

## زمان‌بندی کارکنان موقت با بهره‌وری متغیر

محمد اکبری\*

استادیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۷

دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۱۰

### چکیده

هدف اصلی این پژوهش به کارگیری مهندسی عوامل انسانی در تئوری زمان‌بندی به منظور بهینه‌سازی عملکرد نیروی کار است. در این مقاله مسأله زمان‌بندی نیروی کار موقت با عملکرد متغیر مورد بررسی قرار گرفته شده است. تابع هدف مدل مورد بررسی کمینه‌سازی هزینه‌های نیروی کار است و مدل ریاضی ارائه شده بهترین طول زمانی شیف‌ت کاری و تخصیص کارکنان را مشخص می‌کند. ویژگی منحصر به فرد این پژوهش در نظر گرفتن ابعاد ارگونومی (خستگی کارکنان) در زمان‌بندی کارکنان است. برای حل مدل ریاضی ارائه شده از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. برای بررسی اثربخشی و کارایی مدل و الگوریتم ژنتیک مجموعه‌ای از مسائل حل شد. برای بررسی کارایی الگوریتم ژنتیک راه‌حل‌های به دست آمده با راه‌حل‌های نرم‌افزار لیتکو<sup>۱</sup> مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه نتایج نشان داد که الگوریتم ژنتیک کارایی مطلوبی در یافتن پاسخ رضایت‌بخش در مدت زمان محاسباتی مناسب دارد. این پژوهش نشان داد که می‌توان خستگی کارکنان را در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی کارکنان مدل‌سازی کرد و به منظور کاهش هزینه‌های کارکنان و افزایش کارایی تولید، شیفت‌های کاری انعطاف‌پذیر در نظر گرفت. پیشنهاد می‌شود که با استفاده از مدل ارائه شده به منظور بررسی سیاست‌های کاهش خستگی کارکنان و افزایش ظرفیت کاری آنان هزینه‌های این سیاست‌ها (چون آموزش، گردش شغلی، اتوماسیون و...) با میزان بهینگی اقتصادی ناشی از آن در زمان‌بندی، مقایسه و بهترین برنامه‌ها انتخاب گردد.

**کلیدواژه‌ها:** زمان‌بندی کارکنان، خستگی نیروی کار، کارکنان پاره‌وقت، الگوریتم ژنتیک

E-mail: md.akbary@gmail.com

\*نویسنده مسؤل مقاله:



## ۱- مقدمه

زمان بندی کارکنان عبارت از فرایند یافتن بهترین جدول زمانی کاری امکان پذیر برای کارکنان جهت برآوردن احتیاجات سازمان است. در این فرایند بهتر است که شرایط مختلف کارکنان و سازمان با اهداف کمینه سازی هزینه های نیروی کار، بیشینه سازی رضایت کارکنان و مدل سازی موارد مهم مرتبط با نیروی کار و سازمان در نظر گرفته شود [۱]. تهیه جدول زمانی کار بهینه گاهی اوقات جزء مسائل بهینه سازی ترکیبی / گسسته<sup>۱</sup> و نیازمند استفاده از رویکرد بهینه برای حل آن است [۲؛ ۳]. پژوهش های عوامل انسانی و تئوری زمان بندی به صورت جدا از یکدیگر توسعه یافته و تعداد مقالات کمی به کارگیری مهندسی عوامل انسانی در زمان بندی را به صورت هم زمان در نظر گرفته اند [۴]. در این پژوهش سعی می شود تعیین جدول زمانی کار کارکنان با در نظر گرفتن یکی از مهم ترین عوامل انسانی یعنی خستگی<sup>۲</sup> به عنوان عامل کاهنده ظرفیت تولیدی مورد بررسی قرار گیرد.

## ۲- ادبیات پژوهش

### ۲-۱- خستگی کارکنان و عملکرد

خستگی به صورت کارکردی کاهش در عملکرد کارکنان در فعالیت های فیزیکی و در طول زمان است، چنانچه خستگی فیزیکی یا ذهنی باشد تأثیر مشابه دارد [۵]. خستگی برای مشاغل و شرایط مختلف ترکیبات متفاوتی از خستگی فیزیکی و ذهنی است [۶] و بر سلامتی کارگر و تندرستی اجتماعی<sup>۳</sup> تأثیر منفی دارد [۷]. روسا<sup>۴</sup> نتیجه گرفته است که توسعه زمان بندی های شیفت کاری باید با توجه مناسب به سطح نیرو کار، حجم کار، گردش شغلی و زمان های استراحت انجام شود [۸]. ایسلت و ماریانو<sup>۵</sup> برای توسعه زمان بندی کارکنان یک مدل ریاضی برای گمارش فعالیت ها به کارکنان ارائه کرده است. تابع هدف مدل آنان کمینه سازی تفاوت کاری کارکنان جهت اجتناب از خستگی<sup>۶</sup>، کمینه سازی بی عدالتی بین حجم کاری کارکنان و کمینه سازی هزینه ها بود [۹]. اکبری، زندیه و دری برای توسعه زمان بندی کارکنان و عوامل انسانی مدل ریاضی با در نظر گرفتن معیارهای حضور کارکنان، بهره وری، ترجیح کارکنان، سطح ارشدیت و تعداد کارکنان مورد نیاز ارائه کردند [۱۰]. آنان

در مطالعه خود خستگی کارکنان را به عنوان عامل تأثیرگذار بر عملکرد کارکنان و خروجی تولید در نظر گرفته‌ند. ایشان چگونگی تأثیر حجم کاری تخصیص یافته بر بهره‌وری کارکنان را برای ارائه مدل ریاضی شبیه‌سازی نکردند. تأثیر خستگی بر نرخ عملکرد در طول زمان به صورت یک منحنی به نام منحنی کار<sup>۱</sup> ترسیم می‌شود و به صورت یک خط مستقیم نیست [۶]. منحنی کار کاهش ظرفیت کار یا به عبارتی نرخ عملکرد به دلیل خستگی کارگر را نشان می‌دهد. هفت نوع از منحنی‌های کار تعریف شده که به شرح زیر است.

۱- کاهش تدریجی؛ ۲- کاهش ناگهانی؛ ۳- منحنی پایدار با نرخ عملکرد بالا؛ ۴- منحنی پایدار با نرخ عملکرد پایین؛ ۵- منحنی پایدار عملکرد پیش از و گاهی پس از کاهش عملکرد؛ ۶- منحنی بسیار ناپایدار؛ ۷- منحنی با افزایش ناگهانی [۵]. شکل منحنی کار توسط سه عامل اصلی طول روز کاری و طول کارهای مستمر، نوع کار در حال انجام و حضور و یا تمایل به محدودیت عمده برای خروجی کار تأثیر می‌پذیرد [۱۱]. گواستلو و مک‌گی<sup>۱</sup> تأثیر خستگی عملکرد کار فیزیکی را به صورت یک مدل سه بعدی<sup>۱۱</sup> ترسیم نموده‌اند، به گونه‌ای که سطح منحنی سه بعدی این مدل همه انواع منحنی‌های کار را پوشش می‌دهد [۱۲]. در این مقاله خستگی به عنوان یک عامل کاهنده ظرفیت کاری کارکنان در مسأله زمان‌بندی کارکنان در نظر گرفته می‌شود. مدل ارائه شده سعی می‌کند تعداد کافی از کارکنان بهره‌ور را در شیفتهای کاری تخصیص دهد. مدل زمان‌بندی عملکرد متغیر مرتبط با حجم کاری کارکنان را در نظر می‌گیرد.

