در رابطه با اجرای یک برنامه آزمایشی برای بررسی تأثیر پارامترهای عملکرد بر جواب انجام داد. به علاوه برنامه‌های اکتشافی‌ها با استفاده از سایر رویکردها به جای رویکردهای اصلاحی مبتنی بر LP به صورتی که در این پژوهش استفاده شد. با این حال مدل و نتایج مورد بحث در این مقاله تنها در یک نوع از مسائل تولید قابل استفاده است. بنابراین اکتشافی‌ها باید در مسائل سایر تولیدات اعمال شود. دراین پژوهش، تنها آموزش مقطعی به عنوان منبع انعطاف‌پذیری نیروی کار درنظر گرفته شد. به منظور توسعه‌ی مدل ها و اکتشافی‌ها می‌توان گسترش‌هایی را در مسائلی که سایر منابع انعطاف‌پذیری را در نظر می‌گیرند مثل استفاده از کارکنان موقت یا اضافه کار انجام داد.

مراجع

[۱] فاطمی قمی، م.، برنامه ریزی و کنترل تولید و موجودیها، ویرایش هشتم، انتشارات امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۹.

[۲] متقی، ه.، مدیریت تولید و عملیات ویرایش هفدهم، انتشارات آوای شیرین، تهران، ۱۳۹۴ .

[۳] مریخ بیات، ف.، الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری(همراه با کاربردهایی در مهندسی برق)، انتشارات جهاددانشگاهی، ۱۳۹۳.

[۴] یقینی، م.، اخوان کاظم‌زاده، م.، الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری. جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

[5] Techawiboonwong, Atthawit, Yenradee, Pisal, and Das, Sanchoy K. A master scheduling model with skilled and unskilled temporary workers. *International Journal of Production Economics*, (2006), 103(2):798–809, .

[6] Fowler, John W., Wirojanagud, Pornsarun, and Gel, Esma S. Heuristics for workforce planning with worker differences. *European Journal of Operational Research*, (2008), 190(3):724–740, 11.

[7] Othman, M., Bhuiyan, N., and Gouw, G. *Integrating workers' differences into work-force planning*, Computers & Industrial Engineering, (2012), 63:1096–1106,.

[8] Azizi, N., Zolfaghari, S., and Liang, M. *Modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee's boredom and skill variations*, International Journal of Production Economics 123, 1 (2010), 69–85.

[9] Azizi, N., and Liang, M. *An integrated approach to worker assignment, workforce flexibility acquisition, and task rotation*, Journal of the Operational Research Society 64, 2 (2013), 260–275.

[10] Burke, E. K., and Kendall, G. *Search methodologies*, Springer, (2005).

[11] Connelly, C. E., and Gallagher, D. G. *Emerging trends in contingent work research*, Journal of management 30, 6 (2004), 959–983.

[12] Corominas, A., Pastor, R., and Plans, J. *Balancing assembly line with skilled and unskilled workers*, Omega 36, 6 (2008), 1126–1132.

[13] Crainic, T. G., Gendreau, M., Hansen, P., and Mladenović, N. *Cooperative parallel variable neighborhood search for the p-median*, Journal of Heuristics 10, 3 (2004), 293–314.

[14] De Bruecker, P., Van den Bergh, J., Beliën, J., and Demeulemeester, E. *Workforce planning incorporating skills: State of the art*, European Journal of Operational Research 243, 1 (2015), 1–16.

[15] Fowler, J. W., Wirojanagud, P., and Gel, E. S. *Heuristics for workforce planning with worker differences*, European Journal of Operational Research 190, 3 (2008), 724–740.

[16] Gabszewicz, J., and Turrini, A. *Workers' skills, product quality and industry equilibrium*, International journal of industrial organization 18, 4 (2000), 575–593.

[17] García-López, F., Melián-Batista, B., Moreno-Pérez, J. A., and Moreno-Vega, J. M. *The parallel variable neighborhood search for the p-median problem*, Journal of Heuristics 8, 3 (2002), 375–388.

[18] Gendreau, M., and Potvin, J.-Y. *Handbook of metaheuristics, volume 2*, Springer, (2010),.

[19] Aryanezhad, M. B., Deljoo, V., and Mirzapour Al-e-hashem, S. M. J. *Handbook of metaheuristics, volume 2*, Dynamic cell formation and the worker assignment problem: A new model. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2009), 41(3–4), 329–342.

