نشـــریه بین المللـــی مهنـدسی صنـایع و مدیـــریت تولیـد بـــهار ۱۳۸۸- صفحـه ۷۲-۶۵

شمـــاره ۱، جلـــد ۲۰، بهـــار ۱۳۸۸

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنایـــع و مدیـــریت تولیـــد

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید
دانشگاه علم و صنعت ایران

شابـک: ۷۳۷۵-۱۰۱۸

Journal Website: http://ijiefa.iust.ac.ir/

Developing a Multi-Objectives Job Rotation Model for Minimizing Job Related Injuries in Industries

A.S. Kheirkhah & V. Deljoo

A.S. Kheirkhah, *Bo-Ali-Sina Hamedan University*
V. Deljoo, *Bo-Ali-Sina Hamedan University*

Keywords

Job rotation, Multi-Objectives programming, noise, job severity, global criterion methods

ABSTRACT

Working in noisy job shops and doing hard works reduce the efficiency of workers and the resulted injuries impose cost on such an industries. Since, there are different jobs and working environment within a factory, it is possible to reduce job related injuries through a suitable job rotation program. In this paper, we propose a model for determining the job rotation program; that is a bi-objective model applied to minimize daily noise exposure index as well as minimizing job severity index due to lost working days. The Global criterion "Lp- Metric" Method is proposed as the solution methodology. Finally, the model is applied in different cases and the results indicate better utilization compared to single objective models.

© ۱۳۸۸، جلد ۲۰، شماره ۱ (نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید)

توسعه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه چرخش کار بمنظور حداقل سازی آسیب‌های شغلی در واحدهای صنعتی

امیرسامان خیرخواه و ولی اله دلجو

کلمات کلیدی

چرخش کار، برنامه ریزی چند هدفه، آلودگی صوتی، سختی کار، روش‌های Lp- metric.

چکیده:

کار در کارگاه‌های صنعتی پرسر و صدا و انجام فعالیت‌های سنگین بر کارایی کارگران تاثیر داشته و هزینه هایی را به لحاظ آسیب های شغلی برای تولیدکنندگان به همراه دارد. از آنجا که در یک واحد صنعتی کارگاه های متفاوتی به لحاظ آلودگی و نیز سختی کار وجود دارد، می‌توان با ایجاد یک برنامه چرخش کار، آسیب‌های شغلی را کاهش داد. در این مقاله مدلی برای تعیین الگوی چرخش کار ارائه می شود. این مدل یک مدل برنامه ریزی دوهدفه با اهداف حداقل سازی شاخص الودگی صوتی برای کارکنان و روزهای کاری از دست رفته ناشی از سختی کار می‌باشد. در این مقاله، با توجه به ناسازگار بودن اهداف، از تابع Lp-metric برای ادغام توابع هدف و رسیدن به یک مدل تک هدفه استفاده شده است. در نهایت نتایج بکارگیری مدل در مثالهای مختلف ارائه شده که نشاندهنده مطلوبیت مدل چند هدفه نسبت به مدل های تک هدفه موجود است.

تاریخ وصول: ۸۵/۱۰/۱۲

تاریخ تصویب: ۸۷/۹/۲۵

دکتر امیرسامان خیرخواه، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان. kheirkhah@basu.ac.ir