## ۲-۲- زمان‌بندی کارکنان

مسأله زمان‌بندی کارکنان به سه دسته تقسیم می‌شود: ۱- زمان‌بندی شیفت؛ ۲- زمان‌بندی روزهای کاری؛ ۳- زمان‌بندی تور<sup>۱۱</sup> که ترکیب دو زمان‌بندی نوع ۱ و ۲ است [۱۳]. زمان‌بندی تور سعی می‌کند که ساعات کاری را در روز کاری، روزهای کاری یک هفته را در شرایط مختلفی چون داشتن چند زمان استراحت در طول روز، انعطاف‌پذیری طول شیفت کاری، دوره‌های کاری پیوسته یا گسسته و... مشخص و تخصیص دهد. نیروی کار در این مسأله می‌تواند همگن (تمام وقت یا پاره‌وقت) یا مختلط (برخی از کارکنان تمام وقت و برخی از کارکنان پاره‌وقت) باشد، اگرچه کارکنان از ابعاد دیگری چون سطح مهارت، نرخ یادگیری،



حقوق و دستمزد، حضور و ساعات کاری می‌توانند تقسیم‌بندی شوند [۱۴]. در مسأله زمان‌بندی تور معمولاً تصمیم‌های مربوط به استراحت روزانه و هفتگی و روزهای تعطیلی باید اتخاذ شود. زمان شروع و طول زمان شیفت کاری متغیرهایی است که بعضی از محققین آن را انعطاف‌پذیر و چندگانه در نظر گرفته‌اند [۱۵؛ ۱۶]. تعداد متغیرها و محدودیت‌های (ساختار) مسأله تعیین‌کننده پیچیدگی مسأله زمان‌بندی تور کارکنان است [۱۴]. انعطاف‌پذیری در مسأله زمان‌بندی تور توجه ویژه‌ای در ادبیات پژوهش داشته است. توپالوگلو و اوزکاران<sup>۱۲</sup> بیان داشته‌اند که سازمان‌ها از طریق ارائه زمان‌های آغاز و مدت زمان کاری متفاوت، زمان‌های استراحت متعدد و ارائه چارچوب‌های کاری متفاوت سعی در افزایش انعطاف‌پذیری زمان‌بندی کارکنان داشته‌اند [۱۷]. موندرا<sup>۱۳</sup> [۱۸] و بتولد و جاکوب<sup>۱۴</sup> [۱۹] انعطاف‌پذیری را به صورت مؤثر در مسأله زمان‌بندی شیفت کاری مدل‌سازی کرده‌اند. موندرا دو متغیر زمان شروع شیفت کاری و مدت زمان شیفت کاری را به عنوان عامل انعطاف‌پذیری مدل‌سازی کردند. بتولد و جاکوب<sup>۱۵</sup> انعطاف‌پذیری در زمان‌بندی شیفت کاری را با در نظر گرفتن عامل زمان استراحت و کار مدل‌سازی کرده و مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ارائه کردند. تامسون با در نظر گرفتن مدل موندرا (۱۹۷۶) و بتولد و جاکوب<sup>۱۶</sup> (۱۹۹۰) یک مدل منعطف‌تر با در نظر گرفتن زمان‌های شروع شیفت کاری، طول شیفت، و زمان‌های استراحت ارائه کرد [۲۰]. او در مقاله خود ویژگی‌های بیشتری چون زمان‌بندی اضافه کار و اوقات استراحت را به مدل اضافه کرد. جاکوب و براسکو<sup>۱۷</sup> نیز در مقالاتشان [۲۱؛ ۲۲] با در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری در مدت زمان شیفت، زمان شروع شیفت و اوقات استراحت مسأله زمان‌بندی شیفت کاری را توسعه دادند. استولز<sup>۱۸</sup> برای کارکنان فرودگاه مدل عملیاتی برنامه‌ریزی کارکنان ارائه کرد [۲۳]. در این پژوهش انواع متفاوت انعطاف‌پذیری چون مدت زمان شیفت، زمان آغاز، شناوری زمان آغاز، انعطاف‌پذیری زمان تور، انعطاف‌پذیری روزهای کاری و انعطاف‌پذیری مجموع ساعات کاری در نظر گرفته شد. استولز و همکارش در جهت افزایش انعطاف‌پذیری مسأله زمان‌بندی شیفت را توسعه دادند [۲۴]. در این توسعه انعطاف‌پذیری تابع هدف مدل کمینه‌سازی ساعات کاری خارج از برنامه اعلامی کارکنان و اضافه‌کاری در طول هفته با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف هزینه بود. استولز و زامورانو<sup>۱۹</sup> انعطاف‌پذیری در شیفت کاری در مسأله زمان‌بندی تور را

مورد مطالعه قرار دادند. تابع هدف مدل آنان کمینه‌سازی هزینه کل گمارش با توجه به محدودیت تعداد نیروی کار و مقرارت کاری بود [۲۵]. انعطاف‌پذیری در زمان‌بندی شیفت کاری برای کارکنان خدماتی نیز توسط برنر و بارد<sup>۱۸</sup> مورد مطالعه قرار گرفت [۲۶]. هدف مدل ارائه شده تعیین سطوح کاری برای طبقات کارگری مختلف بود. مسأله در قالب یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط ارائه و توسط الگوریتم شاخه و هزینه<sup>۱۹</sup> حل شد. محققین برای مسأله ارائه شده انعطاف‌پذیری در زمان‌های آغاز، مدت زمان شیفت کاری، زمان استراحت و غذا و انعطاف‌پذیری در تعیین روزهای غیرکاری در نظر گرفتند.

بسیاری از محققین برای حل مسأله زمان‌بندی کارکنان که با توجه به افزایش پیچیدگی مسأله حل آن بسیار سخت می‌شود از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری استفاده کرده‌اند. براسکو و جاکوب برای مسأله زمان‌بندی تور با محدودیت زمان شروع یک استراتژی حل ابتکاری دو مرحله‌ای ارائه کردند. این محققین دریافتند که استراتژی حل آن‌ها چارچوب مناسب برای یافتن پاسخ نزدیک به بهینه برای مسائل بسیار سخت است [۲۲]. جارا<sup>۲۰</sup> نیز برای حل مسائل عدد صحیح با مقیاس بزرگ نیز از روش تجزیه مسأله به زیر مسأله‌های کوچک استفاده کرد [۲۷]. براسکو نیز برای حل این‌گونه مسأله زمان‌بندی با ساختار پیچیده عملکرد روش صفحه برش را ارزیابی کرد [۲۸]. رکیک<sup>۲۱</sup> و همکاران نیز برای حل مسأله مشابه روش تجزیه به مسائل کوچک‌تر را مورد بررسی قرار دادند [۲۹]. برای حل چنین مسائلی برخی از محققین از روش‌های فرا ابتکاری استفاده کردند. ذوالفقاری و همکاران برای حل مسأله زمان‌بندی کارکنان خرده‌فروشی از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند [۳۰]. نتیجه پژوهش آنان نشان داد که الگوریتم ژنتیک برای همه نمونه مثال‌های مورد بررسی توانست راه‌حل نزدیک بهینه را یافته و برای نیمی از مثال‌ها عملکرد الگوریتم ژنتیک بهتر از روش شاخه و حد بوده است. زمان‌بندی کارکنان تمام وقت از جمله مسائل پیش‌روی سازمان‌ها بوده است [۳۱]. با افزایش اهمیت کارکنان پاره‌وقت بعضی از محققین به بررسی و زمان‌بندی این دسته از کارکنان پرداخته و رویکردهای مناسبی برای حل مسائل زمان‌بندی آنان ارائه کردند. کارکنان پاره‌وقت در مقاله [۳۲] به عنوان کارکنان اصلی سازمان مورد بررسی و زمان‌بندی قرار گرفت. تکویونوانگ<sup>۲۲</sup> و همکاران برای زمان‌بندی کارکنان پاره‌وقت با ترکیب دو نوع خط تولید با ایستگاه‌های تخصصی و غیرتخصصی مدل MPS-T را ارائه



کردند [۳۳]. بعضی از محققین هم‌زمان زمان‌بندی کارکنان تمام وقت و پاره‌وقت را مورد بررسی قرار دادند [۲۲؛ ۲۷؛ ۲۸]. زمان‌بندی تور با در نظر گرفتن کارکنان با نرخ حضور و کارآمدی مختلف در مقاله لوکس<sup>۳۳</sup> و جاکوب<sup>۳۴</sup> مورد بررسی قرار گرفت [۳۴]. مدل ارائه آنان از نوع دو هدفه بوده که اهداف آن کمیته‌سازی تعداد کارکنان مورد نیاز برای انجام کارها و کمیته‌سازی اختلاف تعداد ساعات کاری تخصیص داده شده به هر کارگر با تعداد ساعات هدف برای هر کارگر است. محدودیت‌های طول شیفت کاری و تعداد روزهای کاری دو محدودیت اصلی این پژوهش بوده است.

