چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۷ ـ پائیز ۱۳۹۱
ص‌ص ۱۰۲ -۸۷

زمان‌بندی شیفت کاری کارکنان چندمهارته با رویکرد الگوریتم ژنتیک

محمد اکبری*، بهروز دری، مصطفی زندیه*****

چکیده

هدف کلی این مقاله به‌کارگیری مهندسی عوامل انسانی در تئوری زمان‌بندی به‌منظور بهره‌برداری از عملکرد بهینه کارکنان می‌باشد. مسئله زمان‌بندی شیفت کاری کارکنان با عملکرد متغیر در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته شده است. تابع هدف مدل ریاضی ارائه شده برای زمان‌بندی کارکنان در این مقاله کمینه‌سازی هزینه‌های نیروی کار بوده و سعی در گمارش کارکنان کارا به شیفت‌های کاری به‌منظور برآورده نمودن تقاضای کاری سازمان دارد. ویژگی مهم مدل ریاضی ارائه شده در نظر گرفتن ابعاد ارگونومیکی کارکنان شامل یادگیری، فراموشی و خستگی ناشی از کار می‌باشد. برای حل مدل ریاضی ارائه شده در مدت زمان محاسباتی مناسب از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. به‌منظور بررسی کارایی و اثربخشی الگوریتم ژنتیک نسبت به روش‌های دقیق حل مسئله، عملکرد الگوریتم با عملکرد نرم‌افزار LINGO و کران پایین مثال‌های ارائه شده مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل ارائه شده قابلیت مدل‌سازی عوامل انسانی را داشته و شیفت‌های کاری مطلوبی را ارائه می‌کند. همچنین این مطالعه نشان داد که پارامترهای انسانی مورد بررسی، بر کارایی کارکنان و نتیجتاً بر برنامه‌ریزی جداول زمانی کاری سازمان تأثیر دارد. از این‌رو پیشنهاد می‌شود که مدیران در سازمان‌ها بااستفاده مدل پیشنهاد شده تأثیر عوامل انسانی بر کارایی کارکنان را مورد بررسی قرار داده و زمان‌بندی مطلوبی برای شیفت کاری کارکنان ارائه کنند.

کلیدواژه‌ها: زمان‌بندی کارکنان؛ خستگی کارکنان؛ یادگیری کارکنان؛ فراموشی کارکنان؛ الگوریتم ژنتیک.

تاریخ دریافت مقاله:۹۱/۰۳/۲۳، تاریخ پذیرش مقاله:۹۱/۰۵/۰۲.

* دانشجوی دکتری، دانشگاه شهید بهشتی.

** دانشیار، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول).

E-mail: ber_dorri@yahoo.com

*** استادیار و عضو هسته‌ی پژوهشی تولید در کلاس جهانی، دانشگاه شهید بهشتی.

۱. مقدمه

زمان‌بندی کارکنان[1] فرایند تهیه جدول زمانی کار بهینه و امکان‌پذیر برای کارکنان با در نظر گرفتن شرایط سازمان، کارکنان و قوانین کاری، به‌منظور برآورده نمودن تقاضای کاری سازمان می‌باشد. تهیه بهترین جدول زمانی کاری کارکنان اغلب اوقات جزو مسائل بهینه‌سازی گسسته و ترکیباتی می‌باشد و نیاز به رویکرد کارا و مؤثر دارد [۱]. تهیه جدول زمانی کار مطلوب برای کارکنان با رویکرد مهندسی عوامل انسانی[2] نیازمند توجه دقیق به ویژگی‌های کارکنان همچون رضایت، سلامتی، استرس، انگیزش و... می‌باشد. رابطه بین تئوری زمان‌بندی و عوامل انسانی در پیشینه پژوهش در سه حوزه قابل تقسیم می‌باشد: -زمان‌بندی گردش شغلی کارکنان، -زمان‌بندی استراحت کاری و -زمان‌بندی شیفت کاری [۲]. پیشینه پژوهشی تئوری زمان‌بندی و مهندسی عوامل انسانی به‌صورت جداگانه‌ای توسعه یافته و تعداد مقالات کمی این دو حوزه را به‌صورت همزمان در نظر گرفته است. در این حوزه میان رشته‌ای تئوری زمان‌بندی می‌تواند عملکرد و سلامت کارکنان را بهینه‌سازی نماید [۲]. از این‌رو در این مقاله تأثیر مفاهیم یادگیری، فراموشی و خستگی نیروی کار بر کارایی کارکنان در زمان‌بندی کارکنان مدل‌سازی و برای حل آن که یک مدل غیرخطی عدد صحیح می‌باشد الگوریتم ژنتیک ارائه شده است.

۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

زمان‌بندی کارکنان. اهمیت کارایی و رضایت کارکنان از جمله عوامل مهم در زمان‌بندی نیروی کار هستند و محققینی چون تاپالوگلو و ازکاران[3] در مقاله‌شان هم‌زمان ترجیهات کارکنان (الگوی کاری مرجح کارکنان) و نیازمندی‌های سازمان را در نظر گرفته‌اند [۳]. پژوهش‌های محدودی نیز تغییرپذیری کارایی/خروجی[4] کارکنان را در مسئله زمان‌بندی کارکنان مورد بررسی قرار داده‌اند. ایستون و روسین[5] در مقاله‌شان در سال ۱۹۹۱ برای مدل‌سازی زمان‌بندی، کارکنان را به دسته‌های مختلف باتوجه به کارایی، پاره وقت و تمام وقت بودن کارکنان، و حقوق و دستمزد متفاوت تقسیم‌بندی نموده‌اند [۴]. لی و همکارانش[6] نیز ابعاد کارایی متفاوت، هزینه ساعت کاری، تعداد ساعات کاری به‌ازاء هر هفته، و محدودیت روزهای غیرکاری در مسئله زمان‌بندی نیروی کار را مورد بررسی قرار داده‌اند [۵]. براسکو و جانز در مسئله زمان‌بندی، نرخ متفاوت کارایی باتوجه به مهارت کارکنان را مدل‌سازی کرده‌اند [۶]. کارکنان با کارایی نسبی[7]

1. Staff scheduling
2. Human factor engineering
3. Topaloglu and Ozkarahan
4. Output/Efficiency
5. Easton and Rossin
6. Li et al.
7. Fractional

باتوجه به مناسب بودن گمارش کارکنان به قسمت‌های مختلف در مقاله [۷] و گروه‌های کاری با نرخ کارایی متفاوت نیز در مقاله [۸] مورد مطالعه قرار گرفته شده است. در این مقالات کارایی کارکنان به‌عنوان یک پارامتر از پیش تعیین شده و مشخص[1] در نظر گرفته شده است.

خستگی و کارایی کارکنان

خستگی عبارت از کاهش در عملکرد فرد در طول زمان در فعالیت‌های فیزیکی است [۹]. خستگی یک پدیده همگن نمی‌باشد و در دامنه خستگی کاملاً فیزیکی و کاملاً ذهنی متغیر می‌باشد. خستگی اثرگذار بر عملکرد افراد و نتیجتاً نرخ تولید آنان بوده [۱۰] و همچنین تأثیر منفی بر سلامت کارکنان و بهزیستی[2] دارد. اگرچه نمی‌توان خستگی را حذف نمود اما با برنامه‌ریزی مناسب می توان آن‌را کاهش داد [۱۰]. از این‌رو در نظر گرفتن خستگی کارکنان[3] در زمان‌بندی و برنامه‌ریزی تولید امری ضروری به نظر می‌رسد.

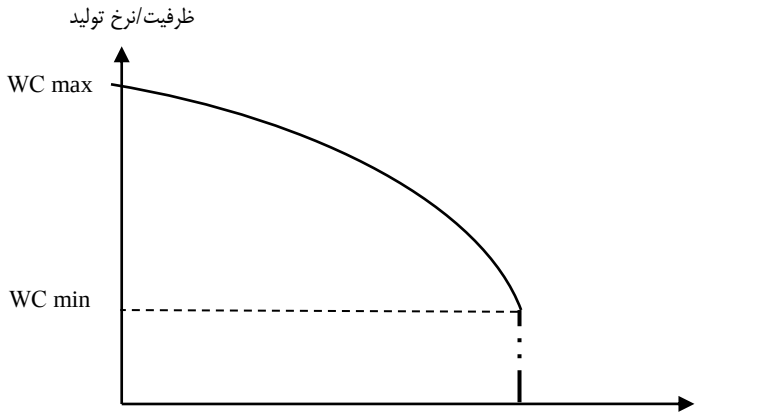
تأثیر خستگی بر نرخ تولید در طول زمان را می‌توان به‌صورت یک منحنی غیرخطی که منحنی کار[4] نامیده می‌شود ترسیم نمود [۱۰]. منحنی کار نشان می‌دهد که ظرفیت تولید بر اثر خستگی در طول زمان کاهش می‌یابد [۹]. در این پژوهش عملکرد افراد به‌صورت متغیر و تحت تأثیر خستگی ناشی از مدت زمان شیفت کاری در مسئله زمان‌بندی نوبت کاری کارکنان در نظر گرفته می‌شود. کارناهان و همکارنش[5] در مقاله [۱۱]، به‌صورت عینی سعی در کمینه‌سازی خستگی ناشی از فعالیت‌های فیزیکی در مسئله بالانس کردن خط مونتاژ داشته‌اند. میکلاس و همکارانش[6] از جمله محققانی است که سعی کرده‌اند عوامل انسانی مهمی همچون خستگی نیروی کار و شایستگی را در برنامه‌ریزی گردش شغلی کارکنان در نظر بگیرند [۱۲]. در این مقاله برای اندازه‌گیری خستگی ناشی از فعالیت‌های فیزیکی از تابع لگاریتمی استفاده شده است. در این مقاله از تابع هذلولی [۱۰] زیر برای محاسبه تأثیر خستگی ناشی از ساعات کاری بر نرخ تولید کارگر استفاده می‌شود.