ولی اله دلجو، دانشکده مهندسی، دانشگاه بو علی سینا، همدان. Deljoo@gmail.com

۱. مقدمه

در واگذاری کارها، معمولاً تخصص کارگر معیار اصلی تصمیم گیری است. صرف توجه به این معیار موجب بوجود آمدن شرایطی می شود که در آن یک کارگر مجبور به انجام یک کار تکراری در طول یک دوره زمانی طولانی مدت می گردد. این امر می تواند منجر به افزایش استرس و خستگی و کسالت در بین کارگران و کاهش کارایی آنها شود. علاوه براین کار طولانی مدت در محیط های کاری پرسروصدا و آلوده و یا انجام کارهای سنگین موجب افزایش صدمات شغلی می شود که این خود یکی از منابع اصلی هزینه ای شرکت ها است [۱]. برنامه ریزی چرخش کار یکی از راه های رفع این مشکل است که اجرای آن می تواند، علاوه بر کاهش صدمات، فواید دیگری (مانند افزایش سطح تخصص کارگران) برای تولید کننده داشته باشد. تاکنون مطالعات زیادی درخصوص مشکلات کار در محیط های کاری پرسروصدا شده است [۷-۲]. نتایج این مطالعات در تحقیقات مرتبط با توسعه برنامه های چرخش کار بکارگرفته شده است. ثارمافرنفیلاس و همکاران [۸]، مدلی را برای تعیین جداول زمانبندی چرخش کار توسعه دادند که در آن هدف کاهش صدمات ناشی از آلودگی های صوتی محیط کار است. تک هدفه بودن این مدل یکی از محدودیت های آن است. در این مدل آسیب های شغلی دیگر همچون کمردردهای شغلی در نظر گرفته نشده است. لذا طرح‌هایی که با بهره‌گیری از این مدل ایجاد می‌شوند، علی رغم پایین آوردن صدمات شغلی ناشی از الودگیهای صوتی محیط کار، ممکن است کارکنان را در معرض سایر آسیبهای شغلی قرار دهد. در واقع کمردرد های شغلی از دیگر منابع هزینه ای ناشی از کارهای سنگین و تکراری است [۹] که در این مدل در نظر گرفته نشده است. کارنهان و دیگران [۱۰] چرخش کار را با هدف کاهش صدمات ناشی از بلند کردن بار انجام داده اند. آنها یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح ایجاد نموده و از الگوریتم ژنتیک برای حداقل نمودن شاخص سختی کار استفاده کرده اند. ثارمافرنفیلاس [۱۱]، یک روش برنامه ریزی عدد صحیح برای تعیین جداول زمانبندی نیروی انسانی با هدف کمینه نمودن تعداد روزهای کاری از دست رفته در اثر کمردردهای شغلی، ارائه نمود. یکی از مسائلی که قبل از اجرای یک برنامه ریزی چرخش کار باید در نظر گرفته شود، تعیین طول فواصل چرخش کار است. یک دوره چرخش کار، مدت زمانی است که کارگر قبل از اینکه به کار دیگری مشغول گردد، روی یک کار از مجموعه کارها صرف می کند. در این راستا، ثرمافرنفیلاس و نورمن [۱۲]، طول دوره چرخش مناسب را دوره ای می‌دانند که پتانسیل آسیبهای شغلی را کاهش داده و در عین حال، کیفیت محصولات کاهش نیافته و در محیط عمل نیز قابل بکارگیری باشد. آن ها برای اندازه‌گیری میزان آسیبهای شغلی از شاخص سختی کار استفاده نموده و با استفاده از روش کمی برای محاسبه بهترین طول فواصل چرخش کار اقدام نموده‌اند. سپس میزان تناسب روش خود را با بررسی اثر بخشی آن در کاهش استرس وصدمات شغلی و همچنین قابلیت بکارگیری آن در محیط عمل، تایید نموده‌اند. در این مدل پیشنهاد شده است که بهترین طول دوره چرخش کار، هر ۲ ساعت یکبار است. ثرمافرنفیلاس و نورمن [۱۳]، در تحقیق دیگری دو مدل تخصیص نیروی انسانی، یکی با هدف کاهش آسیبهای شنوایی کارکنان و دیگری با هدف کاهش آسیبهای ناشی از کمردردهای شغلی ارائه نموده و این مدلها را برای چند حالت انتخابی از طول فواصل چرخش کار حل نموده اند. سپس نتایج بدست آمده از حل مساله‌ها را مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار داده اند. در پایان نیز نتیجه گرفته‌اند که بهترین طول فواصل چرخش کار، ۲ ساعت است. تمامی مدلهای ارائه شده در ادبیات موضوعی، تک هدفه‌اند و در آنها جداول چرخش کار در برخی موارد برای حداقل نمودن آسیبهای شنوایی کارکنان ناشی از محیط کار و در سایر موارد برای حداقل نمودن کمردردهای شغلی کارکنان ناشی از بلندکردن بار ایجاد می‌گردد.

در این مقاله یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح دو هدفه برای طراحی جداول چرخش کار با در نظر گرفتن کمردردهای شغلی و آسیبهای شنوایی ناشی از محیط کار ارائه گردیده است. از یک طرف کارکنان با توجه به تخصص‌های خود و از طرف دیگر مشاغل نیز با توجه به آلودگی صوتی و توانایی فیزیکی و تخصصی مورد نیاز برای انجام آنها، به گروه‌هایی دسته بندی می‌شوند. پتانسیل ایجاد کمردرد در هر شغل با استفاده از شاخص سختی کار که توسط محققین دیگر پیشنهاد شده، ارزیابی می شود. همچنین برای ارزیابی پتانسیل آلودگی‌های صوتی، شاخص سهم آلودگی صوتی، مورد استفاده قرار گرفته است.

۲. تشریح مدل

مدل پیشنهادی، جداول چرخش کار را با در نظر گرفتن تخصص‌های کارکنان، بصورتی ایمن طراحی می‌نماید. فرضیات این مدل عبارتند از:

۱. مشاغل به چند گروه شغلی دسته بندی شده و فرض بر آن است که مشاغل موجود در هر گروه از نظر آلودگی صوتی و توانایی فیزیکی و تخصصی مورد نیاز تفاوتی با یکدیگر ندارند.
۲. کارکنان با توجه به سطوح تخصصی خود به چند دسته تخصصی تقسیم می‌شوند و کارکنان موجود در یک دسته تخصصی می‌توانند روی مجموعه مشخصی از مشاغل فعالیت کنند و از این حیث کاملا مشابه‌اند.

۲-۱. تعریف پارامترها و متغیرهای مدل

برای بیان مدل ریاضی ارائه شده، نخست بایستی پارامترها و متغیرهای بکار گرفته شده برای این کار و مفهوم آنها را تعریف نماییم:

اندیس گروه های ماشینی	$j=1,\ldots,J$
اندیس مراحل چرخش نیروی انسانی در هرروز برنامه ریزی	$t = 1, \ldots , S$
اندیس روزها در هر دوره از برنامه ریزی	$d=1,\ldots ,D$
تعداد سطوح تخصصی	K
تعداد کارکنان در سطح تخصصی k	l_k
اندیس کارگران(برای هر سطح تخصص مثلk)	$\iota=1,\ldots,l_k$
تعداد دفعات بلند کردن بار برای گروه کاریj در طول یک روز کاری	f_j
حداکثر وزنی که در طول یک روز کاری در گروه کاریj لازم است حمل شود.	WT_j
حداکثر وزنی که کارگر i ام از گروه تخصصی k می تواند در طول یک روز کاری بلند کند.	$CAP_{\iota,k}$
تعداد دفعاتی که کارگر i ام از گروه تخصصی k می تواند در طول یک روز کاری، باری حداکثر به وزن $CAP_{\iota,k}$ را بلند کند.	$FX_{\iota,k}$
شاخص ستخی کار مربوط به کارگرι ام از مجموعه کارگران مجموعه تخصص k	$JSI_{\iota,k}$
تعداد روزهای کاری درسال که کارگرι ام از مجموعه کارکنان دارای مجموعه تخصص k به دلیل آسیبهای ناشی از کمر درد، از دست می‌دهد.	$Injury_loss_{\iota,k}$
حداکثر ساعاتی که یک کارگر می تواند در هرروز آلودگی صوتی کار روی گروه کاری j را تحمل کند.	T_j
اگر کارگری با سطح تخصصk بتواند روی گروه کاری کارکند.	$I_{k,j} = \begin{cases} ۱ \\ ۰ \end{cases}$ ۱
در غیر این صورت	۰
اگر کارگر lام از مجموعه کارگرانی دارای تخصصk ، در مرحلهt ام از روز d ام به گروه کاریj تخصیص یابد.	$X_{\iota,k,j,t,d} = \begin{cases} ۱ \\ ۰ \end{cases}$ ۱
در غیر این صورت	۰
حداکثر آلودگی صوتی	D_{Max}
حداکثر مقدار شاخص سختی کار برای کارگر ι ام از مجموعه تخصصی k در روزهای برنامه‌ریزی	$JSIMAX_{\iota,k}$

۲-۲. اهداف و محدودیت های مدل

تابع هدف اول حداقل سازی D_{max} و یا حداکثر آلودگی صوتی است. بمنظور محاسبه D_{max}، از شاخص D یعنی شاخص «*نسبت آلودگی صوتی*» ارائه شده در [۵] استفاده شده که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$D = \left[\begin{array}{l} C_1 / T_1 + C_2 / T_2 + \\ .... + C_j / T_j + ... + C_n / T_n \end{array} \right] \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن:

C_j بیانگر مجموع زمانی است که شخص در معرض سطح j ام از آلودگی شنوایی قرار می گیرد و T_j نیز شاخص دیگری است ، تحت عنوان شاخص «طول زمان قابل تحمل آلودگی صوتی» و با استفاده از فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$T_j = \frac{8}{2^{(L_j - 85)/3}} \qquad (۲)$$

این فرمول میزان قابل تحمل آلودگی صوتی در یک شیفت کاری ۸ ساعته روی یک فعالیت را ارائه می‌دهد و در آن L_j نماینده سطح آلودگی بر حسب dBA می باشد. طبق بررسی‌های انجام شده، جدولی به صورت زیر برای حداکثر زمان قابل تحمل آلودگی صوتی ارائه گردیده است:

جدول ۱. ترکیب سطوح آلودگی و طول زمان قابل تحمل آلودگی صوتی [۵]

سطح آلودگیL بر حسب dBA	طول زمان قابل تحمل آلودگی صوتی Tj			سطح آلودگیL بر حسب dBA	طول زمان قابل تحمل آلودگی صوتیTj		
	ساعت	دقیقه	ثانیه		ساعت	دقیقه	ثانیه
۸۰	۲۵	۲۴	-	۸۹	۳	۱۰	-
۸۱	۲۰	۱۰	-	۹۰	۲	۳۱	-
۸۲	۱۶	-	-	۹۱	۲	-	-
۸۳	۱۲	۴۲	-	۹۲	۱	۳۵	-
۸۴	۱۰	۵	-	۹۳	۱	۱۶	-
۸۵	۸	-	-	۹۴	۱	-	-
۸۶	۶	۲۱	-	۹۵	-	۴۷	۳۷
۸۷	۵	۲	-	۹۶	-	۳۷	۴۸
۸۸	۴	-	-	از بقیه صرف نظر نمودیم.			

با استفاده از این جدول می‌توان مقادیر T_j را برای هر فعالیت در یک شیفت کاری ۸ ساعته محاسبه نمود. با توجه به اینکه S بیانگر تعداد دفعات چرخش کار در یک شیفت ۸ ساعته است و با توجه به تعریف متغیر تصمیم، C_j برای کار در روز d توسط کارگر l از گروه تخصصی k از رابطه زیر بدست می آید:

$$\sum_{t=1}^{S} \frac{X_{l,k,j,t,d} \times 8}{S} \qquad (۳)$$

با توجه به توضیحات فوق، D_{max} باید در نامعادلات زیر صدق کند:

$$\sum_{t=1}^{S} \sum_{j=1}^{J} \frac{X_{\iota,k,j,t,d} \cdot 8}{T_j \cdot S} \le D_{Max} \qquad \forall \iota,k,d \qquad (۴)$$

در نامعادلات فوق، طرف سمت چپ، شاخص نسبت آلودگی صوتی را برای هریک از کارکنان در هر یک از روزهای برنامه‌ریزی، محاسبه می‌نماید و در نتیجه سمت راست این محدودیت، ماکزیمم نسبت آلودگی صوتی را در میان کارکنان در کل دوره برنامه‌ریزی، به دست خواهد داد. درنهایت تابع هدف اول قصد دارد تا این مقدار را حداقل نماید.