[20] Aines, T. S., Asch, R., Hadfield, L., Mason, J. P., Fletcher, S., and Kay, J. M. *Towards a theoretical framework for human performance modeling within manufacturing systems design*, Simulation Modeling Practice and Theory, (2005), 13(6), 486–504

[21] Barrick, M. R., and Mount, M. K. *The Big Five personality dimensions and job performance*, A meta-analysis. Personnel Psychology, (1991), 44(1), 1–26.

[22] Hillier, F. S., and Lieberman, G. J. *Introduction to operations research (9th ed.)*, Burr Ridge, IL: Irwin/McGraw-Hill, (2010),.

[23] Torabi, S. A., Ebadian, M., and Tanha, R.Gendreau, M., and Potvin, J.Y. *Fuzzy hierarchical production planning (with a case study)*, Fuzzy Sets and Systems, (2010), 161(11), 1511–1529.

[24] Leung, S., and Chan, S. *A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint*, Computers and Industrial Engineering, (2009), 56(3), 1053–1064.

[25] Neumann, W. P., and Medbo, P. *Integrating human factors into discrete event simulations of parallel flow strategies*, Production Planning and Control, 20(1), 3–16, (2009),.

[26] Wirojanagud, P., Gel, E. S., Fowler, J. W., and Cardy, R. *Modeling inherent worker differences for workforce planning*, International Journal of Production Research, (2009), 45(3), 525–553.

[27] Askin, R.G., Huang, Y. *Forming effective worker teams for cellular manufacturing*, International Journal of Production Research (2001), 39 (11), 2431–2451

[28] Aytug, H., Khouja, M., Vergara, F.E. *Use of genetic algorithms to solve production and operations management problems: A review*, International Journal of Production Research (2003), 41 (17), 3955–4009.

[29] French, A.P., Wilson, J.M. *Heuristic solution methods for the multilevel generalized assignment problem*, Journal of Heuristics 8, (2002), 143–153.

فصل ۵

کدهای متلب

```
1
2  % M. Amintoosi, S. Nezamdoost, HSU 2017
3
4
5  % Ax = b
6  % A has 6*216+1944 = 3240 columns
7  % but according to the paper
8  % A should be 3634*3490
9
10 % The first 216 elements of x are W
11 % The second 216 elements of x are H
12 % and so on for L and OT
13 % the last 864 are Y
14 % W,H,L,OT,Z,U,Y
15
16 clear
17 tic
18 M = 10000;
19 m = 24;%3634;
20 n = 2160;
21 % A = zeros(m,n);
22 % Aeq = zeros(7992,3240);
23 b = zeros(n,1);
24 beq = zeros(240,1);
25
26 jMax = 3;  %
27 pMax = 3;
28 tMax = 8;
29 xMax = 3; % ML
30 kMax = jMax;
31 yMax = xMax;
32 S = jMax;
33
34 sizeW = [jMax,pMax,tMax,xMax];
35 numelW = prod(sizeW);
36
37 sizeY = [kMax,jMax,pMax,tMax,yMax,xMax];
38 numelY = prod(sizeY);
39
40 sizeD = [jMax,tMax];
41 numelD = prod(sizeD);
42 C = zeros(jMax,pMax,tMax);
43 O = zeros(tMax,xMax);
44 R = zeros(jMax,pMax,tMax,xMax);
45 D = zeros(jMax,tMax);
46 ws = randi(2,jMax,xMax)-1;
47 ss = randi(2,jMax,xMax)-1;
48 h = rand(jMax,pMax,tMax);
49 f = h;
50 so = h;
```