$$y = wc_{\max} - (x)^{A}$$

$$A = \ln(wc_{\max} - wc_{\min}) \Big/ \ln(t_{\max})$$

1. Presumed and Known parameter
2. Well-Being
3. Worker fatigue
4. Work curve
5. Brian J. Carnahan, Bryan A. Norman and Mark s. Redfern
6. George Michalos, Sotiris Makris, Loukas Rentzos, George Chryssolouris

در این مدل y نشان‌دهنده نرخ تولید می‌باشد که تابعی از مدت زمان انجام کار (x) می‌باشد. wcmax برای نیروی کار نشان‌دهنده نرخ تولید در شروع کار و wcmin نیز نشان‌دهنده نرخ تولید در حالت خستگی کامل در زمان tmax می‌باشد. منحنی کار در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. منحنی کار کارکنان

یادگیری و فراموشی کارکنان

۱۱ مدل مهم یادگیری در مقاله [۱۳] در سال ۲۰۰۰ با در نظر گرفتن سه معیار کارایی، پایداری و صرفه‌جویی (تعداد پارامترهای مدل)[1] و استفاده از داده‌های واقعی مورد بررسی قرار گرفته شده است. نتایج نشان داد که مدل هذلولی سه پارامتری بیشترین میزان کارایی و پایداری را در پیش‌بینی یادگیری کارکنان دارد. تابع ریاضی مدل یادگیری هذلولی سه پارامتری به فرم زیر می‌باشد.

$$y = k[(x+p)/(x+p+r)]$$

s.t.

$$y, k, p, x \geq 0, and$$

$$p + r > 0$$

متغیر وابسته y مقیاس کارایی تولید می‌باشد، و x نشان‌دهنده تعداد تجمعی تولید می‌باشد که بر حسب تعداد واحد و یا زمان می‌باشد. پارامتر k تخمینی است از حداکثر عملکرد فرد زمانی که یادگیری کامل در آن کار صورت گرفته است. پارامتر r تعداد تولید مورد نیاز برای رسیدن به سطح تولید k/2 می‌باشد و نشان‌دهنده نرخی است که در آن نرخ کارایی/عملکرد به سمت k

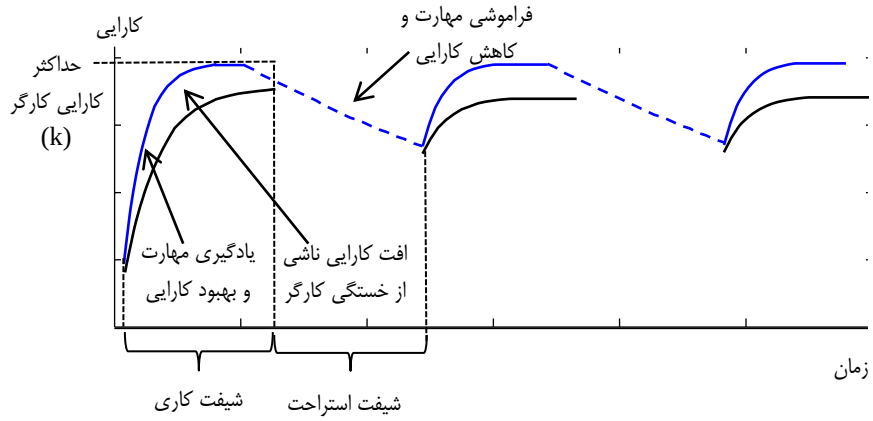
1. Efficiency, Stability, and Parsimony

نزدیک می‌شود. p نشان‌دهنده میزان تجربه فردی در آن کار در گذشته می‌باشد که می‌تواند بر حسب زمان و یا تعداد تجمعی تولید باشد [۱۳].

معمولاً فقدان نگهداری/حفظ مهارت، به‌عنوان فراموشی تعبیر می‌شود و منجر به کاهش بهره‌وری و احتمالاً کیفیت پایین‌تر تولیدات می‌شود. در این مقاله نیز برای مدل‌سازی تأثیر فراموشی بر نرخ عملکرد افراد همچون مقاله [۱۴] از فرم نمایی استفاده می‌شود.

یان و وانگ[1] در مقاله خود در سال ۲۰۱۱ [۱۵] سعی کرده است که به‌طور همزمان تأثیر یادگیری و فراموشی را در کارایی نیروی کار در مسئله زمان‌بندی نیروی کار مدل‌سازی کند. ایستون در سال ۲۰۱۱ به مدل‌سازی کارکنان چند وظیفه‌ای[2] در محیط انعطاف‌پذیر زمان‌بندی کارکنان باتوجه به هزینه‌های کارکنان و سطح خدمات پرداخته است [۱۶]. این محقق به این نتیجه رسیده است که در بیشتر مواقع عملکرد کارکنان چند وظیفه‌ای نسبت به کارکنان متخصص بهتر می‌باشد. در زمان‌بندی کارکنان می‌تواند گفت که فقط مقاله [۱۵] عوامل یادگیری و فراموشی را به‌صورت عینی در نظر گرفته است.

در این پژوهش بااستفاده از تابع یادگیری–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. کارایی فرد در یک طول شیفت‌های کاری و غیرکاری در شکل ۲ به‌صورت ترسیمی نشان داده شده است.



