

زمان‌بندی دو هدفه شیفت کاری و گردش شغلی کارکنان چند مهارته با رویکرد مهندسی عوامل انسانی

بهروز دری^{۱*}، محمد اکبری^۲، مصطفی زندیه^۳

۱. دانشیار مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. استادیار مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

پذیرش: ۹۱/۱۱/۲

دریافت: ۹۱/۵/۱۰

چکیده

هدف این پژوهش ارائه یک رویکرد بهینه‌یابی برای مسئله دو هدفه زمان‌بندی شیفت کاری و گردش شغلی به منظور بهره‌برداری از عملکرد بهینه کارکنان است. در این مقاله مسئله زمان‌بندی شیفت کاری و گردش شغلی کارکنان به صورت همزمان با اهداف کمینه‌سازی هزینه‌های نیروی کار و بیشینه‌سازی تعداد گردش شغلی کارکنان بررسی شده است. همچنین عوامل خستگی، یادگیری و فراموشی کارکنان که بر عملکرد آنان تأثیرگذار است نیز مدل‌سازی شده است. مدل ارائه شده از نوع عدد صحیح مختلط و غیر خطی بوده و برای حل مدل ریاضی و ترسیم مرز پارتو از الگوریتم ژنتیک و روش ϵ -محدودیت استفاده شد.

برای بررسی کارایی الگوریتم ارائه شده، عملکرد الگوریتم ژنتیک با عملکرد نرم افزار لینگو مقایسه شد. نتایج نشان داد که عملکرد الگوریتم ژنتیک از لحاظ مدت زمان محاسباتی و مقدار تابع هدف بهتر از عملکرد نرم افزار لینگو است. برای بررسی رابطه بین توابع هدف مدل ریاضی، مجموعه مسائل مختلف با پارامترهای متفاوت با استفاده از الگوریتم ارائه شده حل شد. تحلیل مرز پارتو برای مسائل نشان داد که بین توابع هدف مسئله، رابطه متضاد وجود دارد. بنابراین در نظر گرفتن عوامل انسانی تأثیرگذار بر عملکرد کارکنان، بهتر است برنامه‌ریزی شیفت کاری و گردش شغلی به صورت همزمان انجام شود. نتایج همچنین نشان داد که روش بهینه‌یابی ارائه شده قابلیت ارائه گزینه‌های تصمیم‌گیری مناسب با توجه به سیاست‌های کاهش هزینه، افزایش تنوع شغلی و آموزش کارکنان چندمهارتی را دارد.



کلیدواژه‌ها: زمان‌بندی کارکنان، گردش شغلی، عوامل انسانی، الگوریتم ژنتیک، روش E-محدودیت.

۱- مقدمه

تهیه جدول زمانی مطلوب برای شیفت‌های کاری و گردش شغلی کارکنان با رویکرد مهندسی عوامل انسانی نیازمند توجه دقیق به ویژگی‌های کارکنان همچون رضایت، سلامت، استرس، انگیزش و... است. برای افزایش رضایت و سلامت کارکنان استفاده از زمان‌بندی گردش شغلی و کارکنان چند مهارتی روشی بسیار مناسب است. اما هزینه‌های ناشی از جابه‌جایی موجب افزایش هزینه‌های سازمان می‌شود. در بسیاری از پژوهش‌ها اهداف مرتبط با نیروی کار همچون سلامت و رضایت نیروی کار، جدا از اهداف سازمانی همچون کمینه‌سازی هزینه‌ها در نظر گرفته شده که این جداسازی هدف‌ها، زمانی که هدف‌ها مقایسه با یکدیگر باشند، نمی‌تواند مفید و مناسب باشد. بنابراین توجه به مسئله زمان‌بندی شیفت کاری با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها و توجه به مسئله زمان‌بندی گردش شغلی با هدف بیشینه‌سازی تنوع و گردش شغلی نیازمند رویکرد مؤثر است.

از این رو در این مقاله دو حوزه علمی زمان‌بندی شیفت کاری و گردش شغلی کارکنان به صورت همزمان و با در نظر گرفتن تأثیرات مفاهیم یادگیری، فراموشی و خستگی نیروی کار بر کارایی کارکنان مدلسازی برای حل آن از الگوریتم ترکیبی ژنتیک و روش E-محدودیت استفاده شده است.

۲- پیشینه پژوهش

۲-۱- عوامل انسانی در زمان‌بندی کارکنان

تئوری زمان‌بندی کلاسیک برای مسائل توالی فعالیت‌های نیروی کار به کار می‌رود و در پیشینه پژوهش معمولاً ویژگی‌های انسانی^۱ ارگونومیک (همچون خستگی، استرس و ...) و تأثیر آن بر مسائل زمان‌بندی شیفت کاری نیروی کار در نظر گرفته نشده است. حتی با وجود اینکه تحقیقات مهندسی عوامل انسانی نشان داده است که انسان ویژگی‌های مختص به خود دارد که آن را از سایر عوامل تولید متمایز می‌سازد [۱]. بنابراین بسیاری از فرض‌های مربوط به منابع تولید در زمان‌بندی کلاسیک برای زمان‌بندی و تعیین توالی کارهای کارکنان

مناسب و کاربردی نمی‌باشد.

بعضی از عوامل تأثیرگذار انسانی بر کارایی کارکنان عبارتند از بی‌ثباتی زمان‌های کاری در ۲۴ ساعت کاری^۲، خستگی، استرس، انگیزتگی^۳ و حجم کاری [۲]. تپاس و همکاران و همچنین ویکنز و همکاران عوامل تنش‌زای محیطی، روانی و فیزیولوژی را مشخص کرده‌اند که عملکرد^۴ را به صورت مستقیم و غیر مستقیم کاهش می‌دهد [۳]. از جمله عوامل دیگری که بر عملکرد کارکنان تأثیرگذار است، عبارتند از فراموشی و یادگیری مهارت، تفاوت‌های فردی و محدودیت‌های انسانی [۲، صص ۳۹-۵۱].