شکل ۵-۱: نمونه کد MATLAB

```
tr = M*ones(S,jMax,pMax,tMax);
tr(1,2,:,:) =[10 10 10 10 10 10 10 10 ;...
    12 12 12 12 12 12 12 12 ;...
    15 15 15 15 15 15 15 15];
tr(2,3,:,:) =[ 10 10 10 10 10 10 10 10 ;...
    12 12 12 12 12 12 12 12 ;...
    15 15 15 15 15 15 15 15];

D=[3200 1600 3200 2240 2080 3200 2080 3200 ;...
    3520 3200 3520 3200 3200 2560 3200 2560 ;...
    3840 2880 3840 2880 3200 1920 3200 1920];

Ajt=[40 40 40 40 40 40 40 40 ;...
    40 40 40 40 40 40 40 40 ;...
    40 40 40 40 40 40 40 40];

AOTjt=[10 10 10 10 10 10 10 10 ;...
    10 10 10 10 10 10 10 10 ;...
    10 10 10 10 10 10 10 10];

h(1,:,:)=[400 400 400 400 400 400 400 400;425 425 425 425
   425 425 425 425;450 450 450 450 450 450 450 450];
h(2,:,:)=[475 475 475 475 475 475 475 475;500 500 500 500
   500 500 500 500;510 510 510 510 510 510 510 510];
h(3,:,:)=[520 520 520 520 520 520 520 520;550 550 550 550
   550 550 550 550;560 560 560 560 560 560 560 560];
M = 10000;

f(1,:,:)=[500 500 500 500 500 500 500 500;...
    525 525 525 525 525 525 525 525;...
    550 550 550 550 550 550 550 550];
f(2,:,:)=[575 575 575 575 575 575 575 575;...
    600 600 600 600 600 600 600 600;...
    625 625 625 625 625 625 625 625];
f(3,:,:)=[ 650 650 650 650 650 650 650 650;...
    675 675 675 675 675 675 675 675;...
    700 700 700 700 700 700 700 700];

SO(1,:,:)=[ 18.5 18.5 18.5 18.5 18.5 18.5 18.5 18.5;...
    19.5 19.5 19.5 19.5 19.5 19.5 19.5 19.5 ;...
    20.5 20.5 20.5 20.5 20.5 20.5 20.5 20.5];
SO(2,:,:)=[ 21.5 21.5 21.5 21.5 21.5 21.5 21.5 21.5;...
        22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 ;...
        23.5 23.5 23.5 23.5 23.5 23.5 23.5 23.5];
SO(3,:,:)=[ 24.5 24.5 24.5 24.5 24.5 24.5 24.5 24.5;...
    25.5 25.5 25.5 25.5 25.5 25.5 25.5 25.5;...
    26.5 26.5 26.5 26.5 26.5 26.5 26.5 26.5];
```

شکل ۵-۲: نمونه کد MATLAB[۷۸]

```
C(1,:,:)=[70 75 70 80 70 80 70 80;...
    75 75 75 70 75 85 75 85;...
    80 85 80 80 80 80 80 80];
C(2,:,:)=[ 80 80 80 80 85 80 85 80;...
    85 85 85 85 85 85 85 85;...
    90 90 90 95 90 90 90 90];
C(3,:,:)=[90 90 90 90 90 90 90 90;
    95 95 95 95 95 95 95 95;...
    100 100 100 100 100 100 100 100];

O=[100 100 90 100 80 90 80 90 ;...
    90 100 90 100 100 100 100 100 ;...
    100 100 90 100 100 100 100 100];

R(1,1,:,:)=[70 70 70 70 70 70 70 70 ; 0 0 0 0 0 0 0 0 ; 0 0
    0 0 0 0 0 0]';
R(1,2,:,:)=[ 75 75 75 75 75 75 75 75 ; 0 0 0 0 0 0 0 0 ; 0
   0 0 0 0 0 0 0]';
R(1,3,:,:)=[ 80 80 80 80 80 80 80 80 ; 0 0 0 0 0 0 0 0 ; 0
   0 0 0 0 0 0 0]';
R(2,1,:,:)=[70 70 70 70 70 70 70 70 ; 75 75 75 75 75 75 75
   75 ; 0 0 0 0 0 0 0 0]';
R(2,2,:,:)=[ 75 75 75 75 75 75 75 75 ; 80 80 80 80 80 80 80
    80 ; 0 0 0 0 0 0 0 0]';
R(2,3,:,:)=[80 80 80 80 80 80 80 80 ; 85 85 85 85 85 85 85
   85 ; 0 0 0 0 0 0 0 0]';
R(3,1,:,:)=[80 80 80 80 80 80 80 80 ; 85 85 85 85 85 85 85
   85 ; 90 90 90 90 90 90 90 90]';
R(3,2,:,:)=[85 85 85 85 85 85 85 85 ; 90 90 90 90 90 90 90
   90 ; 95 95 95 95 95 95 95 95]';
R(3,3,:,:)=[ 90 90 90 90 90 90 90 90 ;95 95 95 95 95 95 95
   95 ; 100 100 100 100 100 100 100 100]';
F = zeros(3240,1);


% The First Row
% A(1,1:216) = 1;
% A(1,3*216+1:4*216) = 1;

rowNo = 1;
```