شکل ۲. کارایی فرد در شیفت‌های کاری و غیرکاری باتوجه به یادگیری، فراموشی و خستگی

1. Yan and Wang
2. Cross-trained

با در نظر گرفتن این ویژگی‌ها، مدل ریاضی از نوع برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح[1] می‌باشد که برای حل آن نیاز به رویکرد مناسب می‌باشد.

۳. روش‌شناسی تحقیق

تعریف و فرموله کردن مسئله. در این پژوهش مسئله زمان‌بندی کارکنان تمام وقت و چندمهارته مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای هر کارگر برای حضور در هر روز کاری هزینه ثابت (هزینه ناهار، حمل و نقل و سایر خدمات) و هزینه متغیر (حقوق و دستمزد) در نظر گرفته می‌شود. هزینه متغیر بر اساس میزان ساعات کاری هر روز کاری محاسبه می‌شود. خطوط کاری متشکل از S ایستگاه کاری است که هر ایستگاه کاری نیاز به مهارت خاصی دارد. کارکنان مهارت انجام کارهای مرتبط با همه ایستگاه‌های کاری را دارند و همچنین نمی‌توان فرد را هم‌زمان به دو ایستگاه کاری گمارش کرد. در این مدل‌سازی به‌دنبال کمینه کردن هزینه‌های سازمان می‌باشیم. برای مدل‌سازی ریاضی زمان‌بندی کارکنان شاخص‌ها و پارامترهای مربوطه به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

شاخص‌ها[2]

i= شاخص کارکنان (i=1, 2… N)،

j= شاخص شیفت کاری در روز (j=1, 2… M)

s= شاخص ایستگاه کاری (s=1, 2, … S)

k= شاخص روز کاری در یک هفته (k=1,2,… 6)

پارامترها

fc = هزینه ثابت گمارش یک کارگر در روز

vc= هزینه متغیر گمارش یک کارگر به ازاء هر ساعت

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

$wc\ max$= نرخ تولید فرد در شروع شیفت کاری

$wc\ min$= نرخ تولید فرد پس از گذشت مدت زمان $t\max$

$a\ max$= حداکثر ساعات کاری مجاز برای هر کارگر 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

1. Non Linear Integer Programming (NLIP)
2. Indices

r = تعداد تولید مورد نیاز برای رسیدن به سطح تولید k/2

β = پارامتر فراموشی که نشان‌دهنده درجه‌ای است که فرد مهارت در انجام وظیفه را فراموش می‌کند.

d_{ijsk} = میزان زمان دوری از کار در ایستگاه کاری s، برای کارگر i، به‌هنگام گمارش در شیفت j، در روز کاری k

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

x^{d}_{ijsk} = میزان ساعات کاری انجام شده توسط کارگر i در ایستگاه کاری s به‌هنگام ترک آخرین شیفت کاری قبل از شیفت j و روز کاری k

p^{d}_{ijsk} = تجربه مشابه کارگر i در ایستگاه کاری s به‌هنگام ترک آخرین شیفت کاری گمارش‌یافته قبل از شیفت j و روز کاری k

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

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

γ_{ijsk} = درصد کاهش کارایی به‌علت خستگی برای کارگر i، در شیفت کاری j، ایستگاه کاری s، و در روز کاری k

wc_{ijsk} = نرخ تولید تجمعی کارگر i در شیفت کاری j، ایستگاه کاری s و در روز کاری k

متغیرها

y_{ijsk} = ۱ اگر کارگر i به شیفت j، ایستگاه کاری s در روز k گمارش یابد؛ ۰ در غیر این‌صورت

x_{ik} = ۱ اگر کارگر i در روز k گمارش یابد؛ ۰ در غیر این‌صورت

مدل ریاضی مسئله زمان‌بندی شیفت کاری کارکنان

$$Minimize \sum_{i}^{n}\sum_{j}^{m}\sum_{s}^{q}\sum_{k}^{l}\left[y_{ijsk}t_{jk}vca_{ik} + X_{ik}\,fc\right] \qquad (۱)$$

subject to

$$\sum_{s=1}^{q} y_{ijsk} \le 1 \qquad \forall i,j,k \quad i=1,2,...n;\ j=1,2,...,m;\ s=1,2,...,q;\ k=1,2,...,l \qquad (۲)$$

$$\sum_{i}^{n} wc_{ijsk} y_{ijsk} \geq b_{jsk} \qquad \forall j,s,k \qquad (۳)$$

$$\sum_{j}^{m} y_{ijsk} t_{jk} \leq a_{\max} X_{ik} \qquad \forall i,s,k \qquad (۴)$$

$$wc_{ijsk} = L_{ijsk} \gamma_{ijsk} \qquad \forall i,j,s,k \qquad (۵)$$

$$L_{ijsk} = \sum_{x=y_{i(j-1)sk}t_{(j-1)k}+y_{i(j-2)sk}t_{(j-2)k}+\ldots+t_{jk}}^{x=y_{i(j-1)sk}t_{(j-1)k}+y_{i(j-2)sk}t_{(j-2)k+\ldots}} k[(x+p_{ijsk})/(x+p_{ijsk}+r)] \quad \forall i,j,s,k \qquad (۶)$$