اهمیت بهره‌وری و رضایت کارکنان در مطالعه توپالوگا<sup>۳۵</sup> و اوزکاران<sup>۳۶</sup> در قالب زمان‌بندی تور مورد توجه و مدل‌سازی قرار گرفته است [۱۷]. این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی ارائه کرده و به صورت غیرعینی انعطاف‌پذیری زمان‌بندی را مورد توجه قرار داده است. این محقق بیان کردند که سازمان‌ها برای ارائه انعطاف‌پذیری از زمان‌های مختلف شروع شیفت و مدت زمان شیفت کاری مختلف استفاده می‌کنند. تعداد پژوهش‌هایی که بهره‌وری را در زمان‌بندی کارکنان مورد توجه و مدل‌سازی قرار داده کم است [۳۵]. اکبری و همکاران در مسأله زمان‌بندی کارکنان به این مورد توجه کردند که گمارش کارکنان به شیفت‌های متوالی منجر به کاهش کارایی ناشی از خستگی می‌شود [۱۰]. آنان در خصوص چگونگی کاهش بهره‌وری اشاره‌ای نکردند. بهره‌وری متغیر کارکنان و تأثیر آن بر زمان‌بندی کارکنان کار اصلی مقاله آنان بود. ایستون<sup>۳۷</sup> و روسین<sup>۳۸</sup> با در نظر گرفتن کارکنان تمام وقت و پاره‌وقت به صورت هم‌زمان و همچنین کارایی، حقوق و دستمزد متفاوت سعی در ارائه مدل زمان‌بندی کامل‌تر داشتند [۳۶]. لی و همکاران نیز بهره‌وری متفاوت کارکنان را در زمان‌بندی تور مورد بررسی و مدل‌سازی قرار دادند [۳۷]. هزینه ساعات کاری، تعداد ساعات کاری برای هر هفته و محدودیت روزهای غیرکاری در این مدل‌سازی مورد توجه قرار گرفته شده است.

بهره‌وری متغیر با توجه به نوع کارکنان در پژوهش براسکو<sup>۳۹</sup> و جان<sup>۴۰</sup> مورد مدل‌سازی قرار گرفته شده است. در این پژوهش مسأله زمان‌بندی کارکنان دو مهارته و تمام وقت مورد مدل‌سازی قرار گرفت. در این مدل‌سازی فرض شده است که کارگر با مهارت نوع ۱ چنان‌چه در ایستگاه نیازمند مهارت ۲ کار کند یا برعکس سطح بهره‌وری کارگر عددی بین صفر و ۱

خواهد بود، به عبارت دیگر برای مهارت می‌توان ضریب بهره‌وری در نظر گرفت [۳۸]. در این مقاله بهره‌وری کارکنان به عنوان یک عامل متغیر و متأثر از خستگی کارکنان در مسأله زمان‌بندی کارکنان مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای مدل‌سازی زمان‌بندی خستگی به عنوان عامل متأثر از حجم کاری افراد در نظر گرفته شده است. در این مقاله نرخ بهره‌وری بر مبنای منحنی کار شبیه‌سازی می‌شود تا جدول زمانی و طول شیفت کار مطلوب به دست آید. مدل ارائه شده سعی در کمینه‌سازی هزینه‌های نیروی کار و تأمین کمینه ساعت کاری تعیین شده سازمان دارد. با در نظر گرفتن این مجموعه متغیرهای و محدودیت‌ها مسأله کنونی از نوع مسائل پیچیده (مسأله عدد صحیح و مختلط) که نیازمند استفاده از رویکرد بهینه‌یابی مؤثر برای حل است.

### ۳- تعریف و فرموله کردن مسأله

در این مقاله کارکنان به صورت پاره‌وقت در نظر گرفته شده است. برای هر کارگر هزینه‌های ثابت شامل هزینه رفت و آمد، خدمات و هزینه متغیر شامل حقوق و دستمزد است. گمارش کارکنان غایب به ایستگاه کاری هزینه‌ای بیشتر از گمارش کارکنان حاضر دارد. در این مدل‌سازی نرخ عملکرد تابعی از خستگی ناشی از حجم کاری تخصیص داده شده در نظر گرفته شده است. برای شبیه‌سازی نرخ خروجی کارکنان از منحنی کار و تابع هذلولی<sup>۳۱</sup> استفاده می‌شود. برای هر کارگر محدودیت بیشینه ساعات کاری برای هر روز در نظر گرفته می‌شود. برای مسأله مورد بررسی فرض می‌شود که در هر روز کاری سه شیفت کاری و هر شیفت کاری طول زمانی متغیر بین ۳ تا ۶ ساعت دارد. در این مسأله فرض می‌شود که کارکنان در شیفت کاری ۱ پس از استراحت و خواب شبانه بدون خستگی و با ظرفیت کاری کامل کار را آغاز کنند. مدل ارائه شده بر آن است تعداد کافی از کارکنان بهره‌ور را به شیفت‌های کاری اختصاص دهد، به گونه‌ای که نیازمندی‌های کاری هر شیفت تأمین و در عین حال هزینه کل کارکنان کمینه شود. مسأله مورد بررسی از نوع عدد صحیح و مختلط است.

**۳-۱- مفروضات مدل‌سازی**

مفروضات مدل‌سازی عبارت است از: ۱) تعداد ساعات کاری مورد نیاز برای انجام و تکمیل برنامه‌های کاری مشخص و ثابت بوده و حق تعویق کارها وجود ندارد، ۲) در هر روز کاری برای هر کارگر محدودیت ساعات کاری وجود دارد، ۳) کارکنان هزینه ثابت و متغیر داشته و گمارش کارگر غایب هزینه متغیر بیشتری دارد، ۴) اگر کارگری برای یک روز کاری حاضر است قابلیت گمارش به همه شیفت کاری آن روز وجود دارد، ۵) ظرفیت کاری کارگران متغیر و تابعی از حجم کاری تخصیص یافته به ایشان است، ۶) مدت زمان شیفت کاری متغیر و محدود به بیشینه و کمینه ساعات کاری است، ۷) استراحت قابل توجه بین شیفت‌های کاری وجود ندارد، تأثیر استراحت بین شیفت بر بازیابی قوای کارکنان ناچیز در نظر گرفته شده است، ۸) برای هر روز کاری ۳ شیفت در نظر گرفته شده و چنانچه کارگری به ۲ شیفت گمارش یابد، این دو شیفت باید متوالی باشد، ۹) بیشترین و کمترین ظرفیت کاری هر کارگر مشخص و ثابت است، ۱۰) منحنی کار برای تمام کارکنان یکسان است.