شکل ۵-۳: نمونه کد MATLAB

```
%% Constraints (1)
for j=1:jMax
    for t=1:tMax
        for p=1:pMax
            for x = 1:xMax
                r = sub2ind(sizeW,j,p,t,x);
                indW = r;
                indH = r+numelW;
                indL = r+2*numelW;
                indOT = r+3*numelW;
                indZ= r+4*numelW;
                indU = r+5*numelW;
                indY= r+6*numelW;
                Aeq(rowNo, indW) =1;%% C(j,p,t)*O(t,x)*R(j,
                   p,t,x);
                Aeq(rowNo, indOT) = 1;
            end
        end
        rowNo = rowNo + 1;
        beq(rowNo)= D(j,t);
    end
end
```

شکل ۵-۴: نمونه کد MATLAB

```
% Constraints (2)
for j=1:jMax
    for t=1:tMax
        for p=1:pMax
            for x = 1:xMax
                if t==1
                    rowNo = rowNo+1;
                    continue
                end
                r = sub2ind(sizeW,j,p,t-1,x);
                indWjpt_1x = r;
                Aeq(rowNo, indWjpt_1x) = 1;
                r = sub2ind(sizeW,j,p,t,x);
                indWjptx = r;
                Aeq(rowNo, indWjptx) = -1;

                indH = r+numelW;
                Aeq(rowNo, indH) = 1;

                indL = r+2*numelW;
                Aeq(rowNo, indL) = -1;

                if j>=2 && x>=2
                    r = [];
                    for k=j-1:j
                        for y=x-1:x % ??X
                            r = [r sub2ind(sizeY,k,j,p,t,y,
                                x)];
                        end
                    end
                    indY = r+6*numelW;
                    Aeq(rowNo, indY) = 1;
                end

                if j>=2 && x>=2 % ?? k,y
                    r = [];
                    for k=j+1:jMax % ??k
                        for y=x-1:yMax% ??y
                            r = [r sub2ind(sizeY,k,j,p,t,y,
                                x)];
                        end
                    end
                    indY = r+6*numelW;
                    Aeq(rowNo, indY) = -1;
                end
                rowNo = rowNo + 1;
            end
        end
    end
end
```


شکل ۵-۵: نمونه کد MATLAB

```
%% Constraints (3)
rowNo = 1;
for j=1:jMax
    for t=1:tMax
        for p=1:pMax
            for x = 1:xMax
                r = sub2ind(sizeW,j,p,t,x);
                indW = r;
                indOT = r+3*numelW;
                A(rowNo, indW) = -1;%%*AOT(j,t)
                A(rowNo, indOT) = 1;
                rowNo = rowNo + 1;
            end
        end
    end
end
```

شکل ۵-۶: نمونه کد MATLAB

```
%% Constraints (4)
for j=1:jMax
    for t=1:tMax
        for p=1:pMax
            for x = 1:xMax
                if t>1
                    r = sub2ind(sizeW,j,p,t-1,x);
                    indWjpt_1x = r;
                    A(rowNo, indWjpt_1x) = -1;

                    r =sub2ind(sizeW,j,p,t,x);

                    indL = r+2*numelW;
                    A(rowNo,indL) = 1;

                    r = [];
                    for k=1:S
                        if k>j
                            for y=1:xMax% ML
                                r = [r sub2ind(sizeY,k,j,p,
                                    t,y,x)];
                            end
                        end
                    end
                    indY = r+6*numelW;
                    A(rowNo,indY)=1;
                end
                rowNo = rowNo + 1;
            end
        end
    end
end
```

شکل ۵-۷: نمونه کد MATLAB

```
%% Constraints (5)
for j=1:jMax
    for t=1:tMax
        for p=1:pMax
            for x = 1:xMax
                r = sub2ind(sizeW,j,p,t,x);
                indL=r+2*numelW;
                A(rowNo,indL)=1;
                b(rowNo) = M*ws(j,x);
                rowNo = rowNo + 1;
            end
        end
    end
end
```

شکل ۵-۸: نمونه کد MATLAB

```
%% Constraints (6)
for j=1:jMax
    for t=1:tMax
        for p=1:pMax
            for x = 1:xMax
                r = sub2ind(sizeW,j,p,t,x);
                indH=r+numelW;
                A(rowNo,indH)=1;
                b(rowNo) = M*ws(j,x);
                rowNo = rowNo + 1;
            end
        end
    end
end
```

شکل ۵-۹: نمونه کد MATLAB

```
%% Constraints (7)
for j=1:jMax
    for t=1:tMax
        for p=1:pMax
            for x = 1:xMax
                for k=1:kMax
                    for y=1:yMax
                        r =  sub2ind(sizeY,k,j,p,t,y,x);
                        indY = r+6*numelW;
                        A(rowNo,indY)=1;
                        b(rowNo) = M*ws(k,y);
                        rowNo = rowNo + 1;
                    end
                end
            end
        end
    end
end
```