در مورد بهترین مقدار برای S (طول دوره چرخش کار) تا کنون چندین تحقیق انجام شده است که با توجه به نتایج این تحقیقات پیشنهاداتی نیز ارائه گردیده است. به عنوان نمونه نقل قولی از یکی از این تحقیقات در اینجا آورده شده است که می تواند در تشخیص بهترین طول دوره چرخش کار راهگشا باشد:

"بهره‌گیری از دوره‌های چرخش کار ۲ ساعته برای کارهایی که شامل بلند کردن بار هستند، توسط مطالعات میدانی، تائید گردیده است. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که طول دوره چرخش کار اجرا شده ، به مقدار زیادی بستگی به نوع کارهای موجود در آن سیستم داشته است، اما به هر حال در بسیاری از نمونه های واقعی، دوره های چرخش کار ۲ ساعتی به کار گرفته شده است. با این وجود، در اغلب موارد، قبل از نتیجه گیری قاطع در مورد اینکه آیا بکار گیری دوره چرخش ۲ ساعته مناسبترین انتخاب خواهد بود، بایستی سیستم، مورد ارزیابی قرار گیرد. "[۸]

تابع هدف دوم قصد دارد تا صدمات ناشی از کمردردهای شغلی را حداقل نماید. بدین منظور از شاخص سختی کار استفاه شده است. این شاخص به صورت مجموع نسبت هر یک از کارهایی که کارگر انجام می دهد به ظرفیت او برای انجام آن کار محاسبه می گردد:

$$\text{JSI} = \frac{\text{کاری که اپراتور انجام می دهد.}}{\text{توانایی که برای انجام آن کار دارد.}}$$

شاخص سختی کار برای هر کارگر l در هر گروه تخصصی k و در هر روز d از دوره برنامه ریزی، به ترتیب زیر محاسبه می گردد:

$$JSI_{\iota,k,d} = \sum_{t=1}^{S}\sum_{j=1}^{J}\frac{f_j \cdot X_{\iota,k,j,t,d} \cdot WT_j}{FX_{\iota,k} \cdot CAP_{\iota,k}} \qquad \forall\, \iota, k, d \qquad (۵)$$

بیشترین مقدار شاخص سختی کار برای هر یک از کارکنان در کل دوره برنامه ریزی با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$JSI_{\iota,k,d} \le JSIMAX_{\iota,k} \qquad \forall\, \iota, k, d \qquad (۶)$$

در تحقیقی که توسط ثارمافورفیلاس و دیگران [۱۱] انجام شده است، بین تعداد روزهای از دست رفته در سال و شاخص سختی کار، رابطه ای به صورت زیر پیشنهاد شده است :

$$Injury_loss = \begin{cases} 0.89 + 8.63\ JSI & 0 \le JSI \le 1.5 \\ -547.54 + 374.25\ JSI & 1.5 \le JSI \le 1.6 \\ 20.0467 + 19.51\ JSI & 1.6 \le JSI \end{cases} \qquad (۷)$$

ازآنجایی که این رابطه ملموس‌تر از شاخص سختی کار بوده و به معیارهای کمی نزدیکتر است، تابع هدف دوم به گونه‌ای فرمولبندی شده است تا تعداد روزهایی که به واسطه آسیبهای ناشی از کمردردهای شغلی در هر سال از دست می رود، حداقل نماید. اما برای در نظر گرفتن رابطه ارائه شده بین شاخص سختی کار و تعداد روزهای از دست رفته *Injury_loss*، بایستی آنرا خطی نمود. اینکار با استفاده از محدودیتهای زیر انجام گرفته است:

$$Injury_loss_{\iota,k} = 0.888\ yx_1 + 8.633\ JSI^1_{\iota,k} - 547.5405\ yx_2 + 374.2520\ JSI^2_{\iota,k} + 20.0467\ yx_3 + 19.51\ JSI^3_{\iota,k} \qquad \forall\, \iota, k \qquad (۸)$$

$$JSIMAX_{\iota,k} = JSI^1_{\iota,k} + JSI^2_{\iota,k} + JSI^3_{\iota,k} \qquad \forall\, \iota, k \qquad (۹)$$

$$0 \le JSI^1_{\iota,k} \le 1.5\,yx_{\iota,k,1},\quad 1.5\,yx_{\iota,k,2} \le JSI^2_{\iota,k} \le 1.6\,yx_{\iota,k,2},\quad JSI^3_{\iota,k} \ge 1.6\,yx_{\iota,k,3} \qquad \forall\, \iota, k \qquad (۱۰)$$

$$yx_{\iota,k,1} + yx_{\iota,k,2} + yx_{\iota,k,3} = 1 \qquad \forall\, \iota, k \qquad (۱۱)$$

متغیر های yx متغیرهای صفر و یک هستند.

تعدادی از محدودیتها در مدل ارتباطی با اهداف نداشته و یا برای تشکیل ساختار مساله تخصیص و یا به صورت محدودیتهای اختیاری در مدل وارد گردیده‌اند. بنابراین می‌توان آن ها را به دو مجموعه محدودیتهای ساختاری و محدودیتهای اختیاری تقسیم بندی نمود.