در زمان‌بندی نیروی کار ابعاد مختلفی از نیروی انسانی بررسی شده است. کارایی و رضایت نیروی کار در مقاله [۴] و همچنین به‌وسیله ایستون و روسین^۵ در سال ۱۹۹۱ برای مدلسازی زمان‌بندی مورد مطالعه قرار گرفته شده است [۵]. لی و همکارانش^۶ نیز ابعاد کارایی متفاوت، هزینه ساعت کاری، تعداد ساعات کاری به ازای هر هفته و محدودیت روزهای غیر کاری در مسئله زمان‌بندی نیروی کار را مورد بررسی قرار داده‌اند [۶]. براسکو و جانز در مسئله زمان‌بندی، کارکنان تمام وقت و دو مهارته را مدلسازی کرده‌اند [۷]. کارکنان با کارایی نسبی^۷ در مقاله [۸] و گروه‌های کاری با نرخ کارایی متفاوت نیز در مقاله [۹] مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

در این مقالات کارایی کارکنان به عنوان یک پارامتر از پیش تعیین شده و مشخص^۸ در نظر گرفته شده است. الگوی ترجیحی کارکنان در تخصیص شیفت‌های کاری و برنامه‌ریزی برای گروه‌های کاری با استفاده از الگوریتم آنیلینگ شبیه‌سازی^۹ (SA) به‌وسیله توکلی مقدم و همکاران بررسی شده است.

نتایج این مطالعه نشان داد که الگوریتم فراابتکاری استفاده شده نسبت به نرم‌افزار لینگو^{۱۰} توان بالاتری در حل مسائل زمان‌بندی شیفت کاری و از نوع NP-Complete دارد [۱۰]. برنامه‌ریزی برای نیروی کار چند مهارته با تأکید بر مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح در مقاله [۱۱] بررسی شده و نوآوری ارائه شده در این پژوهش برنامه‌ریزی برای تمامی ترکیب‌های زمان‌بندی تعمیرات پیشگیرانه در حالت نیروی کار چند مهارتی و تک مهارتی است. مدلسازی تجربه، تخصیص و مطلوبیت افراد در زمان‌بندی نیروی انسانی در پژوهش



[۱۲] بررسی شد و نتایج استفاده از الگوریتم ژنتیک نشان داد که این الگوریتم توانایی مطلوبی در جستجوی فضای جواب و یافتن جواب نزدیک بهینه دارد. در پژوهش [۱۳] نشان داده شد که برای زمان‌بندی بهینه و دقیق‌تر می‌توان عوامل انسانی تأثیرگذار بر عملکرد افراد (خستگی) را به صورت عینی و متغیر در مدلسازی زمان‌بندی کارکنان در نظر گرفت. علی‌رغم مقاله‌های متعدد در حوزه زمان‌بندی نیروی کار، پژوهش‌های محدودی عوامل انسانی و در نتیجه تغییرپذیری کارایی/خروجی^{۱۱} کارکنان را در مسئله زمان‌بندی کارکنان مورد بررسی قرار داده‌اند.

۲-۲- زمان‌بندی گردش شغلی کارکنان

گردش شغلی عبارت است از جابه‌جایی افقی کارکنان در ایستگاه‌های کاری مختلف به گونه‌ای که هر ایستگاه کاری نیازمند مهارت‌ها و مسئولیت‌های مختلف است. مدلسازی ریاضی زمان‌بندی‌گردش شغلی با اهداف، زمینه‌ها و رویکردهای مختلفی در مقاله‌های متعدد بررسی شده است. گردش شغلی در سلول‌های تولیدی و با در نظر گرفتن مهارت‌های فنی و انسانی^{۱۲} توسط وارنر و همکاران^{۱۳} در سال ۱۹۹۷ مورد بررسی قرار گرفته شده است. در این پژوهش مهارت‌های فنی به‌عنوان قابلیت‌های اندازه‌گیری، ریاضی و مکانیکی و مهارت‌های انسانی به‌عنوان مهارت‌های ارتباطی رهبری، کار گروهی و قابلیت تصمیم‌گیری تعریف و توصیف شد [۱۴]. در ادامه همین مقاله وارنر و همکارانش در سال ۲۰۰۲ یک مدل مبتنی بر گروه برای گمارش کارکنان در سلول‌های تولیدی ارائه کرد و در آن نشان داد که اگر مهارت‌های انسانی به صورت عینی در برنامه‌های آموزشی و استراتژی گمارش کارکنان در نظر گرفته شود، عملکرد سلول‌های تولیدی بسیار بهبود پیدا می‌کند. در پژوهش [۱۵] انعطاف‌پذیری کارکنان در انجام کارها و همچنین کارایی کارکنان مورد توجه قرار گرفته و تمرکز اصلی آن بر تأثیر توزیع انعطاف‌پذیری کارکنان بر عملکرد گروه کاری است. گمارش و گردش کارکنان چند وظیفه‌ای در مرکز خدمات در [۱۶]، چرخش شغلی و گمارش کارکنان موقت به ایستگاه‌های مهارتی و غیر مهارتی در [۱۷]، و تقاضای کارکنان، نیازمندی‌های مهارتی برای گردش شغلی با هدف کمیته‌سازی هزینه خالص فعلی در [۱۸] مطالعه شده است.

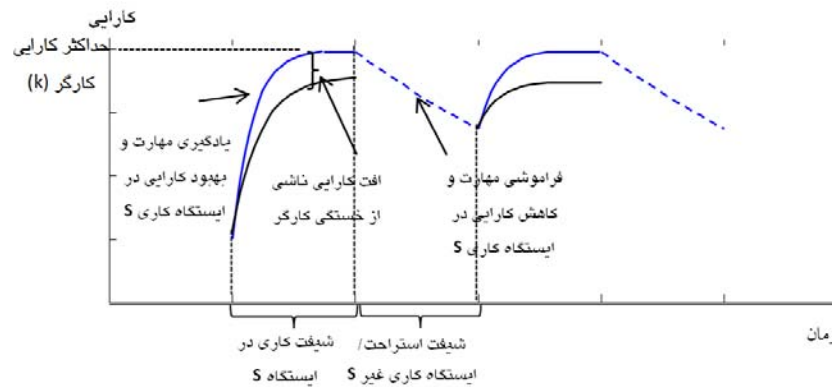
کارناهان^{۱۴} و همکارانش اولین محققانی بودند که با هدف بهینه‌سازی معیارهای ارگونومیکی از روش تحقیق در عملیات تعیین جدول زمانی گردش شغلی استفاده کردند. کارناهان و همکاران در مقاله بعدی خود عوامل انسانی همچون خستگی کارگر را در متعادل‌سازی خط مونتاژ در نظر گرفته است [۱۹].