شکل ۵-۱۰: نمونه کد MATLAB

```
%% Constraints (8)
for j=1:jMax
    for t=1:tMax
        for p=1:pMax
            for x = 1:xMax
                for k=1:kMax
                    for y=1:yMax
                        r =  sub2ind(sizeY,k,j,p,t,y,x);
                        indY = r+6*numelW;
                        A(rowNo,indY)=1;
                        b(rowNo) = M*ws(j,x);
                        rowNo = rowNo + 1;
                    end
                end
            end
        end
    end
end
```

شکل ۵-۱۱: نمونه کد MATLAB

```
%% Constraints (9)
for j=1:jMax
    for t=1:tMax
        for p=1:pMax
            for x = 1:xMax
                for k=1:kMax
                    for y=1:yMax
                        r =  sub2ind(sizeY,k,j,p,t,y,x);
                        indY = r+6*numelW;
                        A(rowNo,indY)=1;
                        b(rowNo) = M*ss(k,j);
                        rowNo = rowNo + 1;
                    end
                end
            end
        end
    end
end
```

شکل ۵-۱۲: نمونه کد MATLAB

```
%% Constraint(13)
for j=1:jMax
    for t=1:tMax
        for p=1:pMax
            for x = 1:xMax
                for y=1:xMax% ML
                    if t>1
                        r =sub2ind(sizeW,j,p,t,x);

                        indZ = r+4*numelW;
                        A(rowNo,indZ) = -M;

                        r = [];
                        for k=1:S
                            r = [r sub2ind(sizeY,k,j,p,t,y,
                               x)];
                        end
                        indY = r+6*numelW;
                        A(rowNo,indY)=1;
                    end
                    rowNo = rowNo + 1;
                end
            end
        end
    end
end
```

شکل ۵-۱۳: نمونه کد MATLAB

```
%% Constraints (14)
for j=1:jMax
    for t=1:tMax
        for p=1:pMax
            for x = 1:xMax
                r = sub2ind(sizeW,j,p,t,x);

                indL=r+2*numelW;
                A(rowNo,indL)=1;

                indZ= r+4*numelW;
                A(rowNo,indZ) = M;
                b(rowNo) = M;
                rowNo = rowNo + 1;
            end
        end
    end
end
% %% Constraint(15)
% %Z,j,p,t,x{0,1}
```

شکل ۵-۱۴: نمونه کد MATLAB

```
%% Constraint(16)
for j=1:jMax
    for t=1:tMax
        for p=1:pMax
            for x = 1:xMax
                if t>1
                    r =sub2ind(sizeW,j,p,t,x);

                    indU = r+5*numelW;
                    A(rowNo,indU) = -M;

                    indH = r+1*numelW;
                    A(rowNo,indH)=1;
                end
                rowNo = rowNo + 1;
            end
        end
    end
end
```

شکل ۵-۱۵: نمونه کد MATLAB

```
%% Constraints (17)
for j=1:jMax
    for t=1:tMax
        for p=1:pMax
            for x = 1:xMax
                r = sub2ind(sizeW,j,p,t,x);

                indL=r+2*numelW;
                A(rowNo,indL)=1;

                indU= r+5*numelW;
                A(rowNo,indU) = M;
                b(rowNo) = M;
                rowNo = rowNo + 1;
            end
        end
    end
end
```

شکل ۵-۱۶: نمونه کد MATLAB

```
% %Constraint(18)
% %U,j,p,t,x{0,1}
figure(1), spy(A)
figure(2), imagesc(A)
%%
LB = zeros(size(A,2),1);
UB = ones(size(A,2),1).*Inf;
indH = r+numelW;
indL = r+2*numelW;
indOT = r+3*numelW;
indZ= r+4*numelW;
indU = r+5*numelW;
indY= r+6*numelW;
%%
F(indH+1:indL) = [h(:); h(:); h(:) ];
F(indL+1:indOT) = [ f(:) ; f(:)  ; f(:) ]+ 1;
F(indOT+1:indZ) = [so(:); so(:); so(:)];
F(indY+1:end) = repmat( tr(:),8,1);
intCon = [indZ:indY-1]';


% x = intlinprog(F,intCon,A,b,[],[],LB,UB)
x = intlinprog(F,intCon,A,b,Aeq,beq,LB,UB)
toc
```