الف)محدودیتهای ساختاری:

این محدودیتها ساختارمساله تخصیص کارکنان را ایجاد می کند و وجود آن ها فارغ از تابع هدفهای بکارگرفته شده، ضروری است. این محدودیت ها در مدل با شماره های ۱۴، ۱۵ و ۱۶ مشخص شده است. محدودیت (۱۴) ایجاب می‌کند که در هر مرحله از چرخش کار، هر کارگر فقط به یک نوع ماشین اختصاص یابد. محدودیت (۱۵) ایجاب می‌کند که تعداد کارکنانی که در هر مرحله از هر روز به یک نوع ماشین اختصاص می یابند، درست به اندازه تعداد ماشین آلات موجود از آن نوع باشد. محدودیت (۱۶) ایجاب می کند که

کارکنان تنها به ماشین آلاتی تخصیص یابند که توانایی کار روی آن ها را داشته باشند. طرف سمت راست این نامعادله عنصر $I_{j,k}$ از جدول امکان پذیری فعالیت گروه‌های تخصصی روی ماشین آلات است که در صورتی که انجام کار روی گروه کاری j توسط گروه تخصصی k ممکن باشد مقدار۱ و در غیر اینصورت مقدار صفر خواهد داشت و همانگونه که در بخش داده های ورودی بیان گردید، جزء ورودیهای مدل است.

ب) محدودیتهای اختیاری:

این دسته از محدودیتها، برای کنترل بیشتر آسیبهای شغلی، حدودی را برای شاخصهای ارگونومیکی در نظر می گیرند. این محدودیت ها در مدل بر روی D_{Max} یعنی مجموعه محدودیت های شماره ۱۸ و نیز بر روی JSIMAX یعنی مجموعه محدودیت های شماره ۲۵ ، بطور اختیاری اعمال می شود. لازم به ذکر است با توجه به دو هدفه بودن مساله این دو مجموعه محدودیت به صورت محدودیت های نرم در مدل اعمال شده‌اند، به این معنی که هردو نوع متغیرها می‌توانند یکی از مقادیر حدی سخت گیرانه، متوسط، و آستانه ای را بخود بگیرند. این مقادیر از پارامتر های مدل هستند و می‌توانند بر اساس استانداردهای مختلف ایمنی مشخص شوند.

D_{ST}، D_M و D_{TR} به ترتیب مقادیر سخت گیرانه، متوسط و آستانه ای را برای همین مقادیر جدی در مورد JSIMAX از حروف ST، M و TR استفاده شده است. به این ترتیب می توان مشخص کرد که آیا در مورد تمام شاخص های ارگونومیکی حدود سخت گیرانه و یا برای بعضی حداقل از حدود متوسط و برای بعضی دیگر حدود آستانه ای انتخاب شود.

۳-۲. مدل برنامه ریزی چندهدفه

با تعریف توابع هدف و محدودیت‌ها شکل کلی مد به صورت زیر خواهد بود:

$$Min\ D_{Max} \tag{۱۲}$$

$$Min \sum_{k=1}^{K}\sum_{\iota}^{l_k} Injury_loss_{\iota,k} \tag{۱۳}$$

s.t

$$\sum_{j=1}^{J} X_{\iota,k,j,t,d} \le 1 \qquad \forall\ \iota, k, t, d \tag{۱۴}$$

$$\sum_{l=1}^{l_k} X_{\iota,k,j,t,d} \ge N_j \qquad \forall j, t, d \tag{۱۵}$$

$$X_{\iota,k,j,t,d} \le I_{j,k} \qquad \forall\ \iota, k, j, d, t \tag{۱۶}$$

$$\sum_{t=1}^{S}\sum_{j=1}^{J} \frac{X_{\iota,k,j,t,d}\ .\ 8}{T_j\ .\ S} \le D_{Max} \qquad \forall\ \iota, k, d \tag{۱۷}$$

$$\begin{aligned} &D_{Max} \le D_{ST}.tx_1 + D_M.tx_2 + D_{TR}.tx_3 \\ &tx_1 + tx_2 + tx_3 = 1 \\ &tx_i = 0\ or\ \ 1 \qquad i = 1,2,3 \end{aligned} \tag{۱۸}$$

$$JSI_{\iota,k,d} = \sum_{t=1}^{S}\sum_{j=1}^{J} \frac{f_j\ .\ X_{\iota,k,j,t,d}\ .\ WT_j}{FX_{\iota,k}\ .\ CAP_{\iota,k}} \tag{۱۹}$$

$$\forall \iota, k, d$$

$$\begin{aligned} &JSI_{\iota,k,d} \le JSIMAX_{\iota,k} \\ &\forall\ \iota, k, d \end{aligned} \tag{۲۰}$$

$$\begin{aligned} &Injury_loss_{\iota,k} = 0.88\,yx_1 + 8.633\,JSI^1_{\iota,k} \\ &- 547.54\,yx_2 + 374.252\,JSI^2_{\iota,k} \\ &+ 20.046\,yx_3 + 19.51\,JSI^3_{\iota,k} \\ &\forall\ \iota, k \end{aligned} \tag{۲۱}$$

$$JSIMAX_{\iota,k} = JSI^1_{\iota,k} + JSI^2_{\iota,k} + JSI^3_{\iota,k}\ \forall \iota, k \tag{۲۲}$$