یکی دیگر از عوامل انسانی و ارگونومیکی که در گردش شغلی در نظر گرفته شده است، شدت صدا و چرخش کارکنان در کارها به‌منظور کمینه‌سازی فشار شدت صدا در ایستگاه‌های کاری است. پژوهش [۲۰] به صورت کمی تفاوت در مدت زمان گردش شغلی^{۱۵} را با هدف کاهش استرس مورد بررسی قرار داده است. مدلسازی ریاضی دو هدفه با هدف اولیه کمینه‌سازی هزینه کل گمارش کارکنان و هدف ثانویه کمینه‌سازی خستگی کارکنان نیز مورد مطالعه قرار گرفته شده است [۲۱]. از آنجایی که در گردش شغلی کارکنان عوامل متعددی تأثیرگذار است، کمبود مدلسازی هم‌زمان چندین عامل در بسیاری از پژوهش‌ها آشکار است. برای رفع این مشکل بعضی از پژوهش‌ها همچون [۲۲] معیارهای بسیار زیادی را برای گردش شغلی در نظر گرفته است. عزیزی، نولفقاری و لیانگ^{۱۶} نیز در مقاله [۲۳] به بررسی عوامل کسالت، یادگیری و فراموشی کارگر در زمان‌بندی گردش شغلی مناسب پرداخته است. در پیشینه پژوهش عوامل انسانی یادگیری، خستگی و فراموشی به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر عملکرد کارکنان به صورت هم‌زمان بررسی نشده است. همچنین با توجه به مرتبط بودن حوزه زمان‌بندی نیروی کار و گردش شغلی، مدلسازی زمان‌بندی شغلی‌های کاری و گردش شغلی کارکنان به صورت هم‌زمان و در قالب یک مدل امری ضروری به نظر می‌رسد.

در این مقاله کارایی کارکنان به صورت متغیر و تابع پیوسته‌ای از خستگی کارکنان در نظر گرفته می‌شود. همچنین برای بررسی اثر عوامل یادگیری و فراموشی بر زمان‌بندی و گردش شغلی کارکنان از توابع نمایی و توان‌دار در مدلسازی ریاضی زمان‌بندی استفاده می‌شود. در نظر گرفتن خستگی و آثار آن در زمان‌بندی کارکنان می‌تواند از راه کاهش خستگی و گمارش کارکنان بهره‌ور موجب بهبود عملکرد و سلامت کارکنان و در نتیجه عملکرد سازمان شود. در این پژوهش با استفاده از تابع یادگیری و فراموشی کارایی فرد در



طول شیفت کاری محاسبه شده و سپس این مقدار کارایی با در نظر گرفتن میزان کاهش کارایی فرد بر اثر خستگی اصلاح می‌شود. به این منظور کاهش کارایی ناشی از خستگی در یک شیفت کاری به صورت درصد محاسبه شده و در کارایی فرد ضرب می‌شود. کارایی نیروی کار در طول شیفت‌های کاری S و غیر S و شیفت‌های غیرکاری در شکل ۱ به صورت ترسیمی نشان داده شده است.



شکل ۱ کارایی نیروی کار در شیفت‌های کاری و غیرکاری با توجه به یادگیری، فراموشی و خستگی

توابع هدف مدل ریاضی این مقاله کمینه‌سازیهزینه کارکنان و بیشینه سازی تعداد گردش شغلی کارکنان است. زمان‌بندی شیفت کاری و گردش شغلی کارکنان به صورت همزمان و کارایی‌متغیر ناشی از یادگیری، فراموشی و خستگی مهم‌ترین ویژگی‌های مدلسازی زمان‌بندی نیروی کار در این مقاله است. با در نظر گرفتن این ویژگی‌ها، مدل ریاضی از نوع برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و غیر خطی^{۱۷} و دو هدفه است.

۳- مدلسازی ریاضی زمان‌بندی شیفت کاری و گردش شغلی کارکنان

در این پژوهش مسئله زمان‌بندی شیفت‌های کاری و گردش شغلی کارکنان تمام وقت و چند مهارته به صورت همزمان بررسی می‌شود. برای هر کارگر و برای حضور در هر روز کاری هزینه ثابت و هزینه متغیر در نظر گرفته شده و هزینه متغیر بر اساس میزان ساعت‌های کاری هر روز کاری محاسبه می‌شود. خطوط کاری متشکل از s ایستگاه کاری است که هر ایستگاه کاری نیاز به مهارت خاصی دارد. نرخ یادگیری و در نتیجه نرخ تولید کارکنان با انجام کارهای تکراری افزایش پیدا می‌کند. فراموشی مهارت کارگر به علت دور بودن از کار مربوط به آن اتفاق افتاده و به صورت نمایی موجب کاهش عملکرد فرد می‌شود. میزان ساعت‌های کاری مجاز برای هر فرد در هر روز کاری مقدار مشخصی است، همچنین نمی‌توان فرد را همزمان به دو ایستگاه کاری گمارش کرد. در این مدلسازی به دنبال کمینه کردن هزینه‌های گمارش و بیشینه‌سازی تعداد گردش شغلی کارکنان می‌باشیم. برای مدلسازی ریاضی زمان‌بندی کارکنان شاخص‌ها و پارامترهای مربوطه به صورت زیر تعریف می‌شود.

۳-۱- شاخص‌ها^۱

$i =$ شاخص کارکنان ($i=1,2,\dots,N$)

$j =$ شاخص شیفت کاری در روز ($j=1,2,\dots,M$)

$s =$ شاخص ایستگاه کاری ($s=1,2,\dots,S$)

$k =$ شاخص روز کاری در یک هفته ($k=1,2,\dots,6$)

۳-۲- پارامترها

$fc =$ هزینه ثابت گمارش یک اپراتور در روز، $vc =$ هزینه متغیر گمارش یک کارگر به ازای هر

ساعت

$b_{jk} =$ مقدار تولید لازم برای هر شیفت کاری j در روز k

$max wc =$ حداکثر عملکرد فرد در حالت یادگیری کامل در شروع زمان کاری یک روز



کاری

$wc \min =$ حداکثر عملکرد فرد در حالت یادگیری کامل پس از گذشت مدت زمان $t \max$

$a \max =$ حداکثر ساعت های کاری مجاز برای هر اپراتور در یک روز کاری

$t \min =$ زمان شروع کار در منحنی کار، $t \max =$ زمان پایان کار در منحنی کار

$t_{jk} =$ مدت زمان شیفت j در روز k

$\beta_s =$ پارامتر فراموشی که نشان دهنده درجه ای است که فرد مهارت در انجام وظیفه در

ایستگاه کاری s را فراموش می کند.