$$p_{ijsk} = (x_{ijsk}^{d} + p_{ijsk}^{d}) e^{\beta(-d_{ijsk})} \qquad \forall i,j,s,k \qquad (۷)$$

$$u_{ijsk} = wc_{\max} - (x)^{A} \qquad \forall i,j,s,k \qquad (۸)$$

$$A = \ln(wc_{\max} - wc_{\min}) \Big/ \ln(t_{\max}) \qquad (۹)$$

$$\gamma_{ijsk} = u_{ijsk} \Big/ wc_{\max} \qquad \forall i,j,s,k \qquad (۱۰)$$

$$X_{ik} \in \{0,1\} \qquad \forall i,k \qquad (۱۱)$$

$$y_{ijsk} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j,s,k \qquad (۱۲)$$

$$y_{ijsk} = 0 \qquad \forall i,k \quad and \quad if \quad j = 0 \; or \; -1 \qquad (۱۳)$$

$$t_{jk} = 0 \qquad \forall k \quad and \quad if \quad j \leq 0 \qquad (۱۴)$$

$$y_{ijsk} = 0 \qquad \forall i,j,s \; and \; if \quad k \leq 0 \qquad (۱۵)$$

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

٤. حل مدل

الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله. به اثبات رسیده است که تعدادی از ابزارها و مکانیسم‌هایی که از روش‌های فراابتکاری[1] نشأت گرفته است بسیار مؤثر و کارا می‌باشد به‌طوری که در سال‌های اخیر این روش‌ها در حل بسیاری از مسائل پیچیده به‌خصوص مسائلی که ماهیت ترکیباتی[2] دارند مورد مطالعه قرار گرفته شده است. الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های فراابتکاری است که در حل مسائل بسیار پیچیده مورد استفاده قرار گرفته شده است. در مقالاتی چون [۱, ۱۷–۲۰] برای حل مسائل زمان‌بندی و گردش شغلی کارکنان از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نتایج تحقیقات نشان داده است که الگوریتم ژنتیک توانایی بالای در حل مسائل زمان‌بندی کارکنان دارد. بنابراین برای حل مسئله ارائه شده در این پژوهش الگوریتم ژنتیک مناسب توسعه داده می‌شود.

نمایش کروموزوم

کروموزوم به‌صورت یک ماتریس با ابعاد ((K*(M*N)) تعریف می‌شود که به‌صورت زیر تعریف و در جدول ۱ به‌صورت مثال نشان داده شده است.

$$S_K^T = [u_{1m}, u_{im}, u_{Nm}], \quad k = 1,2,...,6; \quad i = 1,2,..., N-1;$$

u_{im}=[u_{i1} u_{i2} ... u_{im-1} u_{im}]

1. Metaheuristic
2. Combinatorial

جدول ۱. نمایش جواب در الگوریتم ژنتیک

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

U یک عدد M رقمی می‌باشد که M نشان‌دهنده تعداد شیفت‌ها است. اعداد تشکیل دهنده U (اعداد داخل جدول ۱) اعداد اول و عدد ۱ می‌باشد که طبق فرمول زیر مشخص می‌شود که به کدام ایستگاه کاری تخصیص داده شده است. چنان‌چه s ایستگاه کاری داشته باشیم می‌بایستی از ۱ تا sامین عدد اول برای تکمیل جدول استفاده کرد (sامین عدد اول=Ps).

$$x_{ijs} = \left|\left(-1 \times \left(\left(\frac{u_{ij}}{\mathrm{Ps}}\right) - \left|\frac{u_{ij}}{\mathrm{Ps}}\right|\right)\right) + 1\right|$$

بااستفاده از این فرمول به تعداد ایستگاه‌های تولیدی، S_k ماتریس مجازی خواهیم داشت که نشان‌دهنده گمارش و یا عدم گمارش اپراتور i، در شیفت j، روز کاری k به ایستگاه کاری s را نشان می‌دهد. مزیت اصلی این کدنویسی عبارتست از:

- کاهش زمان محاسباتی به‌دلیل استفاده از یک ماتریس به‌جای استفاده از S ماتریس برای s ایستگاه کاری.
- عدم تولید کروموزوم‌های ناقص.

عملگرهای ژنتیک

در این پژوهش برای بهبود جمعیت کروموزوم‌ها و تشکیل نسل بعدی از عملگر تقاطع[1] و جهش[2] استفاده می‌شود. در عملگر تقاطع بااستفاده از استراتژی چرخ رولت[3] دو کروموزوم به عنوان والدین انتخاب می‌شود. به‌طور تصادفی دو نقطه در عرض ماتریس و دو نقطه در طول

1. Crossover operator
2. Mutation operator
3. Rolette Wheel

ماتریس انتخاب می‌شود و سپس ژن‌های احاطه شده در این نقاط بین دو والد جابه‌جا می‌شوند. در این پژوهش ۷۰ درصد از جمعیت نسل جدید توسط عملگر تقاطع، ۲۰ درصد توسط عملگر جهش و ۱۰ درصد نیز توسط عملگر نخبه‌گرایی به‌وجود می‌آیند. جمعیت اولیه نیز ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.