$$\begin{aligned} &0 \le JSI^1_{\iota,k} \le 1.5yx_{\iota,k,1}, 1.5yx_{\iota,k,2} \le JSI^2_{\iota,k} \le 1.6yx_{\iota,k,2} \\ &, JSI^3_{\iota,k} \ge 1.6yx_{\iota,k,3} \\ &\forall \iota, k \end{aligned} \tag{۲۳}$$

$$yx_{\iota,k,1} + yx_{\iota,k,2} + yx_{\iota,k,3} = 1 \qquad \forall \iota, k \tag{۲۴}$$

$$\begin{aligned} &JSIMAX_{\iota,k} \le e_1.ST + e_2.M + e_3.TR \\ &e_1 + e_2 + e_3 = 1 \\ &e_1, e_2, e_3 = 0\ or\ \ 1 \\ &yx_{\iota,k,1}, yx_{\iota,k,2}, yx_{\iota,k,3} = 0\ \ or\ \ 1\ \ \forall \iota, k\ , \end{aligned} \quad \forall \iota, k \tag{۲۵}$$

$$Injury_loss_{\iota,k} \ge 0\ \ \forall \iota, k\ ,$$

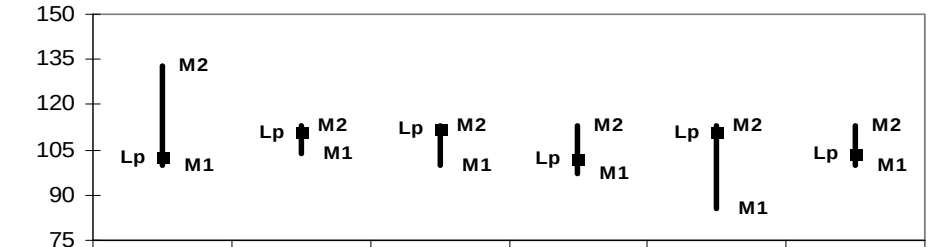
$$I_{j,\alpha} = 0\ \ or\ \ 1\ \ \forall j, k\ ,$$

$$X_{\iota,k,j,t,d} = 0\ \ or\ \ 1\ \ \forall \iota, \alpha, j, t, d$$

۳. روش حل پیشنهادی

مدل پیشنهادی ما، یک مدل برنامه ریزی چند هدفه است که توابع هدف آن کاملاً ناسازگارند. برای حل این مدل، از روش LP-Metric که یکی از روشهای شناخته شده در حل مسائل چند هدفه است، استفاده شده است.

بر اساس این روش، مساله دو هدفه ابتدا با توجه به هر یک از اهداف مدل، بطور جداگانه حل شده و بهترین مقدار برای اهداف بدست می‌آید. سپس یک مساله یکپارچه تشکیل می‌شود که قصد دارد تا مجموع استاندارد شده اختلاف بین هر یک از اهداف با مقدار بهینه آن ها را با توجه به محدودیتهای مدل کمینه نماید.



	مثال 1	مثال 2	مثال 3	مثال 4	مثال 5	مثال 6
M1	100	103.5714	100	97.14286	85.71429	100
M2	133	113	113.28	113.28	113.28	113.28
Lp	102.7778	110.7143	112	101.7856	110.7143	103.5714

شکل۱. بیشینه مقدار آلودگی صوتی در مثالهای مطروحه با توجه به هر یک از مدلها

در این تحقیق فرض کنید که دو تابع هدف مدل با نامهای OB1 و OB2 نامگذاری شده اند و پس از حل جداگانه مدل با توجه به هر یک از اهداف، مقدار بهینه برای آنها به ترتیب برابر با $OB1^*$ و $OB2^*$ بدست آمده است. آنگاه مساله LP-Metric با توجه به تمامی محدودیتهای مدل بصورت زیر تشکیل می‌گردد (نرم L_1):

$$Min\left[W_1.\frac{(OB1-OB1^*)}{OB1^*}+W_2.\frac{(OB2-OB2^*)}{OB2^*}\right]$$

که در آن W_1,W_2 عوامل وزنی هستند که توسط تصمیم گیرنده برای اهداف در نظر گرفته می شود. مساله تک هدفه فوق به راحتی توسط نرم افزارهای موجود در زمینه حل مسائل برنامه ریزی ریاضی قابل حل خواهد بود.

۴. نتایج محاسباتی

در این مرحله، با بهره گیری از تحقیقات پیشین ۶ مثال مختلف برای ارزیابی کارایی مدل پیشنهادی طراحی شده، که پارامترهای اصلی این مثال‌ها در جدول۲ ارائه گردیده است (محدودیت‌های اختیاری در این مثال‌ها در نظر گرفته نشده است). برای تأکید بر اهمیت در نظر گرفتن همزمان آسیبهای شنوایی و کمردردهای شغلی که در این تحقیق بدان پرداخته شده، سه مدل به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

۱. مدل۱، که شامل اولین تابع هدف و محدودیتهای مربوط به آن است.
۲. مدل۲، که شامل دومین تابع هدف و محدودیتهای مربوط به آن است.
۳. مدل LP-Metric

جدول۲. پارامترهای ابعادی اصلی مثالهای طرح شده

کد مثال	تعداد گروههای تخصصی	تعداد گروه های ماشینی	مجموع کارکنان در سیستم	مجموع ماشین آلات در سیستم
۱	۳	۳	۶۲	۶۲
۲	۴	۴	۸۹	۸۰
۳	۵	۵	۱۰۳	۹۰
۴	۶	۶	۱۲۳	۱۰۵
۵	۷	۷	۱۴۸	۱۲۷
۶	۸	۸	۱۷۰	۱۴۷