$r_s =$ تعداد تولید مورد نیاز برای رسیدن به سطح تولید $k/2$ در ایستگاه کاری s

$p_{ijsk} =$ تجربه گذشته اپراتور i در شیفت j ، در ایستگاه کاری s ، در روز کاری k

$d_{ijsk} =$ میزان زمان دوری از کار در ایستگاه کاری s ، برای اپراتور i زمان گمارش در

شیفت j و در روز کاری k

$L_{ijsk} =$ کارایی ناشی از یادگیری مهارت برای اپراتور i در شیفت j ، ایستگاه کاری s و در

روز کاری k

$x_{ijsk}^d =$ میزان ساعت های کاری انجام شده به وسیله اپراتور i در ایستگاه کاری s زمان

ترک آخرین شیفت کاری قبل از شیفت j و در روز کاری k

$p_{ijsk}^d =$ تجربه مشابه اپراتور i در ایستگاه کاری s زمان ترک آخرین شیفت کاری گمارش

یافته قبل از شیفت j و در روز کاری k

$u_{ijsk} =$ کارایی ناشی از خستگی اپراتور i در شیفت j ، ایستگاه کاری s و در روز کاری k

$\gamma_{ijsk} =$ درصد کاهش کارایی به علت خستگی برای اپراتور i در شیفت کاری j ، ایستگاه

کاری s و در روز کاری k

۳-۳- متغیرها

۱ اگر اپراتور i به شیفت j ، ایستگاه کاری s در روز k گمارش یابد
۰ در غیر این صورت } y_{ijsk}

۱ اگر اپراتور i حداقل یکبار در هفته به ایستگاه کاری s گمارش یابد
۰ در غیر این صورت } x_{ik}

$$\left. \begin{array}{l} ۱ \text{ اگر اپراتور } i \text{ در روز } k \text{ گمارش یابد} \\ ۰ \text{ در غیر اینصورت} \end{array} \right\} = R_{is}$$

R_i = تعداد دستگاه‌های متفاوتی که اپراتور i در آنها گمارش یافته است

WC_{ijsk} = نرخ تولید جمعی اپراتور i در شیفت کاری j ، ایستگاه کاری s و در روز کاری k

۴- مدل ریاضی دو هدفه مسئله زمان‌بندی شیفت کاری-گردش شغلی

کارکنان

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{s=1}^q \sum_{k=1}^l [vct_{jk} y_{ijsk} + fcX_{ik}] \quad (۱)$$

$$\text{Maximize } \sum_{i=1}^n R_i \quad (۲)$$

subject to

$$\sum_{s=1}^q y_{ijsk} \leq 1 \quad \forall j, s, k \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; s = 1, 2, \dots, q; k = 1, 2, \dots, l \quad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^n wc_{ijsk} y_{ijsk} \geq b_{jsk} \quad \forall j, s, k \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; s = 1, 2, \dots, q; k = 1, 2, \dots, l \quad (۴)$$

$$\sum_{j=1}^m y_{ijsk} t_{jk} \leq a_{\max} X_{ik} \quad \forall i, s, k \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; s = 1, 2, \dots, q; k = 1, 2, \dots, l \quad (۵)$$

$$wc_{ijsk} = L_{ijsk} \gamma_{ijsk} \quad \forall i, j, s, k \quad (۶)$$

$$L_{ijsk} = \frac{\sum_{k=1}^{x=y_{i(j-1)sk}t_{(j-1)k} + y_{i(j-1)sk}t_{(j-1)k} + \dots + t_{jk}} k[(x_{ijsk} + p_{ijsk}) / (x_{ijsk} + p_{ijsk} + r_s)]}{\sum_{k=1}^{x=y_{i(j-1)sk}t_{(j-1)k} + y_{i(j-1)sk}t_{(j-1)k} + \dots} k[(x_{ijsk} + p_{ijsk}) / (x_{ijsk} + p_{ijsk} + r_s)]} \quad \forall i, j, s, k \quad (۷)$$

$$p_{ijsk} = (x_{ijsk}^d + p_{ijsk}^d) e^{\beta_i (-d_{ijk})} \quad \forall i, j, s, k \quad (۸)$$

$$u_{ijsk} = wc_{\max} - (t_{(j-1)k} y_{i(j-1)sk} + t_{(j-1)k} y_{i(j-1)sk} - t_{jk} y_{ijsk})^A \quad \forall i, j, s, k \quad (۹)$$

$$A = \frac{\ln(wc_{\max} - wc_{\min})}{\ln(t_{\max})} \quad (۱۰)$$

$$\gamma_{ijsk} = \frac{u_{ijsk}}{wc_{\max}} \quad \forall i, j, s, k \quad (۱۱)$$

$$R_{is} \leq \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l y_{ijsk} \quad \forall i, s \quad (۱۲)$$



$$R_i = \sum_{s=1}^q R_{is} \quad \forall i \quad (13)$$

$$X_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i, k \quad (14)$$

$$y_{ijsk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, s, k \quad (15)$$

$$y_{ijsk} = 0 \quad \forall i, k \text{ and if } j = 0 \text{ or } -1 \quad (16)$$

$$w_{ijsk} \geq 0 \quad \forall i, j, s, k \quad (17)$$

$$R_{is} \in \{0, 1\} \quad \forall i, s \quad (18)$$

$$R_i \in Z \quad (19)$$

$$t_{jk} = 0 \quad \forall k \text{ and if } j \leq 0 \quad (19)$$

$$y_{ijsk} = 0 \quad \text{if } k \leq 0 \quad (20)$$

در مدل ارائه شده معادله ۱ تابع هدف کمینه‌سازی هزینه‌های نیروی کار و معادله ۲ تابع هدف بیشینه‌سازی تعداد گردش شغلی کارکنان است. محدودیت شماره ۳ مانع از گمارش همزمان کارکنان به دو یا چند ایستگاه کاری می‌شود. محدودیت شماره ۴ تضمین می‌کند که تعداد خروجی لازم برای هر ایستگاه کاری از راه گمارش کارکنان برآورده می‌شود. محدودیت شماره ۵ نیز تعداد ساعت‌های تخصیصی به هر کارگر در هر روز کاری را محدود می‌کند. معادله شماره ۶ خروجی نهایی هر یک از اپراتورها را برای هر ایستگاه کاری محاسبه می‌کند. در معادله‌های شماره ۷ و ۸ تأثیر یادگیری و در معادله‌های شماره ۹ و ۱۰ تأثیر خستگی بر نرخ خروجی اپراتورها محاسبه می‌شود. معادله شماره ۱۱، درصد خستگی اپراتور در هر ایستگاه، شیفت و روزهای کاری را محاسبه می‌کند. معادله ۱۲ و ۱۳ تعداد تنوع گردش شغلی را برای کارکنان محاسبه می‌کند. سایر محدودیت‌ها نیز ماهیت متغیرها را مشخص می‌کند.