شکل ۵-۱۷: نمونه کد MATLAB

واژه نامه فارسی به انگلیسی

آموزش . . . . . Training
ابتکاری . . . . . Heuristic
اخراج . . . . . Fire
استخدام . . . . . Hire
استعفا . . . . . Resign
الگوریتم ژنتیک . . . . . Genetic Algorithm
الگوریتم‌های تقریبی . . . . . Approximate algorithms
انبار . . . . . Store
برنامه‌ریزی تولید . . . . . Production planning
برنامه‌ریزی نیروی کار . . . . . Workforce planning
بهینه سازی . . . . . Optimization
پارامترهای مدل . . . . . Model Parameters
تابع هدف . . . . . The objective function
دقیق . . . . . Exact
راه‌اندازی . . . . . Startup
سطوح شخصیتی . . . . . Personality levels
سطوح مهارتی . . . . . Skill levels
ظرفیت . . . . . Capacity
عملکرد با صرفه اقتصادی . . . . . Affordable Yield
عملکرد قابل دسترسی . . . . . Attainable Yeild
کارگران دایم . . . . . Permanent workers

کارگران مشروط . . . . . Contingent Workers

کارگران موقت . . . . . Temporary workers

کارخانه . . . . . Factory

ماشین الات . . . . . Machinery

محدودیت توازن . . . . . Constraint Balance

محدودیت عدد صحیح . . . . . Integer constraint

موجودی . . . . . Inventory

هزینه . . . . . Cost

یادگیری . . . . . Learning

تقاضا . . . . . Demand

فرضیات مدل . . . . . Model assumptions

تخصیص . . . . . Allocation

تصمیم‌گیری . . . . . Decision making

واژه نامه انگلیسی به فارسی

عملکرد با صرفه اقتصادی . . . . . Affordable Yield

تخصیص . . . . . Allocation

الگوریتم‌های تقریبی . . . . . Approximate algorithms

عملکرد قابل دسترسی . . . . . Attainable Yeild

ظرفیت . . . . . Capacity

محدودیت توازن . . . . . Constraint Balance

کارگران مشروط . . . . . Contingent Workers

هزینه . . . . . Cost

تصمیم‌گیری . . . . . Decision making

تقاضا . . . . . Demand

دقیق . . . . . Exact

کارخانه . . . . . Factory

الگوریتم ژنتیک . . . . . Genetic Algorithm

ابتکاری . . . . . Heuristic

استخدام . . . . . Hire

موجودی . . . . . Inventory

محدودیت عدد صحیح . . . . . Integer constraint

یادگیری . . . . . Learning

ماشین الات . . . . . Machinery

اخراج . . . . . Measure

فرضیات مدل . . . . . Model assumptions

پارامترهای مدل . . . . . Model Parameters

بهینه سازی . . . . . Optimization

کارگران دایم . . . . . Permanent workers

سطوح شخصیتی . . . . . Personality levels

برنامه‌ریزی تولید . . . . . Production planning

استعفا . . . . . Resign

سطوح مهارتی . . . . . Skill levels

راه‌اندازی . . . . . Startup

انبار . . . . . Store

کارگران موقت . . . . . Temporary workers

تابع هدف . . . . . The objective function

آموزش . . . . . Training

برنامه‌ریزی نیروی کار . . . . . Workforce planning

Hakim Sabzevari University

An Outline of MSc. Thesis

Surname:Nezamdoust	Name:Sara	Student No.:9323133014
Supervisor: Dr. Mahmood Amintoosi		
Advisor: Dr. Mahamadali Partanian		
Faculty of Mathematics and Computer Science	Applied Mathematics	Optimization

Title of thesis: A master scheduling prduction with centering on levels of skill and personality

Keywords:Master svheduling, Skill levels, Personality levels, Permanent and temporary workers

Abstract: Production planning is used to have efficient, effective and economical operation in a manufacturing. In many models, the main task of the production planning, is reducing costs. Here, a mixed integer programming(MIP) model has been developed for assigning permanent and temporary workers with different skill and personality levels of skill. In order to reduceing computational time, we use heuristical algorithms.

Hakim Sabzevari University
Faculty of Mathematics and Computer Science

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of Science in Applied Mathematics

A master scheduling prduction with centering on levels of skill and personality

Supervisor:

Dr. Mahmood Amintoosi

Advisor:

Dr. Mahamadali Partanian

By:

Sara Nezamdoust

July 2018