این مدلها برای هر یک از مثالهای، حل شده و دو شاخص زیر برای مقایسه کارایی مدلها بکار گرفته شده‌اند:

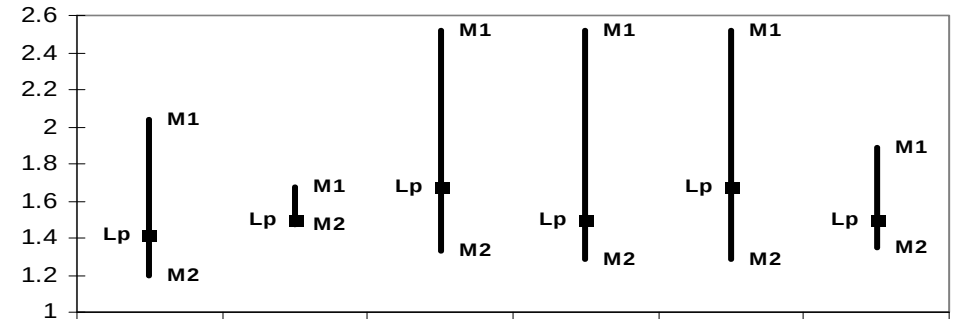
۱. حداکثر مقدار شاخص آلودگی صوتی در میان کارکنان.
۲. حداکثر مقدار شاخص سختی کار در میان کارکنان.

مقادیر بیشینه آلودگی صوتی بدست آمده ازحل هر یک از مدلها و هر یک از مثالها، در شکل۱ نشان داده شده و مقادیر بیشینه سختی کار بدست آمده ازحل هر یک از مدلها و هر یک از مثالها نیز در شکل۲ نشان داده شده است. به عنوان نمونه در مثال ۱ اگر تنها آلودگی صوتی را حداقل کنیم به مقدار ۱۰۰ برای این شاخص خواهیم رسید و اگر به دنبال حداقل کردن سختی کار باشیم، حداکثر آلودگی صوتی در میان کارکنان مقدار بالایی یعنی ۱۳۳ خواهد داشت.

جواب حاصل از روش LP- Metric مقدار میانه ای را برای شاخص آلودگی صوتی بدست می آورد، یعنی مقدار ۱۰۲/۷۷ که این موارد در نمودار شکل ۱ نشان داده شده است.

بهترین نتایج برای شاخص D_{max} با استفاده از مدل اول بدست آمده ولی بهترین نتایج برای شاخص سختی کار با استفاده از مدل دوم حاصل گردیده است که این موضوع با توجه به شکل تابع هدف این دو مدل امری بدیهی است. از طرف دیگر مدل اول بدترین نتایج را برای شاخص سختی کار و مدل دوم بدترین مقدار را برای شاخص

D_{max} بدست می‌دهد. در واقع از آنجا که ماهیت دو تابع هدف باهم در تضاد هستند، با حل هر یک از مثال‌ها با توجه به هر یک از مدلهای اول و دوم، جوابهایی حاصل می‌گردد که مقدار یک شاخص برای آن ها مناسبترین و شاخص دیگر نامناسبترین خواهد بود.



	مثال 1	مثال 2	مثال 3	مثال 4	مثال 5	مثال 6
M1	2.04	1.68	2.52	2.52	2.52	1.89
M2	1.2	1.47	1.33	1.285714	1.285714	1.35
Lp	1.416667	1.5	1.68	1.5	1.68	1.5

شکل۲. بیشینه مقدار شاخص سختی کاردر مثالهای مطروحه با توجه به هر یک از مدلها

اما با در نظر گرفتن همزمان هر دو شاخص، نمودارها حاکی از آن هستند که نتایج میانی با استفاده از مدل LP-Metric حاصل می‌شود (جدول ۳). در واقع این روش توازنی بین شاخصهای D_{max} و سختی کار برقرار می‌کند و سعی می‌کند تا جوابهای بدست آمده تا حد ممکن به مقادیر بهینه خود نزدیک باشند و در مجموع کارکنان کمترین آسیب‌های شغلی را متحمل شوند. (همانطور که در نمودارهای شکل یک و دو مشخص است برنامه حاصله از مدل Lp- Metric در تمام مثال‌ها مقداری بین بدترین و بهترین مقدار سختی کار و یا آلودگی صوتی را بدست آورده است و بیشتر نقاط مربوط به این مدل در هر دو نمودار به مقدار حداقل نزدیک تر است).

جدول ۳. مقایسه مقدار شاخص های جواب مدل L_1 و بهترین و بدترین مقدار شاخص ها در بین راه حل های موثر مسائل

	مثال ۱			مثال ۲			مثال ۳		
	بهترین مقدار	جواب L1	بدترین مقدار	بهترین مقدار	جواب L1	بدترین مقدار	بهترین مقدار	جواب L1	بدترین مقدار
شاخص الودگی صوتی	۱۰۰	۱۰۲/۷۸	۱۳۳	۱۰۲	۱۱۰	۱۳۳	۱۰۰	۱۱۲	۱۳۳
شاخص سختی کار	۱/۲	۱/۴۱	۲/۰۴	۱/۴۷	۱/۵	۱/۶۸	۱/۳۳	۱/۶۸	۲/۵۲

۵. خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله مدلی برای طراحی گردش کار با توجه به سطوح تخصصی کارکنان مورد توجه قرار گرفت. در این راستا یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح چند هدفه برای تعیین جداول گردش نیروی انسانی ارائه گردید که دو تابع هدف را بطور همزمان در نظر می‌گیرد.