۵- الگوریتم ترکیبی ژنتیک و E-محدودیت برای مسئله دو هدفه

در پیشینه پژوهش مسائل زمان‌بندی نیروی کار جزو مسائل NP-Complete است. زمانی که در مسئله زمان‌بندی، نیروی کار ناهمگن (همچون چند مهارتی، نرخ بهره‌وری متفاوت و ...) وجود داشته باشد، حل مسئله سخت‌تر می‌شود. از جمله موارد دیگری که بر سختی حل مسائل زمان‌بندی نیروی کار می‌افزاید، ماهیت گسسته بودن متغیر تصمیم و همچنین نامتناوب بودن الگوی کاری کارکنان است [۲۴]. با توجه به ویژگی‌های مدل ارائه شده، مدل

زمان‌بندی شیفت کاری کارکنان در این پژوهش از نوع NP-Complete بوده که برای حل آن نیازمند روش کارا می‌باشیم. الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های فراابتکاری است که در حل مسائل پیچیده بسیار کارا و مؤثر است و در سال‌های اخیر در حل بسیاری از مسائل پیچیده مورد استفاده قرار گرفته شده است.

یکی از روش‌هایی که می‌تواند همه راه‌حل‌های بهینه حتی در مسائل بهینه‌سازی گسسته و غیرمحدب را بیابد روش ϵ -محدودیت است. این روش مبتنی بر بهینه‌کردن یکی از اهداف سپس قرار دادن آن هدف به صورت محدودیت با مقدار بهینه آن در مرحله بعد است [۲۵]. بنابراین در این مقاله به منظور بهینه‌سازی همزمان دو هدف مدلسازی، از رویکرد ترکیبی الگوریتم ژنتیک و ϵ -محدودیت استفاده می‌شود.

۵-۱- نمایش جواب مسئله

در این پژوهش جواب مسئله در قالب یک کروموزوم تعریف می‌شود. این کروموزوم به صورت یک ماتریس با عناصری از جنس عدد اول و عدد ۱ است که در شکل ۲ نشان داده شده است. با استفاده از فرمول زیر مشخص می‌شود که هر عنصر ماتریس نشان‌دهنده ایستگاه کاری گمارش یافته و یا استراحت برای هر یک از کارگران است ($S=$ عدد اول P_s).

$$x_{ijs} = \left| \left(-1 \times \left(\frac{u_{ij}}{P_s} - \left\lfloor \frac{u_{ij}}{P_s} \right\rfloor \right) \right) + 1 \right|$$

	کارگر ۱			کارگر i			کارگر N		
	شیفت	شیفت	شیفت	شیفت	شیفت	شیفت	شیفت	شیفت	شیفت
روز ۱	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
روز ۲	۱	۱	۲	۲	۵	۱	۱	۳	۱
روز ۳	۲	۵	۱	۳	۱	۱	۱	۱	۱
روز ۴	۳	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۲	۵
روز ۵	۵	۳	۱	۲	۵	۱	۵	۳	۱
روز ۶	۲	۳	۱	۳	۱	۱	۲	۳	۱
روز ۷	۳	۲	۱	۵	۳	۱	۵	۵	۱

شکل ۲ ماتریس جواب مسئله



۵-۲- عملگرهای ژنتیک

به منظور بهبود جمعیت کروموزومها و تشکیل نسل بعدی از عملگر تقاطع^{۲۰} و جهش^{۲۱} استفاده می‌شود. در عملگر تقاطع با استفاده از استراتژی چرخ رولت^{۲۱} دو کروموزوم به عنوان والدین انتخاب می‌شود. به صورت تصادفی دو نقطه در عرض ماتریس و دو نقطه در طول ماتریس انتخاب شده و سپس ژنهای احاطه شده در این نقاط بین دو والد جابه‌جا می‌شوند. در این پژوهش ۷۰ درصد از جمعیت نسل جدید به وسیله عملگر تقاطع، ۲۰ درصد توسط عملگر جهش و ۱۰ درصد نیز توسط عملگر نخبه‌گرایی به وجود می‌آیند. جمعیت اولیه نیز ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.

۶- ارزیابی مدل ریاضی زمان بندی-گردش شغلی کارکنان و الگوریتم

ژنتیک

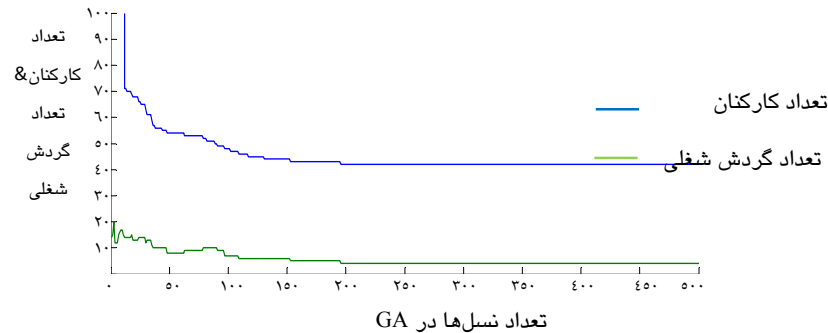
به منظور سنجش کارایی الگوریتم ژنتیک، الگوریتم در نرم افزار مطلب^{۲۲} برنامه نویسی شد و ابعاد زمان یافتن جواب و کیفیت جواب نهایی برنامه رایانه‌ای با نتایج نرم افزار لینگو مقایسه شد (جدول ۱). همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، مدت زمان لازم برای رسیدن به جواب اولیه در لینگو بسیار زیاد بوده و جواب بهینه نهایی در هیچکدام از مسائل یافت نشد. جواب به دست آمده به وسیله برنامه رایانه‌ای مبتنی بر الگوریتم ژنتیک نسبت به لینگو برای مسائل کوچک ۷/۵ درصد و برای مسائل متوسط ۱۲ درصد است و برای مسائل بزرگ لینگو جواب اولیه‌ای نیافته است. زمان محاسباتی برنامه رایانه‌ای نسبت به لینگو برای مسائل کوچک ۹۵/۵ درصد و برای مسائل متوسط ۹۸/۵ درصد بهتر است. همچنین مشاهده شد که در ۳۰ با اجرا بدترین جواب برنامه رایانه‌ای از جواب لینگو بهتر است. بنابراین الگوریتم ژنتیک برنامه نویسی شده در مطلبهم از لحاظ زمان محاسباتی و هم از لحاظ کیفیت جواب بهتر از لینگو است.