**۳-۲- شاخص‌ها**

$i$ - کارگر ( $i=1,2,\dots,N$ ).

$j$ - شیفت کاری یک روز کاری ( $j=1,2,\dots,M$ ).

$k$ - روز کاری در هفته ( $k=1,2,\dots,6$ ).

**۳-۳- پارامترها**

$FC$  - هزینه ثابت گمارش یک کارگر در روز؛

$VC$  - هزینه متغیر گمارش یک کارگر حاضر در هر ساعت؛

$VC'$  - هزینه متغیر گمارش یک کارگر غایب در هر ساعت؛

$b_{jk}$  - میزان ساعت کاری مورد نیاز برای تکمیل وظایف شیفت  $j$  در روز  $k$ ؛

$wc_{min}$  - ظرفیت کاری یک کارگر پس از ۱۸ ساعت کاری؛

$wc_{max}$  - ظرفیت کاری کارگر در زمان آغاز کار (حالت بدون خستگی)؛

$a_{ik}$  - حضور کارگر  $i$  در روز  $k$  (حضور=۱، حضور نداشتن=۰)؛



- $a_{max}$ : بیشینه ساعات مجاز کاری برای هر کارگر در روز؛
- $t_{min}$ : زمان آغاز کار در منحنی کار؛
- $t_{max}$ : زمان اتمام کار در منحنی کار؛
- $t_{up}$ : حد بالا برای مدت زمان شیفت کاری؛
- $t_{down}$ : حد پایین برای مدت زمان شیفت کاری؛
- $WC_{ijk}$ : ظرفیت کاری تجمعی برای کارگر  $i$  در شیفت  $z$  و روز کاری  $k$ ؛

### ۳-۴- متغیرهای تصمیم

- $$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ اگر کارگر } i \text{ به شیفت کاری } z \text{ در روز کاری } k \text{ گمارش یابد} \\ 0 \text{ در غیر این صورت} \end{array} \right\} : y_{ijk}$$
- $$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ اگر کارگر } i \text{ به روز کاری } k \text{ گمارش یابد} \\ 0 \text{ در غیر این صورت} \end{array} \right\} : x_{ik}$$

$t_{jk}$ : مدت زمان شیفت  $z$  در روز  $k$  که متغیری پیوسته است ( $t_{down} \leq t_{jk} \leq t_{up}$ )

### ۳-۵- فرمول ریاضی مدل زمان‌بندی کارکنان

مجموعه محدودیت‌ها و تابع هدف مدل ریاضی زمان‌بندی کارکنان در جدول ۱ نشان داده شده است. تابع هدف مدل (۱) کمینه‌سازی هزینه‌های کارگران است. محدودیت شماره ۲ اطمینان حاصل می‌کند که تعداد مورد نیاز نیروی کار برای انجام وظایف تخصیص داده شده‌اند. محدودیت ساعات کاری برای هر کارگر توسط محدودیت ۳ کنترل می‌شود. رابطه (۴) نیز ظرفیت کاری تجمعی کارگر  $i$  در شیفت  $z$  و روز  $k$  را محاسبه می‌کند. کران پایین در انتگرال رابطه (۴) برابر با مجموع ساعات کاری تخصیص یافته در شیفت‌های پیش از شیفت  $z$  به کارگر  $i$  در روز  $k$  است. کران بالا در انتگرال رابطه (۴) برابر با مجموع کران پایین و مدت زمان شیفت کاری  $z$  است. از آنجایی که در این مدل‌سازی فرض شده است که استراحت بین شیفت‌های کاری تأثیری ناچیز بر ظرفیت کاری افراد دارد، منحنی کار دارای شکستگی و ناپیوستگی نیست. رابطه (۵) پارامتر ظریب کاهش منحنی کار را محاسبه می‌کند.



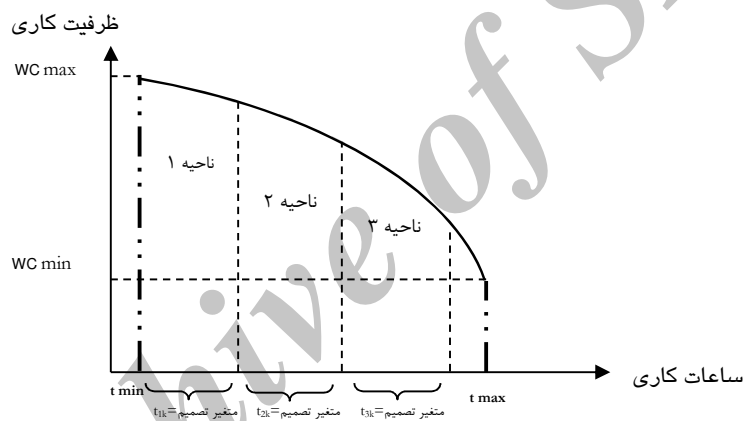
در این مدل‌سازی منحنی کار شکل تابع هذلولی دارد و در شکل ۱ نشان داده شده است. براساس شکل ۱ موارد زیر قابل بیان است: ۱- بهره‌وری نیروی کار گمارش شده به یک شیفت کاری برابر با مساحت ناحیه ۱ است؛ ۲- بهره‌وری نیروی کار گمارش شده به دو شیفت کاری متوالی برابر با مجموع مساحت ناحیه ۱ و ۲ است؛ ۳- بهره‌وری نیروی کار گمارش شده به سه شیفت کاری متوالی برابر با مجموع مساحت ناحیه ۱، ۲ و ۳ است. محدودیت شماره ۶ طول زمان شیفت کاری را محدود به حد بالا و پایین می‌کند. محدودیت ۷ نشان می‌دهد که طول زمان شیفت کاری متغیری مثبت است. شماره‌های ۸ و ۹ نشان می‌دهد که  $x_{ik}$  و  $y_{ijk}$  برابر صفر یا ۱ است. شماره‌های ۱۰، ۱۱ اصلاح‌کننده  $t_{jk}$  و  $y_{ijk}$  است، هنگامی که برابر ۰ و یا ۱- می‌شود.

جدول ۱. مجموعه محدودیت‌ها و تابع هدف مدل ریاضی زمان بندی کارکنان

تابع هدف	۱
محدودیت‌ها	$\text{Minimize } \sum_i^n \sum_j^m \sum_k^l y_{ijk} t_{jk} vca_{ik} + x_{ik} fc + y_{ijk} t_{jk} vc'(1 - a_{ik})$
	$\sum_i^n wc_{ijk} y_{ijk} \geq b_{jk} \quad \forall j, k \quad j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, 6;$
	$\sum_j^m y_{ijk} t_{jk} \leq a \max x_{ik} \quad \forall i, k \quad j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, 6;$
	$wc_{ijk} = \int_{y_{i(j-1)k} t_{(j-1)k} + y_{i(j-2)k} t_{(j-2)k} + t_{jk}}^{y_{i(j-1)k} t_{(j-1)k} + y_{i(j-2)k} t_{(j-2)k} + t_{jk}} (wc \max - (h)^A). dh \quad \forall i, j, k$
	$A = \frac{\ln(wc \max - wc \min)}{\ln(t \max)}$

ادامه جدول ۱

$t_{down} \leq t_{jk} \leq t_{up}$	$\forall j, k$	۶	محدودیت‌ها
$t_{jk} \geq 0$	$\forall j, k$	۷	
$x_{ik} \in \{0,1\}$	$\forall i, k$	۸	
$y_{ijk} \in \{0,1\}$	$\forall i, j, k$	۹	
$y_{ijk} = 0$	$\forall i, k$ and if $j=0$ or $-1$	۱۰	
$t_{jk} = 0$	$\forall k$ and if $j=0$ or $-1$	۱۱	



شکل ۱ منحنی کار با متغیر تصمیم طول مدت زمان شیفت کاری برای مسأله زمان‌بندی نیروی کار

#### ۴- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک رویکرد فرا ابتکاری برای حل بسیاری از مسائل بهینه‌سازی ترکیبی است. الگوریتم ژنتیک نخستین بار توسط هالند<sup>۳۲</sup> در سال ۱۹۷۵ معرفی شد و در مقایسه با روش‌های جستجوی سنتی توانایی فرار از پاسخ‌های بهینه موضعی<sup>۳۳</sup> را دارد. الگوریتم ژنتیک ابتدا با یک جمعیت از پاسخ اولیه (کروموزوم اولیه) فرایند بهینه‌یابی را شروع می‌کند



و برای بهبود فرایند جستجو از عملگرهای جهش و تقاطع<sup>۳۴</sup> استفاده می‌کند.