ارزیابی مدل زمان‌بندی کارکنان و الگوریتم ژنتیک (GA)

در این بخش صحت مدل ارائه شده و همچنین کارایی و اثربخشی الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه در قسمت ۵-۱ صحت مدل و اثربخشی الگوریتم ژنتیک در پیدا کردن جواب بهینه بااستفاده از نرم‌افزار LINGO و کران پایین[1] ارزیابی می‌شود. در قسمت ۵-۲ کارایی الگوریتم ژنتیک از ابعاد زمان یافتن جواب و کیفیت جواب نهایی و همچنین دقت الگوریتم در جستجوی فضای جواب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ارزیابی درستی مدل و اثربخشی الگوریتم ژنتیک

به‌منظور ارزیابی صحت مدل، سه دسته مثال زمان‌بندی شیفت کاری کارکنان که ویژگی‌های آن در جدول ۲ نشان داده شده است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین‌منظور مدل برای مجموعه مثال‌ها بااستفاده از نرم‌افزار LINGO که قابلیت بالایی در حل مسائل زمان‌بندی دارد، اجرا و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شد.

جدول ۲. ویژگی‌های مثال‌های زمان‌بندی شیفت کاری کارکنان

نوع مسئله	تعداد روزهای کاری (k)	تعداد کارکنان (N)	تعداد شیفت‌های کاری (M)	تعداد ایستگاه‌های کاری (S)
مسئله کوچک	۶	۳	۳	۲
مسئله متوسط	۶	۵	۳	۲
مسئله بزرگ	۶	۱۰	۳	۵

برای به‌دست‌آوردن کران پایین در این مقاله مفاهیم یادگیری، فراموشی و خستگی جزئی و بسیار کم در نظر گرفته شد. برای به‌دست‌آوردن کران پایین از روش شمارش تعداد کارکنان مورد نیاز برای هر شیفت کاری استفاده شد که در جدول ۳ نشان داده شده است. مقایسه عملکرد الگوریتم ژنتیک و کران پایین در جدول ۳ ارائه شده است.

1. Lower bound

جدول ۳. مقایسه عملکرد الگوریتم ژنتیک با کران پایین

میانگین انحراف جواب GA از کران پایین	مثال	نوع مسئله	مقدار تابع هدف برای الگوریتم ژنتیک	زمان محاسباتی برای الگوریتم ژنتیک (ثانیه)	کران پایین	میزان انحراف جواب GA از کران پایین
۰	P1	کوچک	۹۲۸۰۰۰	۳۰	۹۲۸۰۰۰	۰
	p2	کوچک	۸۹۸۰۰۰	۲۱	۸۹۸۰۰۰	۰
	p3	کوچک	۸۴۰۰۰۰	۴۷	۸۴۰۰۰۰	۰
	p4	کوچک	۸۱۰۰۰۰	۲۴	۸۱۰۰۰۰	۰
	p5	کوچک	۷۹۸۰۰۰	۱۲	۷۹۸۰۰۰	۰
۰,۰۲۳	pm1	متوسط	۸۸۸۰۰۰	۱۴۷	۸۵۶۰۰۰	۰/۰۳۷۴
	pm2	متوسط	۱۰۴۰۰۰۰	۹۰	۱۰۳۰۰۰۰	۰/۰۰۹۷
	pm3	متوسط	۱۲۲۴۰۰۰	۱۶۰	۱۲۰۴۰۰۰	۰/۰۱۶۶
	pm4	متوسط	۱۱۶۶۰۰۰	۶۴	۱۱۴۶۰۰۰	۰/۰۱۷۴
	pm5	متوسط	۱۱۵۸۰۰۰	۱۱۹	۱۱۱۸۰۰۰	۰/۰۳۵۸
۰,۰۴۹	Pl1	بزرگ	۱۳۵۶۰۰۰	۲۸۰	۱۲۸۶۰۰۰	۰/۰۵۴۴
	Pl2	بزرگ	۱۴۴۶۰۰۰	۳۵۰	۱۳۹۴۰۰۰	۰/۰۳۷۳
	Pl3	بزرگ	۱۵۶۸۰۰۰	۳۵۰	۱۵۰۲۰۰۰	۰/۰۴۳۹
	Pl4	بزرگ	۱۶۲۶۰۰۰	۳۲۰	۱۵۳۸۰۰۰	۰/۰۵۷۲
	Pl5	بزرگ	۱۶۸۶۰۰۰	۳۰۳	۱۵۹۸۰۰۰	۰/۰۵۵۱

نتایج در جدول ۳ نشان می‌دهد که در مسائل کوچک الگوریتم ژنتیک در یافتن جواب بهینه اثربخشی کاملی دارد. در مسائل با اندازه متوسط نیز الگوریتم ژنتیک با متوسط انحراف ۰/۰۲۳۴ توانایی مطلوبی در یافتن جواب بهینه دارد. برای مسائل بزرگ نیز الگوریتم ژنتیک با متوسط زمان ۳۲۰ ثانیه توانایی یافتن جواب مطلوب با متوسط انحراف ۰/۰۴۹ از کران پایین را دارد.