جدول ۱ مقایسه عملکرد برنامه رایانه‌ای مبتنی بر الگوریتم ژنتیک با عملکرد نرم‌افزار لینگو
(واحد زمان محاسباتی: ثانیه)

مثال	نوع مسئله	میانگین مقدار تابع هدف برای GA	مقدار تابع هدف برای لینگو	درصد بهبود جواب GA نسبت به لینگو	میانگین زمان محاسباتی برای GA	زمان محاسباتی برای لینگو	درصد بهبود زمان محاسباتی نسبت به لینگو
P1	کوچک	۷۰۳۰۰۰	۷۸۲۰۰۰	۱۰٪	۶۴	۱۲۰۰	۹۴٪
P2	کوچک	۸۲۸۰۰۰	۸۷۰۰۰۰	۵٪	۴۷	۱۸۰۰	۹۷٪
P3	متوسط	۸۷۴۴۶۶	۹۹۸۰۰۰	۱۲٪	۱۰۷	۷۲۰۰	۹۸٪
P4	متوسط	۹۰۰۶۰۰	۱۰۲۰۰۰۰	۱۲٪	۱۰۷	۱۴۴۰۰	۹۹٪
P5	بزرگ	۲۰۹۹۸۰۰	جواب ناموجه		۳۴۷	۳۶۰۰۰	
P6	بزرگ	۲۱۰۱۱۳۳	جواب ناموجه		۳۴۶	۳۶۰۰۰	

۷- بررسی رابطه اهداف مدلسازی زمان‌بندی-گردش شغلی کارکنان

فرایند جستجوی فضای جواب با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شکل ۳ ارائه شده است و نشان می‌دهد که همزمان با کمیته‌سازی تعداد نیروی کار تعداد گردش شغلی کارکنان نیز کاهش پیدا می‌کند. این موضوع نشان می‌دهد که کمیته‌سازی تعداد گردش شغلی موجب کاهش تعداد کارکنان مورد نیاز برای شیفت‌های کاری می‌شود. از آنجایی که بیشینه‌سازی تعداد گردش شغلی مطلوب مدیریت است، بنابراین با استفاده از روش محدودیت-ε بیشینه‌سازی تعداد گردش شغلی همزمان با کمیته‌سازی هزینه‌های نیروی کار انجام گرفت. به این منظور با استفاده از الگوریتم ژنتیک و روش محدودیت-ε مجموعه مثال‌های مختلف با ضرایب متفاوت یادگیری و فراموشی حل شده در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.



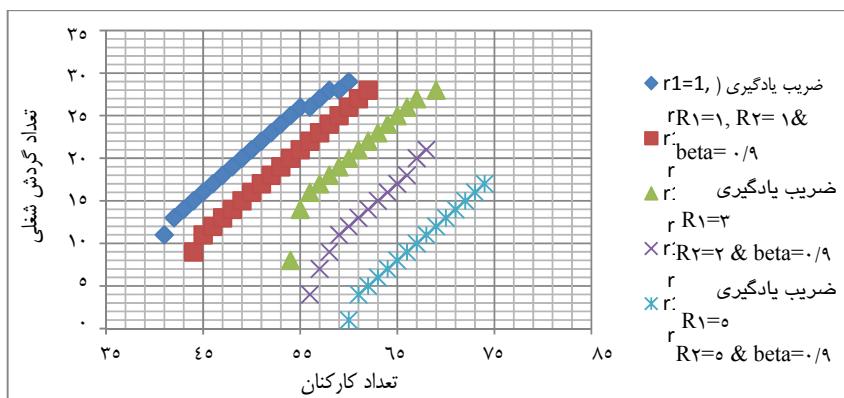
شکل ۳ فرایند بهبود جواب در الگوریتم ژنتیک

بررسی مرز پارتو به‌دست آمده برای مجموعه مسائل با اندازه مختلف و پارامترهای متفاوت نشان می‌دهد که رابطه بین دو هدف کمینه‌سازی هزینه‌های نیروی کار و بیشینه‌سازی تعداد گردش شغلی آنان، یک رابطه بده‌بستانی و متضاد است. با تغییر پارامتر کارکنان رابطه بین اهداف همچنان متضاد بوده و تغییر در این پارامتر موجب جابه‌جایی مرز پارتو و تعداد کارکنان مورد نیاز برای انجام وظایف هر شیفت کاری می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود که این رابطه متضاد برای مسائل بزرگ و متوسط وجود دارد، بنابراین رابطه متضاد اهداف فارغ از اندازه مسئله است. وجود این رابطه متضاد بین اهداف نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن عوامل انسانی تأثیرگذار بر عملکرد کارکنان، مدلسازی زمان‌بندی شیفت کاری کارکنان و گردش شغلی آنان در قالب یک مدل امری ضروری است.

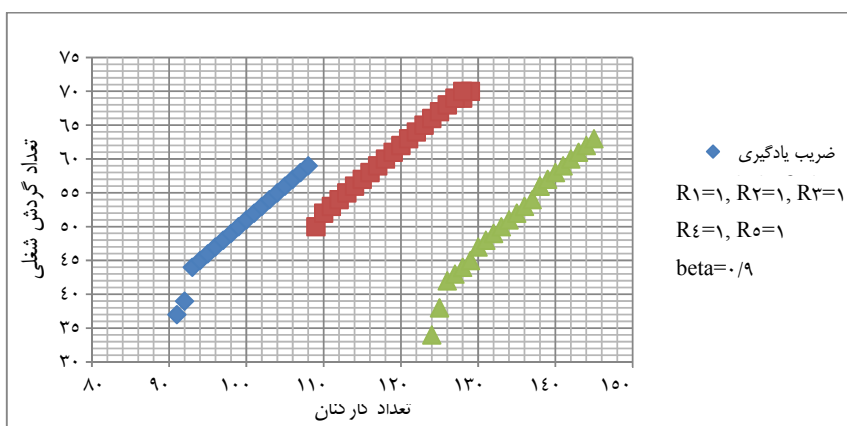
همانطور که در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود با کاهش نرخ یادگیری (افزایش پارامتر α) و ثابت نگه داشتن تعداد کارکنان باید تعداد گردش شغلی را کاهش داد تا بتوان تعداد تقاضای کاری هر یک از ایستگاه‌های کاری را پاسخگو بود. بنابراین مدیریت به‌منظور افزایش تعداد گردش شغلی کارکنان باید از هدف کمینه‌سازی هزینه‌های سازمان کوتاه آمده و تعداد کارکنان بیش‌تری تخصیص دهد. از این رو برنامه‌ریزی کارکنان با هدف توزیع حجم و ریسک کاری در بین کارکنان و افزایش مهارت‌های چندگانه کارکنان موجب افزایش هزینه‌های سازمان می‌شود. این امر نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی دو حوزه زمان‌بندی شیفت کاری و گردش شغلی با در نظر گرفتن عوامل انسانی تأثیرگذار بر عملکرد کارکنان بهتر است به صورت همزمان انجام گیرد تا مدیریت بتواند با