#### ۴-۱- نمایش کروموزوم

پاسخ مسأله به صورت یک ماتریس با ابعاد  $6 \times (N+3)$  کدنویسی شده که ستون‌های این ماتریس به صورت رابطه (۱۲) است.

$$S_k = [v_1, v_2, v_3, u_1, u_i, u_N], \quad k = 1, 2, \dots, 6; \quad i = 1, 2, \dots, N-1; \quad (12)$$

$v_j$  نشان‌دهنده شیفت‌های کاری ( $j=1,2,3$ ) و مقدار آن غیرمنفی و اعداد حقیقی است.  $u_i$  یک عدد سه رقمی است که نشان‌دهنده گمارش نیروی کار به شیفت‌های کاری است. رقم اول این عدد شیفت ۱، رقم دوم شیفت ۲ و رقم سوم شیفت ۳ را نشان می‌دهد. اگر رقم برابر با ۱ باشد به معنی گمارش و چنانچه برابر با صفر باشد معنی عدم گمارش می‌دهد. ماتریس  $S_k$  سطر (نشان‌دهنده روزهای هفته) و  $N+3$  ستون دارد.

#### ۴-۲- عملگرهای ژنتیک

در این مقاله برای تولید نسل‌های جدید در الگوریتم ژنتیک از عملگرهای تقاطع و جهش دو نقطه‌ای استفاده می‌شود. برای تولید فرزند جدید به واسطه ترکیب والدین، دو والد از طریق استراتژی انتخاب چرخ رولت<sup>۳۵</sup> از میان جمعیت انتخاب می‌شود. برای حفظ کروموزوم‌های مطلوب در هر نسل از استراتژی نخبه‌گرایی<sup>۳۶</sup> استفاده می‌شود.  $P_r$  درصدی از جمعیت است که با استفاده از عملگر نخبه‌گرایی به نسل جدید منتقل می‌شود.  $P_m$  درصدی از جمعیت است که با استفاده از عملگر جهش در نسل جدید تولید می‌شود.  $1 - p_m - p_r$  درصدی از جمعیت است که به وسیله عملگر تقاطع ایجاد می‌شود. برای محاسبه مطلوبیت کروموزوم و انتخاب آن به عنوان بهترین پاسخ برای مدل ریاضی از تابع مدل ریاضی (کمینه‌سازی هزینه‌های نیروی کار) به عنوان تابع برازش الگوریتم ژنتیک استفاده شد. برای ممانعت از انتخاب پاسخ غیرعملی در مجموعه کروموزوم‌های مطلوب از تابع جریمه استفاده شد.

#### ۴-۳- تنظیم پارامتر

تنظیم پارامتر و آزمایش‌های محاسباتی گام‌های اساسی در توسعه هر الگوریتمی است [۲۹]. در این مقاله پارامترهای اندازه جمعیت ( $N$ )، نرخ تقاطع ( $P_c$ )، نرخ جهش ( $P_m$ ) و نرخ نخبه‌گرایی ( $P_r$ ) در سه اندازه مسأله مورد تنظیم قرار گرفت. به منظور جستجوی وسیع‌تر فضای پاسخ نرخ جهش بالاتر تنظیم شد. با توجه به پژوهش‌های گذشته حدود نرخ تقاطع بین ۷۰٪ و ۸۰٪ در نظر گرفته شد که با توجه به بهتر بودن پاسخ‌های نرخ ۷۰٪، نرخ تقاطع در سطح ۷۰٪ در نظر گرفته شد. مجموعه ۱۲ مثال با سه اندازه بزرگی متفاوت تولید و توسط الگوریتم حل شد. پس از تحلیل نتایج بهترین سطح پارامترها برای الگوریتم ژنتیک در جدول ۲ خلاصه شده است.

جدول ۲ پارامترهای الگوریتم ژنتیک و مقادیر آنها

پارامترها				نوع مسأله
$P_r$	$P_m$	$P_c$	$N$	
٪۲۰	٪۱۰	٪۷۰	۵۰	اندازه کوچک
٪۲۰	٪۱۰	٪۷۰	۷۰	اندازه متوسط
٪۲۰	٪۱۰	٪۷۰	۱۰۰	اندازه بزرگ

#### ۵- آزمایش‌ها و بحث

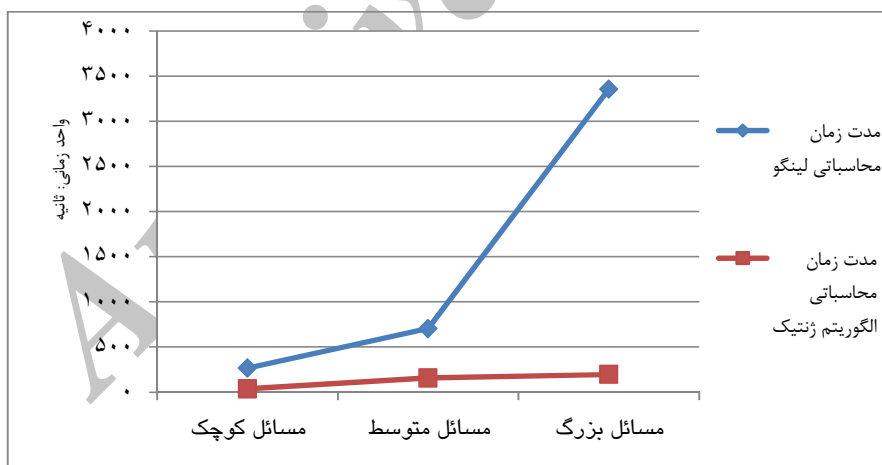
برای آزمایش مدل ارائه شده و تحلیل حساسیت الگوریتم ژنتیک مجموعه‌ای آزمایش‌ها انجام شد. تحلیل حساسیت بر سه نوع مسأله انجام گرفت. مسائل مورد تحلیل در سه دسته کوچک، متوسط و بزرگ طبقه‌بندی شده و ویژگی‌های آن در جدول ۳ ارائه شده است. در این پژوهش چون پژوهش اکبری و همکاران [۱۰] مبنای طبقه‌بندی بزرگی مسأله تعداد کارکنان در مسأله زمان‌بندی است. محدودیت زمان محسباتی برای مسائل بزرگ ۹۰ دقیقه، مسائل متوسط ۳۰ دقیقه و مسائل کوچک ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شد.