اولین تابع هدف, قصد دارد تا صدمات ناشی از قرار گرفتن کارکنان در معرض آلودگیهای صوتی محیط‌کار را حداقل نماید. تابع هدف دوم بدین منظور طراحی شده تا روزهای کاری ازدست رفته به دلیل سختی کار را کمینه نماید. روزهای کاری ازدست رفته در اثر سختی کار و نیز شدت آلودگیهای صوتی محیط کار، با بهره گیری از برخی شاخص‌های موجود در این زمینه محاسبه شد

در ادامه، مدل چند هدفه ارائه شده با استفاده از رویکرد LP-Metric به یک مساله تک هدفه و یکپارچه تبدیل گردیده و سپس حل می شود. در نهایت نتایج بدست آمده از مدل چند هدفه و مدلهای تک هدفه موجود با یکدیگر مقایسه شده‌اند که بررسی نتایج بدست آمده حاکی از برتری مدل و نیز رویکرد حل پیشنهادی است.

مدل پیشنهادی در این تحقیق می تواند در بهبود شرایط کاری مفید واقع شود اما از نظر کاربردی دارای محدودیت‌هایی می باشد که رفع این محدودیت ها می تواند به عنوان زمینه‌های تحقیقات آتی مطرح باشد: اول آنکه توابع و پارامترهای مدل که در تعیین روزهای کاری ازدست رفته و حدود تحمل نیروی انسانی و شاخص های محیطی بکار گرفته شده، براساس شرایط کاری کارگاه ها در ایران تهیه نشده است. دوم آنکه در تخصیص نیروی انسانی، دیگر

هزینه‌های تخصیص (غیر از هزینه‌های ناشی از آلودگی صوتی و روزهای کاری ازدست رفته) بطور مستقیم در مدل در نظر گرفته نشده است. به عبارتی هزینه انجام کار توسط کارگر با سطح تخصصی مشخص در مدل در نظر گرفته نشده است. این مشکل را می‌توان با در نظر گرفتن یک تابع هدف سوم در مدل در نظر گرفت اما این کار مستلزم بکارگیری روش‌های حل پیچیده‌تر و احتمالاً استفاده از روش‌های فوق ابتکاری در حل مدل خواهد بود.

مراجع

[1] Tharmmaphornphilas, W., *Developing Worker Rotation Schedule Based Upon Workers Skills to Minimize Occupation Injury*. 35th International Conference on Computers and Industrial Engineering, 2004.

[2]. Leigh, J.P., Miller, T.R.,. *Job-related Diseases and Occupations Within a Large Workers'* compensation data set. Am. J. Ind. Med. 33: 1998, pp. 197–211.

[3]. Daniell, W.E, Fulton-Kehoe, D., Smith-Weller, T., M.Franklin, G., *Occupational Hearing loss in Washington State*, 1984–1991:II. Morbidity and associated costs. Am. J. Ind. Med. 33: 1998, pp. 529–536.

[4]. Niebel, B., Freivalds, A.,. *Methods Standards and Work Design*, 10th ed. New York: McGraw-Hill, 1999.

[5]. National Institute of Occupational Safety and Health, The National Occupational Research Agenda (NORA) (DHHS [NIOSH] Pub. no. 96–115). Washington, D.C., Department of Health and Human Services, 1996.

[6]. Occupational Safety and Health Administration, Guidelines for Noise Enforcement: Appendix A (OSHA directive CPL 2–2.35A). Washington D.C., U.S. Department of Labor, 1983.

[7]. National Institute of Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard: Occupational Noise Exposure (DHHS [NIOSH] Pub. no. 98–126). Washington, D.C.,Department of Health and Human Services, 1998.

[8]. Tharmmaphornphilas, W., Norman, B., *Applying Mathematical Modeling to Create Job Rotation Schedules for Minimizing Occupational Noise Exposure*, AIHA Journal 64, 2003, pp. 401–405 .

[9]. Frymoyer, J.W., *Cost and Control of Industrial Musculoskeletal Injuries*. In: M. Nordin, G. B. J. Andersson, & M. H. Pope, Musculoskeletal Disorders in the Workplace: Principle and Practice, (pp. 62-71). St. Louis, MO: Mosby Year Book, 1997.

[10]. Carnahan, B.J., Norman, B.A., Redfern, M.S., *Designing Safe Job rotation Schedules Using Optimization and Heuristic Search*. J. Ergonomics, 43(4), 2000, pp. 43-560.

[11]. Tharmmaphornphilas, W., *Developing Worker Rotation Schedule Based upon Workers Skills to Minimize Occupation Injury*. 35th International Conference on Computers and Industrial Engineering, 2004.

[12].Tharmmaphornphilas, W., Norman, B., *A Mathematical Analysis of Job Rotation Interval Lengths.Pitsburg* University Press, 2003.

[13].Tharmmaphornphilas, W., Norman, B., *A Quantitative Method for Designing Proper Job Rotation Intervals*, Annals of Operation Research, 2004.