در نظر گرفتن شرایط کارکنان و سازمان و تحلیل تأثیر پارامترهای انسانی، بده بستان مناسبی بین اهداف انجام داده و تصمیم بهینه‌ای اتخاذ کند.

جواب‌های بهینه این مسائل نشان‌دهنده گزینه‌های مختلف تصمیم‌گیری برای مدیریت است. از این رو مدیریت با بده بستان بین اهداف و در نظر گرفتن سیاست پرورشی و هزینه‌ای نیروی کار می‌تواند یکی از این نقاط را به عنوان جواب نهایی برای مسئله دو هدفه زمان‌بندی-گردش شغلی برگزیند.



شکل ۴ مرز پارتو برای مسائل مشابه متوسط با ضریب یادگیری متفاوت



شکل ۵ مرز پارتو برای مجموعه مسائل بزرگ با ضریب یادگیری متفاوت



درصد افزایش هزینه نیروی کار برای هر نقطه از مرز پارتو (شکل‌های ۴ و ۵) در شرایط یادگیری بالا و پایین در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. تغییرات در جابه‌جایی مرز پارتو در شرایط یادگیری بالا و پایین به صورت میانگین ۴۰ و ۳۳ درصد است. افزایش ۴۰ و ۳۳ درصدی هزینه‌های نیروی کار نشان می‌دهد که با تغییر پارامترهای انسانی، عملکرد کارکنان و در نتیجه عملکرد شیفت‌های کاری می‌تواند تا ۴۰ تا ۳۳ درصد کاهش پیدا کرده و موجب افزایش هزینه‌های سازمان شود.

جدول ۲ درصد افزایش نیروی کار برای مسائل متوسط در شرایطی که یادگیری کاهش و فراموشی افزایش پیدا کند

درصد افزایش نیروی کار برای هر نقطه از مرز پارتو (بر حسب درصد)																		
۳۱	۳۱	۳۲	۳۴	۳۵	۳۵	۳۶	۳۷	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶
میانگین درصد افزایش نیروی کار برای مرز پارتو (بر حسب درصد)																		
۳۹/۹																		

جدول ۳ درصد افزایش نیروی کار برای مسائل بزرگ در شرایطی که یادگیری کاهش و فراموشی افزایش پیدا کند

درصد افزایش نیروی کار برای هر نقطه از مرز پارتو (بر حسب درصد)																		
۳۰	۳۰	۳۱	۳۲	۳۲	۳۲	۳۳	۳۳	۳۳	۳۳	۳۴	۳۴	۳۴	۳۵	۳۵	۳۵	۳۶	۳۶	۳۶
میانگین درصد افزایش نیروی کار برای مرز پارتو (بر حسب درصد)																		
۳۳																		

۸- نتیجه‌گیری

در مطالعات گذشته مسئله زمان‌بندی شیفت کاری کارکنان و گردش شغلی به صورت جداگانه بررسی شده است. به‌منظور توسعه حوزه علمی زمان‌بندی کارکنان و ارائه رویکرد بهینه‌سازی دو هدفه، در این پژوهش زمان‌بندی شیفت‌های کاری کارکنان و چگونگی گردش شغلی کارکنان بین ایستگاه‌های کاری در قالب یک مسئله با دو هدف کمینه‌سازی هزینه‌های نیروی کار و

بیشینه‌سازی تنوع کاری کارکنان به صورت همزمانمدلسازی ریاضی شده است. در نظر گرفتن عوامل انسانی و تأثیر آن بر عملکرد کارکنان موجب می‌شود که مدلسازی این دو حوزه زمان‌بندیدر قالب یک مدل ضرورت پیدا کند. یادگیری، فراموشی و خستگی از جمله مفاهیم تأثیرگذار بر خروجی نیروی کار و در نتیجه کارایی سازمان بوده که در این مقاله با استفاده از توابع نمایی و توان‌دار در مسئله زمان‌بندی-گردش شغلی مدلسازی شده است. مدل ارائه شده از نوع NP-Complete بوده و برای حل مدل از رویکرد ترکیبی الگوریتم ژنتیک و روش ϵ -محدودیت استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که الگوریتم ژنتیک در مدت زمان کمتر توانایی بالایی در حل مسئله MINLP ارائه شده دارد. به‌منظور بررسی رابطه بین اهداف مدل زمان‌بندی-گردش شغلی و تأثیر پارامتر یادگیری، مسائل مختلف با ابعاد متفاوت با استفاده از الگوریتم ژنتیک و تکنیک ϵ -محدودیت حل شد. نتایج این تحلیل‌ها نشان داد که بین دو هدف بیشینه‌سازی گردش شغلی و کمینه‌سازی هزینه‌های نیروی کار رابطه متضاد و بده‌بستان‌ی وجود دارد و این رابطه فارغ از اندازه مسئله است. همچنین مشاهده شد که تغییر در پارامتر یادگیری موجب جابه‌جایی مرز پارتو می‌شود. نتایج نشان داد که رویکرد بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و تکنیک ϵ -محدودیت توانایی ارائه گزینه‌های تصمیم‌گیری بهینه با توجه به اهداف متضاد و پارامترهای متغیر عوامل انسانی را دارد. همچنین وجود رابطه متضاد بین اهداف الزام می‌کند که به‌منظور تصمیم‌گیری بهینه، مدیران برنامه‌ریزی شیفت کاری و گردش شغلی را به صورت همزمان انجام دهد. بنابراین توصیه می‌شود مدیران در برنامه‌ریزی و اتخاذ سیاست کاری مناسب برای سازمان و کارکنان با توجه به عوامل انسانی، از مدل و رویکرد بهینه‌سازی ارائه شده استفاده و تصمیم بهینه‌ای را به‌کار گیرند.