جدول ۳ مسائل مورد آزمایش و ویژگی‌های آن‌ها

$a_{max}$	$(t_{up}, t_{down})$	$(t_{min}, t_{max})$	تعداد شیفت‌ها در روز کاری	تعداد روزهای کاری در هفته	تعداد کارکنان	نوع مسأله
۱۲	(۰، ۶)	(۰، ۱۸)	۳	۶	۵	کوچک
۱۲	(۰، ۶)	(۰، ۱۸)	۳	۶	۱۰	متوسط
۱۲	(۰، ۶)	(۰، ۱۸)	۳	۶	۱۵	بزرگ

برای حل مسأله به منظور بررسی عملکرد الگوریتم ژنتیک از نرم‌افزار لینگو استفاده شد و نتایج مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. برای هر نوع مسأله یک بیشینه زمانی پردازش برای روش‌های حل در نظر گرفته شد. برای حل مسأله الگوریتم ژنتیک چندین بار اجرا و بهترین پاسخ و نتایج ثبت شد. ابعاد زمان محاسباتی و مقدار تابع هدف نسبت به پاسخ‌های نرم‌افزار لینگو برای ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک مقایسه شد. رابطه نوع مسأله و مدت زمان محاسباتی در نمودار ۱ به منظور بررسی پیچیدگی مسأله نشان داده شده است.



نمودار ۱ رابطه نوع مسأله و مدت زمان محاسباتی در نرم‌افزار لینگو و الگوریتم ژنتیک

نتایج مقایسه زمان محاسباتی الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار لینگو برای نشان می‌دهد که با افزایش متغیرهای صفر و یک (یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش پیچیدگی مسأله) در مثال‌های ارائه شده مدت زمان محاسباتی افزایش می‌یابد. این افزایش زمان محاسباتی در الگوریتم ژنتیک تا حدی خطی با شیب کم است و برای نرم‌افزار لینگو غیرخطی و مشابه نمایی است. می‌توان نتیجه گرفت پیچیدگی مسأله با افزایش متغیرهای صفر و یک در مسأله زمان‌بندی کارکنان افزایش یافته و روش‌های کلاسیک (دقیق) توان مطلوبی در یافتن پاسخ بهینه ندارد.

تعداد محدودیت‌های مسأله نیز یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر پیچیدگی مسأله است که در این پژوهش دو نوع محدودیت بزرگ‌تر- مساوی و دو نوع محدودیت کوچک‌تر- مساوی مدل‌سازی شده است. تنها عاملی که سبب افزایش تعداد محدودیت می‌شود تعداد متغیرهاست و تأثیر آن بر پیچیدگی مسأله و افزایش زمان محاسباتی در نمودار ۱ نشان داده شده است.

در مدل ریاضی ارائه شده ظرفیت کاری جمع‌ی نیروی کار (تابعی از منحنی کار) ضریب متغیر تصمیم‌گیری گمارش نیروی کار است و امکان دارد کمی زمان محاسباتی را افزایش دهد، ولی با توجه به قدرت رایانه‌های امروزی زمان محاسباتی آن ناچیز است. تابع هدف مدل ریاضی از نوع خطی است و در افزایش پیچیدگی مسأله نقشی ندارد.

جدول ۴ مقایسه عملکرد الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار لینگو با توجه به ابعاد زمان محاسباتی و مقدار تابع هدف (واحد زمان: ثانیه)

مسأله	اندازه مسأله	حداکثر ظرفیت کاری	حداقل ظرفیت کاری	مقدار جواب نرم‌افزار لینگو	مقدار جواب الگوریتم ژنتیک	زمان محاسباتی لینگو	زمان محاسباتی الگوریتم ژنتیک
P1	کوچک	۱۵۰	۵۰	۴۰۹۲۰	۳۹۳۳۳	۶۰	۴۰
P2	کوچک	۱۵۰	۵۰	۵۷۷۷۴	۵۳۲۱۹	۱۲۰	۴۰
P3	کوچک	۱۰۰	۲۰	۷۸۴۶۴	۷۷۴۹۵	۲۷۰	۵۰
P4	کوچک	۱۰۰	۲۰	۸۴۰۶۲	۸۲۹۵۸	۶۱	۲۱
P5	متوسط	۱۰۰	۵۰	۹۵۴۶۹	۹۰۴۸۱	۲۸۵	۱۶۶
P6	متوسط	۱۰۰	۵۰	بدون جواب	۱۰۶۱۵۰	۱۸۰۰	۱۷۴

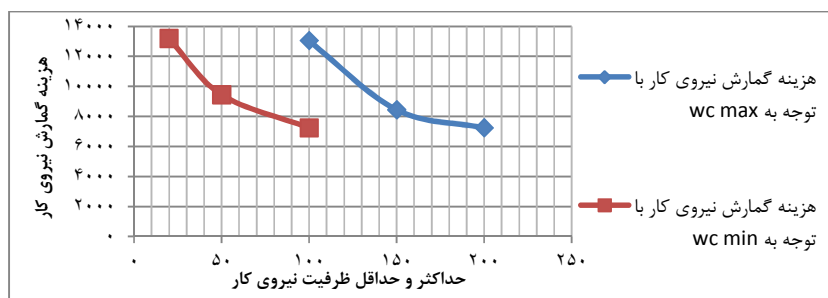
## ادامه جدول ۴

مسئله	اندازه مسأله	حداکثر ظرفیت کاری	حداقل ظرفیت کاری	مقدار جواب نرم افزار لینگو	مقدار جواب الگوریتم ژنتیک	زمان محاسباتی لینگو	زمان محاسباتی الگوریتم ژنتیک
P7	متوسط	۱۵۰	۵۰	۷۵۲۸۷	۷۱۵۸۷	۴۲۰	۱۶۹
P8	متوسط	۱۵۰	۲۰	۷۸۵۱۷	۷۴۶۵۷	۳۱۰	۱۲۴
P9	بزرگ	۱۵۰	۵۰	۱۴۰۵۷۰	۱۳۵۷۸۰	۱۰۲۰	۲۹۸
P10	بزرگ	۱۰۰	۵۰	بدون جواب	۲۰۱۰۶۰	۵۵۸۰	۱۸۷
P11	بزرگ	۲۰۰	۱۰۰	۱۲۰۱۱۶	۱۰۸۵۸۰	۲۸۶۲	۱۲۰
P12	بزرگ	۲۲۰	۵۰	۱۲۴۱۶۳	۱۱۶۱۲۰	۳۹۶۰	۱۸۰

نتیجه آزمایش‌های نشان می‌دهد که در ابعاد کیفیت پاسخ و زمان محاسباتی الگوریتم ژنتیک نسبت به نرم‌افزار لینگو در همه مسائل عملکرد بهتری داشته است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم فرا ابتکاری ارائه شده عملکرد بهتری نسبت به نرم‌افزار لینگو دارد. در طول فرایند جستجو الگوریتم ژنتیک توانایی یافتن پاسخ‌های بهتری نیز داشت که فرایند جستجو به واسطه طولانی‌تر شدن زمان محاسباتی متوقف شده است. براساس جدول ۴ برای مسائل p6 و p10 با وجود زمان محاسباتی بالا نرم‌افزار لینگو نتوانسته است یک پاسخ امکان‌پذیر بیابد. نرم‌افزار لینگو در مقایسه با الگوریتم ژنتیک برای مسأله عدد صحیح و مختلط ارائه شده عملکرد رضایت‌بخش و قابل قبولی ندارد. در طول فرایند جستجوی نرم‌افزار لینگو مشاهده شد که نرم‌افزار مورد استفاده برای مسائل بزرگ و متوسط نتوانست پاسخ اولیه را بهبود دهد. برای بررسی تأثیر اندازه مسأله بر قابلیت الگوریتم ژنتیک در حل مسائل تحلیل حساسیت انجام شد. نتایج نشان داد مدت زمان حل مسأله با بزرگ شدن اندازه مسأله توسط نرم‌افزار لینگو به صورت غیرخطی و نمایی افزایش می‌یابد. در مقابل مدت زمان حل مسأله توسط الگوریتم ژنتیک نسبتاً خطی افزایش می‌یابد. این نشان می‌دهد الگوریتم ژنتیک در جستجوی فضای پاسخ مسائل بزرگ و یافتن پاسخ رضایت‌بخش قابلیت خود را از دست نمی‌دهد. تأثیر حداکثر ظرفیت کاری و حداقل ظرفیت کاری (عوامل تأثیرگذار بر خستگی



کارکنان) بر تابع هدف مدل (هزینه نیروی کار) به منظور تحلیل پارامترهای مسأله در نمودار ۲ نشان داده شده است.