کارایی الگوریتم ژنتیک

در این مقاله دو معیار کیفیت راه حل و مدت زمان محاسباتی را مبنای ارزیابی الگوریتم قرار داده و با خروجی نرم‌افزار LINGO مقایسه، و نتایج آن برای مسائل مطرح شده در جدول ۴ نشان داده شده است. به‌منظور بررسی دقت الگوریتم ژنتیک در یافتن جواب‌های بهینه از ضریب تغییرات (تقسیم انحراف از استاندارد بر میانگین) در تکرارپذیری الگوریتم استفاده شد. برای هر مسئله مطرح شده ۳۰ با الگوریتم ژنتیک اجرا شد و تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفته شد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود ضریب تغییرات در هر سه نوع مسائل بسیار کم بوده و حداکثر مقدار آن ۲/۴٪ می‌باشد. بنابراین الگوریتم ژنتیک دقت بالایی در یافتن جواب بهینه برای

مسئله مورد بررسی دارد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، زمان محاسباتی LINGO بسیار بیشتر از زمان محاسباتی الگوریتم ژنتیک بوده و در مسائل بزرگ این زمان بسیار زیاد محاسباتی مانع از یافتن جواب اولیه می‌شود. بنابراین الگوریتم ژنتیک از لحاظ زمان محاسباتی بسیار بهتر از LINGO است.

جدول ۴. مقایسه عملکرد الگوریتم ژنتیک با عملکرد نرم‌افزار LINGO (واحد زمان محاسباتی: ثانیه)

مثال	نوع مسئله	میانگین مقدار تابع هدف برای GA	انحراف معیار تابع هدف GA	ضریب تغییرات (CV) تابع هدف GA	میانگین زمان محاسباتی برای GA	تعداد آزمایشات GA	مقدار تابع هدف برای LINGO	زمان محاسباتی برای LINGO
P1S	کوچک	۷۰۳۰۰۰	۸۳۶۶	۰/۰۱۲	۶۴	۳۰	۷۸۲۰۰۰	۱۲۰۰
P2S	کوچک	۸۲۸۰۰۰	۱۰۸۰۲	۰/۰۱۳	۴۷	۳۰	۸۷۰۰۰۰	۱۸۰۰
P3M	متوسط	۸۷۴۴۶۶	۱۶۴۴۸	۰/۰۱۹	۱۰۷	۳۰	۹۹۸۰۰۰	۷۲۰۰
P4M	متوسط	۹۰۰۶۰۰	۲۱۹۰۳	۰/۰۲۴	۱۰۷	۳۰	۱۰۲۰۰۰۰	۱۴۴۰۰
P5L	بزرگ	۲۰۹۹۸۰۰	۴۶۷۹۹	۰/۰۲۲	۳۴۷	۳۰	جواب ناموجه	۳۶۰۰۰
P6L	بزرگ	۲۱۰۱۱۳۳	۴۵۶۹۷	۰/۰۲۲	۳۴۶	۳۰	جواب ناموجه	۳۶۰۰۰

به‌منظور بررسی تفاوت مقادیر تابع هدف بین الگوریتم ژنتیک و LINGO از آزمون تفاوت میانگین[1] برای مسائل کوچک و متوسط استفاده شد که نتایج نشان می‌دهد که در سطح معنی‌داری $\alpha = 0/01$ جواب‌های الگوریتم ژنتیک بهتر از جواب‌های LINGO است. بنابراین الگوریتم ژنتیک از لحاظ کیفیت جواب عملکرد بهتری دارد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله مفاهیم مهم و کاربردی مهندسی عوامل انسانی (یادگیری، فراموشی و خستگی) در مسئله زمان‌بندی شیفت کاری کارکنان مدل‌سازی ریاضی شده است. مدل‌سازی خستگی، یادگیری و فراموشی بااستفاده از توابع هذلولی و نمایی ویژگی اصلی و متمایز این پژوهش از مطالعات گذشته است. در این پژوهش برای حل مدل گسسته و غیرخطی ارائه شده، الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک کارایی و

1. T-Test

اثربخشی مطلوبی در یافتن جواب بهینه داشته و از لحاظ مدت زمان محاسباتی بسیار بهتر از نرم‌افزار LINGO می‌باشد. در نتایج آزمایشات مشاهده شد که نرم‌افزار LINGO در یافتن جواب اولیه برای مسائل بزرگ ناتوان است. مدل‌سازی عوامل انسانی نشان داد که پارامترهای انسانی بر کارایی کارکنان و نتیجتاً کارایی سازمان تأثیر داشته و می‌بایستی این تأثیر را در جداول زمانی کار مدنظر قرار داد. در این مطالعه با در نظر گرفتن عوامل انسانی مورد بررسی، مدل ریاضی ارائه شده از کارایی مناسبی در ارائه شیفت‌های کاری برخوردار است. مجموعه تحلیل‌ها نشان داد که تغییر در پارامترهای انسانی بر برنامه‌ریزی شیفت‌های کاری اثرگذار بوده و از این‌رو پیشنهاد می‌شود که مدیران بااستفاده از مدل ارائه شده این تأثیرات را بررسی و جداول کاری مناسبی را برای کارکنان ارائه دهند. مدل ارائه شده همچنین قابلیت دو هدفه شدن به‌منظور برنامه‌ریزی گردش شغلی با هدف بهبود سلامت کارکنان را نیز دارد که در پژوهش‌ها آتی می‌توان آن‌را مورد مطالعه قرار داد.