به‌منظور توسعه حوزه علمی زمان‌بندی کارکنان توصیه می‌شود که در پژوهش‌های آینده عوامل دیگر و مهم مهندسی عوامل انسانی همچون انگیزش، استرس و ... مورد تحلیل و مدلسازی شده و تأثیر تغییر پارامترهای هر یک از عوامل انسانی بر زمان‌بندی کارکنان مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین استفاده و مقایسه سایر روش‌های فراابتکاری و ترکیبی برای بهینه‌سازی مسائل زمان‌بندی و گردش شغلی کارکنان می‌تواند مفید باشد.



۹- پی‌نوشت‌ها

1. Human characteristics
2. Circadian variation
3. Arousal
4. Performance
5. Easton and Rossin
6. Li& et al.
7. Fractional
8. Presumed and knownparameter
9. Simulated Annealing
10. LINGO
11. Output/efficiency
12. Human and technological skills
13. WarnerR.C., NeedyK.L., BidandaB.,
14. Carnahan
15. Rotation interval lengths
16. Nader Azizi, Saeed Zolfaghari, Ming Liang
17. Mixed Integer Non Linear Programming (MINLP)
18. Indices
19. Crossover operator
20. Mutation operator
21. Rolette wheel
22. MATLAB

۱۰- منابع

- [1] Wickens C.D., Gordon S.E., Liu Y.; *An introduction to human factors engineering*; Longman, 1998.
- [2] Lodree Jr, E.J., Geiger C.D., Jiang X.; "Taxonomy for integrating scheduling theory and human factors: Review and research opportunities"; *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 39, No. 1, 2009.
- [3] Salvendy G.; *Handbook of human factors and ergonomics*; John Wiley & Sons, 2012.
- [4] Topaloglu S., Ozkarahan I.; "An implicit goal programming model for the tour scheduling problem considering the employee work preferences"; *Annals of Operations Research*, Vol. 128, No. 1-4, 2004.

- [5] Easton F.F., Rossin D.F.; "Sufficient working subsets for the tour scheduling problem"; *Management Science*, Vol. 37, No. 11, 1991.
- [6] LiC., Robinson E.P., Mabert V.A.; "An evaluation of tour scheduling heuristics with differences in employee productivity and cost"; *Decision Sciences*, Vol. 22, No. 4, 1991.
- [7] Brusco M.J., Johns T.R., Reed J.H.; "Cross-utilization of a two-skilled workforce"; *Int. J. Oper. & Prod. Manag.*, Vol. 18, No. 6, 1998.
- [8] Campbell G.M.; "Cross-utilization of workers whose capabilities differ"; *Management Science*, Vol. 45, No. 5, 1999.
- [9] Thompson G.M., Goodale J.C.; "Variable employee productivity in workforce scheduling"; *European Journal of Operational Research*, Vol. 170, No. 2, 2006.
- [10] Tavakkoli-Moghaddam R., Rabbani M., Taghavi S.M.; "Solving manpower scheduling problems by simulated annealing"; *Proceeding of the 33rd Int. Conf. on Computers and Industrial Engineering*, Jeju Island, Korea, March 25-27, 2004.
- [11] Jafarnajad A., Esmaelian M.; "Preventive maintenance scheduling with multi skilled workforce"; *Management in Iran, Scientific Research Quarterly*, Vol. 15, No. 2, 2011 [In Persian].
- [12] Tavakoli-Moghaddam R., Islami Sh.; "A new mathematical model for staffing and scheduling problems using genetic algorithms"; *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management*, Vol. 22. No. 36, 2007 [In Persian].
- [13] Akbari M., Zandieh M., Dorri B.; "Scheduling part-time and mixed-skilled workers to maximize employee satisfaction"; *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 1-11.



- [14] Warner R.C., Needy K.L., Bidanda B.; "Worker assignment in implementing manufacturing cells"; in *Proceeding sof the Sixth Industrial Engineering Research Conference*. Miami Beach, FL, 1997.
- [15] Molleman E., Slomp J.; "Functional flexibilityand team performance"; *International Journal of Production Research*, Vol. 37, No. 8, 1999.
- [16] Corominas A., Pastor R., Rodriguez E.;"Rotational allocation of tasks to multifunctional workers in a service industry"; *International Journal of Production Economics*, Vol. 103, No.1, 2006.
- [17] Techawi boonwong A., Yenradee P., Das S.K.; "A master scheduling model with skilled and unskilled temporary workers"; *International Journal of Production Economics*, Vol. 103, No. 2, 2006.
- [18] Mc Donald T., Ellis K.P., Van Aken E.M., Koelling C.P.; "Development and application of a worker assignment model to evaluate a lean manufacturing cell"; *International Journal of Production Research*, Vol. 47, No. 9, 2009.
- [19] Carnahan B.J., Norman B.A., Redfern M.S.;"Incorporating physical demand criteria into assembly line balancing"; *Iie Transactions*, Vol. 33, No. 10, 2001.
- [20] Tharmmaphornphilas W., Norman B.A.;"A quantitative method for determining proper job rotation intervals"; *Annals of Operations Research*, Vol. 128, No. 1-4), 2004.
- [21] Bhadury J., Radovilsky Z.;"Job rotation using the multi-period assignment model"; *International Journal of Production Research*, Vol.44, No. 20, 2006.
- [22] Diego-Mas J.A., Asensio-Cuesta S., Sanchez-Romero M.A., Artacho-Ramirez M.A.; "A multi-criteria genetic algorithm for the generation of job rotation schedules"; *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 39, No. 1, 2009.
- [23] Azizi N., Zolfaghari S., Liang M.;"Modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee's boredom and skill variations"; *Int. J. ProductionEconomics*, Vol. 123, 2010.

- [24] Bartholdi J.J.; "A guaranteed-accuracy round-off algorithm for cyclic scheduling and set covering"; *Operations Research*, Vol.29, No. 3, 1981.
- [25] Ehrgott M., Ryan D.M.; "Constructing robust crew schedules with bicriteria optimization"; *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 11, No. 3, 2002.