نمودار ۲ رابطه هزینه زمان‌بندی نیروی کار و حداکثر و حداقل ظرفیت نیروی کار

مجموعه مسائل حل شده و نتایج آن در نمودار ۲ نشان می‌دهد با افزایش حداکثر و حداقل ظرفیت نیروی کار هزینه گمارش نیروی کار به صورت غیرخطی کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که کاهش هزینه‌های گمارش نیروی کار با توجه ظرفیت کاری کارکنان روندی نزولی دارد. اگرچه در محیط اجرایی نمی‌توان ظرفیت کاری را به هر میزان افزایش داد، افزایش این ظرفیت می‌تواند هزینه‌افزا (هزینه‌هایی مرتبط با آموزش، گردش شغلی، اتوماسیون و...) باشد. در خصوص مدیریت زمان‌بندی نیروی کار باید تجزیه و تحلیل هزینه‌ها انجام گیرد تا کاهش هزینه‌های گمارش نیروی کار در مقابل افزایش هزینه‌های ظرفیت کاری کارکنان منطقی و به صرفه باشد. نتایج نشان می‌دهد که مدل ارائه شده برای در نظر گرفتن عامل خستگی کارکنان در زمان‌بندی شیفت‌های کاری از قابلیت مطلوبی برخوردار است، مدل ریاضی ارائه شده امکان را به مدیران می‌دهد که مدت زمان مطلوب و کارایی شیفت‌های کاری را با توجه به ضریب خستگی و توان کاری کارکنان تعیین کند. استفاده از این مدل همراه با مدیریت پارامترهای انسانی می‌تواند در بهبود شرایط کاری کارکنان، استفاده بهینه از نیروی انسانی و بهره‌وری سازمان نقش مهمی داشته باشد.



## ۶- نتیجه‌گیری

خستگی عامل مهمی در کاهش عملکرد کارکنان است، از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر خستگی حجم کاری تخصیص داده شده به نیروی کار است. توجه نشان دادن به این عامل در گمارش کارکنان به شیفت‌های کاری برای انجام وظایف امری مهم است. در این مقاله نرخ خستگی نیروی کار در مسأله زمان‌بندی کارکنان مورد توجه و به صورت مسأله عدد صحیح و مختلط مدل‌سازی شد. گمارش کارکنان به شیفت‌های کاری و تعیین مدت زمان شیفت متغیرهای تصمیم این مدل ریاضی با تابع هدف کمینه‌سازی هزینه کارکنان است. کارکنان مورد بررسی در این مطالعه غیرهمگن است. در دنیای واقعی کارکنان در بهره‌وری متفاوت هستند و این تفاوت در این مقاله در قالب خستگی و تأثیر آن بر عملکرد مورد مدل‌سازی قرار گرفته شده است. برای شبیه‌سازی خستگی کارکنان از منحنی کار استفاده شد. در این مطالعه نشان داده شد که می‌توان با در نظر گرفتن خستگی کارکنان و تخصیص کارکنان بهینه هزینه‌های نیروی کار را کاهش داد. الگوریتم ژنتیک برای حل مدل ریاضی ارائه شده مورد استفاده قرار گرفت و نتایج آن با عملکرد نرم‌افزار لینگو مقایسه شد. بدین منظور مجموعه مسائل با ابعاد متفاوت ارائه و حل شد. نتیجه آزمایش‌ها نشان داد که الگوریتم ژنتیک در ابعاد مقدار پاسخ تابع هدف و زمان محاسباتی عملکرد بهتری نسبت به نرم‌افزار لینگو (برنامه‌ریزی ریاضی) دارد. به عبارت دیگر الگوریتم فرا ابتکاری در یافتن پاسخ رضایت‌بخش برای مسأله زمان‌بندی کارکنان قابلیت مطلوبی دارد. برای نتایج الگوریتم ژنتیک تحلیل حساسیت انجام گرفت. این تحلیل حساسیت نشان داد با افزایش اندازه مسأله زمان محاسباتی نرم‌افزار لینگو به صورت غیرخطی و نمایی افزایش یافته، ولی مدت زمان محاسباتی الگوریتم ژنتیک نسبتاً خطی افزایش یافت؛ بنابراین الگوریتم ژنتیک قابلیت خوبی در جستجوی فضای پاسخ حتی برای مسائل بزرگ دارد. برای مقابله با کروموزوم‌های امکان‌ناپذیر در فرایند الگوریتم تابع جریمه در نظر گرفته شد که این امر می‌تواند احتمال همگرایی کامل را کاهش دهد. محقق انتظار دارد که با ارائه یک روش اصلاح کروموزوم ناقص امکان یافتن پاسخ‌های بهتر و داشتن الگوریتم ژنتیک توانمندتر وجود دارد. تحلیل نتایج نشان می‌دهد با کاهش خستگی کارکنان و افزایش ظرفیت کاری آنان هزینه‌های گمارش نیروی کار کاهش می‌یابد. اگرچه کاهش هزینه‌های گمارش کارکنان روندی نزولی دارد و

مدیران باید در نظر داشته باشند که هزینه‌های مرتبط با افزایش ظرفیت کاری چون هزینه‌های آموزش، اتوماسیون و... در مقابل کاهش هزینه‌های زمان‌بندی منطقی و بهینه باشد. مدل ارائه شده با متغیر تصمیم در خصوص مدت زمان شیفت کاری این امکان را به مدیران می‌دهد که با پارامترهای مختلف انسانی تأثیرگذار بر عملکرد کارکنان (عامل خستگی و حد بالا و پایین زمان شیفت کاری) زمان‌بندی بهینه و اقتصادی برای کارکنان ارائه کند. از آنجایی که هزینه‌های پرسنلی یکی از مهم‌ترین هزینه‌های هر سازمان است، مدیران می‌توانند با استفاده از مدل‌های زمان‌بندی مناسب بخش مهمی از هزینه‌های سازمان را کاهش داده و موجب بهینه شدن فرایند تولید و ارائه خدمات شوند.

برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود که از سایر روش‌های فرا ابتکاری استفاده شود. در نظر گرفتن سایر ویژگی‌های تأثیرگذار انسان برای ترکیب مهندسی عوامل انسانی و مسأله زمان‌بندی و ارائه یک مدل جامع‌تر زمان‌بندی کارکنان اجتناب‌ناپذیر است. پیشنهاد می‌شود برای توسعه الگوریتم ژنتیک و افزایش کارایی الگوریتم از روش‌های طراحی آزمایش‌ها و تطبیقی<sup>۳۷</sup> استفاده شود. در این مقاله خستگی نیروی کار (یکی از ویژگی‌های نیروی کار) به عنوان یک عامل کاهشی در عملکرد نیروی کار مورد توجه و مدل‌سازی قرار گرفت و مدل‌سازی سایر ابعاد انسانی در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود. در این تحقیق منحنی کار برای همه کارکنان به صورت مشابه فرض شده است که بررسی این نکته و در نظر گرفتن تفاوت‌ها در رفتار و عملکرد کارکنان در تحقیقات آتی با اهمیت به نظر می‌رسد.