به‌طور کلی نتایج نشان داد که تأثیر پارامترهای انسانی بر کارایی کارکنان و سازمان در زمان‌بندی شیفت‌های کاری بااستفاده از توابع نمایی و هذلولی، قابل مدل‌سازی ریاضی بوده و الگوریتم ژنتیک ارائه شده توان لازم را در حل مدل بهینه‌سازی دارد. مدل‌سازی سایر عوامل انسانی همچون انگیزش، استرس و... در مسائل زمان‌بندی کارکنان و به‌کارگیری سایر روش‌های فراابتکاری و مقایسه نتایج، موضوعاتی هستند که می‌توان در پژوهش‌های آتی مورد مطالعه قرار داد.

منابع

1. Cai, X. and Li, K.N., (2000). A genetic algorithm for scheduling staff of mixed skills under multi-criteria. *European Journal of Operational Research*, 125(2), 359-369.
2. Lodree Jr, E.J., Geiger, C.D., and Jiang, X., (2009). Taxonomy for integrating scheduling theory and human factors: Review and research opportunities. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(1), 39-51.
3. Topaloglu, S. and Ozkarahan, I., (2004). An implicit goal programming model for the tour scheduling problem considering the employee work preferences. *Annals of Operations Research*, 128(1-4), 135-158.
4. Easton, F.F. and Rossin, D.F., (1991). Sufficient Working Subsets for the Tour Scheduling Problem. *Management Science*, 37(11), 1441-1451.
5. Li, C., Robinson, E.P., and Mabert, V.A., (1991). An Evaluation of Tour Scheduling Heuristics with Differences in Employee Productivity and Cost. *Decision Sciences*, 22(4), 700-718.
6. Brusco, M.J., Johns, T.R., and Reed, J.H., (1998). Cross-utilization of a two-skilled workforce .*Int. J. Oper. & Prod. Manag.*, 18(6), 555–564.
7. Campbell, G.M., (1999). Cross-Utilization of Workers Whose Capabilities Differ. *Management Science*, 45(5), 722-732.
8. Thompson, G.M. and Goodale, J.C., (2006). Variable employee productivity in workforce scheduling. *European Journal of Operational Research*, 170(2), 376-390.
9. Guastello, S.J., (2006) Human factors engineering and ergonomics: a systems approach: Lawrence Erlbaum Associates.
10. Niebel, B.W., (1962) Motion and time study: an introduction to methods, time study, and wage payment: Richard D. Irwin.
11. Carnahan, B.J., Norman, B.A., and Redfern, M.S., (2001). Incorporating physical demand criteria into assembly line balancing. *Iie Transactions*, 33(10), 875-887.
12. Michalos, G., Makris ,S., Rentzos, L., and Chryssolouris, G., (2010). Dynamic job rotation for workload balancing in human based assembly systems. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(3), 153-160.
13. Nembhard, D.A. and Uzumeri, M.V., (2000). An Individual-Based Description of Learning within an Organization. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 47(3), 370.
14. Azizi, N., Zolfaghari, S., and Liang, M., (2010). Modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee's boredom and skill variations. *Int. J. ProductionEconomics*, 123, 69–85.
15. YAN, J.H. and WANG, Z.M., (2011) GA Based Algorithm for Staff Scheduling Considering Learning-forgetting Effect, in *Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM), 2011 IEEE 18Th International Conference on* Changchun 122 - 126.
16. Easton, F.F., (2011). Cross-training performance in flexible labor scheduling environments. *Iie Transactions*, 43(8), 589-603.
17. F. Easton and Mansour, N., (1999). Distributed Genetic Algorithm for Deterministic and Stochastic Labor Scheduling Problems. *Eur. J. Oper. Res.*, 118(3), 505–523.

18. J. Tanomaru. (1995). Staff Scheduling by a Genetic Algorithm with Heuristic Operators. in *In Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Evolutionary Computation*. Perth, Australia.
19. F. Easton and Mansour, N. (1993). A Distributed Genetic Algorithm for Employee Scheduling Problems. in *In S. Forest (ed.), Genetic Algorithms: Proceedings of the 5th International Conference*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.
20. Diego-Mas, J.A., Asensio-Cuesta, S., Sanchez-Romero, M.A., and Artacho-Ramirez, M.A., (2009). A multi-criteria genetic algorithm for the generation of job rotation schedules. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(1), 23-33.