## ۷- پی‌نوشت‌ها

1. LINGO
2. Combinatorial/ Discrete
3. Fatigue
4. Social Well-Being
5. Rosa
6. Eiselt and Marianov
7. Boredom
8. Work Curve
9. Guastello and McGee
10. Cusp Catastrophe
11. Tour Scheduling

12. Topaloglu and Ozkarahan
13. Moondra
14. Bechtold and Jacobs
15. Jacobs and Brusco
16. Stolletz
17. Zamorano
18. Brunner and Bard
19. Bbranch and Price Algorithm
20. Jarrah
21. Rekik
22. Techawiboonwonget
23. Loucks
24. Jacobs
25. Topaloglu
26. Ozkarahan
27. Easton
28. Rossin
29. Brusco
30. Johns
31. Hyperbolic
32. Holland
33. Local Optimum
34. Crossover and Mutation Operators
35. Roulette Wheel Selection Strategy
36. Elitism
37. Adaptive Method

#### ۸- منابع

- [1] Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., and Sier, D., Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research*, 153 (2004), pp. 3–27.
- [2] Glover, F., McMillan, C., The general employee scheduling problem: An integration of management science and artificial intelligence. *Computers & Operations Research*, 13 (1986), pp. 563–593.
- [3] Thompson, G.M., Goodale, J.C., Variable employee productivity in workforce scheduling. *European Journal of Operational Research*, 170 (2006), pp. 376–390.

- [4] Lodree, E.J., Geiger C.D., Jiang, X., Taxonomy for integrating scheduling theory and human factors: Review and research opportunities. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39 1 (2009), pp. 39–51.
- [5] Guastello, S.J., *Human factors engineering and ergonomics: a systems approach*, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, (2006).
- [6] Niebel, B.W., *Motion and time study: an introduction to methods, time study, and wage payment*, RICHARD D. IRWIN, INC, HOMEWOOD, ILLINOIS, (1958).
- [7] Ku, C.H., Smith, M.J., Organizational factors and scheduling in locomotive engineers and conductors: Effects on fatigue, health and social well-being. *Applied Ergonomics*, 41 1 (2010), pp.62–71.
- [8] ROSA, R.R., Extended work shifts and excessive fatigue. *Journal of Sleep Research*, 4 (1995), pp. 51-56.
- [9] Eiselt, H.A., Marianov, V., Employee positioning and workload allocation. *Computers & Operations Research*, 35 (2008), pp. 513–524.
- [10] Akbari, M., Zandieh, M., Dorri, B., Scheduling part-time and mixed-skilled workers to maximize employee satisfaction. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64 5-8 (2013), pp. 1017-1027
- [11] Florence, P.S., *Economics of fatigue and unrest and the efficiency of labour in English and American industry*, Cornell University, New York: H. Holt and Co., (2003)
- [12] Guastello S.J., McGee, D.W., Mathematical modeling of fatigue in physically demanding jobs. *Journal of Mathematical Psychology*, 31 3 (1987), pp. 248 – 269.
- [13] Baker, K.R., Workforce allocation in cyclic scheduling problems: A survey. *Operational research quarterly*, 27 1 (1976), pp. 155\_167.
- [14] Alfares, H.K., Survey, Categorization, and Comparison of Recent Tour Scheduling Literature. *Annals of Operations Research*, 127 1-4 (2004), pp. 145–175.
- [15] Avramidis, A.N., Chan, W., Gendreau, M., L'Ecuyer, P., Pisacane, O., Optimizing daily agent scheduling in a multiskill call center, *European Journal of Operational Research* 200 (2010) 822–832.

- [16] Bhulai, S., Koole, G., Pot, A., Simple methods for shift scheduling in Multiskill call centers, *Manufacturing & Service Operations Management* 10 (2008) 411–420.
- [17] Topaloglu, S., Ozkarahan, I., An Implicit Goal Programming Model for the Tour Scheduling Problem Considering the Employee Work Preferences. *Annals of Operations Research*, 128 1-4 (2004), pp. 135–158.
- [18] Moondra, S.L., An LP model for work force scheduling for banks. *Journal of Bank Research*, 7 4 (1976), pp. 299–301.
- [19] Bechtold, S.E., Jacobs, L.W., Implicit modeling of flexible break assignments in optimal shift scheduling. *Management Science*, 36 11 (1990), pp. 1339–1351.
- [20] Thompson, G.M., Improved Implicit Optimal Modeling of the Labor Shift Scheduling Problem. *Management Science*, 41 4 (1995), pp. 595-607.
- [21] Jacobs, L.W., Brusco, M.J., Overlapping start-time bands in implicit tour scheduling. *Management Science*, 42 9 (1996), pp. 1247–1259.
- [22] Brusco, M.J., Jacobs, L.W., Personnel tour scheduling when starting-time restriction are present. *Management Science*, 44 4 (1998), pp. 534–547.
- [23] Stolletz, R., Operational workforce planning for check-in counters at airports. *Transportation Research Part E – Logistics and Transportation Review* 46 (2010), pp. 414–425.
- [24] Stolletz, R., Brunner, J.O., Fair optimization of fortnightly physician schedules with flexible shifts. *European Journal of Operational Research*, 219 (2012), pp. 622–629
- [25] Stolletz, R., Zamorano, E., A rolling planning horizon heuristic for scheduling agents with different qualifications. *Transportation Research Part E*, 68 (2014), pp. 39–52.
- [26] Brunner, J.O., Bard, J.F., Flexible weekly tour scheduling for postal service workers using a branch and price. *Journal of Scheduling*, 16 (2013), pp. 129-149.
- [27] Jarrah, A.I.Z., Bard, J.F., deSilva, A.H., Solving large-scale tour scheduling problems. *Management Science*, 40 9 (1994), pp. 1124–1144.
- [28] Brusco, M.J., Solving personnel tour scheduling problems using the dual all-integer cutting plane. *IIE Transactions*, 30 9 (1998), pp. 835\_844.

- [29] Rekik, M., Cordeau, J.F., Soumis, F., Using Benders Decomposition to Implicitly Model Tour Scheduling. *Annals of Operations Research*, 128 1-4 (2004), pp.111–133.
- [30] Zolfaghari, S., Vinh, Q., El-Bouri, A., Khashayardoust, M., Application of a genetic algorithm to staff scheduling in retail sector, *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 5 (2010) 20–47.
- [31] Baker, K., Scheduling a Full-Time Workforce to Meet Cyclic Staffing Requirements. *Management Science*, 20 12 (1974), pp. 1561–1568.
- [32] Vakharia, A.J., Selim H.S., Husted, R.R., Efficient scheduling of part-time employees. *Omega*, 20 2 (1992), pp. 201–213.
- [33] Techawiboonwong, A., Yenradee, P., Das, S.K., A master scheduling model with skilled and unskilled temporary workers. *International Journal of Production Economics*, 103 2 (2006), pp. 798–809.
- [34] Loucks, J.S., Jacobs, F.R., Tour Scheduling and Task Assignment of a Heterogeneous Work Force: A Heuristic Approach. *Decision Sciences*, 22 4 (2007), pp. 719 – 738.
- [35] Van den Bergh, J., Beliën, J., De Bruecker, P., Demeulemeester, E., De Boeck, L., Personnel scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 22 6 (2013), pp. 367–385.
- [36] Easton, F.F., Rossin, D.F., Sufficient working subsets for the tour scheduling problem. *Management Science*, 37 11 (1991), pp. 1441-1451.
- [37] Li, C., Robinson, E.P., Mabert, V.A., An Evaluation of Tour Scheduling Heuristics with Differences in Employee Productivity and Cost. *Decision Sciences*, 22 4 (1991), pp. 700–718.
- [38] Brusco, M.J., Johns, T.R., Staffing a Multi-skilled Workforce with Varying Levels of Productivity: An Analysis of Cross-training Policies. *Decision Sciences*, 29 2 (1998), pp. 499–515.