

## 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

### چکیده:

کار در کارگاه‌های صنعتی پرسر و صدا و انجام فعالیت‌های سنگین بر کارایی کارگران تاثیر داشته و هزینه‌هایی را به لحاظ آسیب‌های شغلی برای تولیدکنندگان به همراه دارد. از آنجا که در یک واحد صنعتی کارگاه‌های 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 می‌شود. این مدل یک مدل برنامه ریزی دهدفه با اهداف حداقل سازی شاخص آلودگی 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.

### کلمات کلیدی

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

تاریخ وصول: ۸۵/۱۰/۱۲

تاریخ تصویب: ۸۷/۹/۲۵

دکتر امیرسامان خیرخواه، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان. [kheirkhah@basu.ac.ir](mailto:kheirkhah@basu.ac.ir)

ولی اله دلجو، دانشکده مهندسی، دانشگاه بو علی سینا، همدان. [Deljoo@gmail.com](mailto: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 بر این 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 [۲-۷]. نتایج این مطالعات در تحقیقات مرتبط با توسعه برنامه های چرخش کار بکارگرفته شده است. ثارمافرنفیلد 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 طرح هایی که با بهره گیری از این مدل ایجاد می شوند، علی رغم پایین آوردن صدمات شغلی ناشی از آلودگی های صوتی محیط کار، ممکن است کارکنان را در معرض سایر آسیب های 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. ثارمافرنفیلد [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، ثارمافرنفیلد و نورمن [۱۲]، طول دوره چرخش مناسب را دوره ای می دانند که پتانسیل آسیب های شغلی را کاهش داده و در عین حال، کیفیت محصولات کاهش نیافته و در محیط عمل نیز قابل بکارگیری باشد. آن ها برای اندازه گیری میزان آسیب های شغلی از شاخص سختی کار استفاده نموده و با استفاده از روش کمی برای محاسبه بهترین طول فواصل چرخش کار اقدام نموده اند. سپس میزان تناسب روش خود

را با بررسی اثر بخشی آن در کاهش استرس و صدمات شغلی و همچنین قابلیت بکارگیری آن در محیط عمل، تایید نموده اند. در این مدل پیشنهاد شده است که بهترین طول دوره چرخش کار، هر ۲ ساعت یکبار است. ثارمافرنفیلد و نورمن [۱۳]، در تحقیق دیگری دو مدل تخصیص نیروی انسانی، یکی با هدف کاهش آسیب های شنوایی کارکنان و دیگری با هدف کاهش آسیب های 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 مساله ها را مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار داده اند. در پایان نیز نتیجه گرفته اند که بهترین طول فواصل چرخش کار، ۲ ساعت است. تمامی مدل های ارائه شده در ادبیات موضوعی، تک هدفه اند و در آنها جداول چرخش کار در برخی موارد برای حداقل نمودن آسیب های شنوایی کارکنان ناشی از محیط کار و در سایر موارد برای حداقل نمودن کمردردهای شغلی کارکنان ناشی از بلند کردن بار ایجاد می گردد.

در این مقاله یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح دو هدفه برای طراحی جداول چرخش کار با در نظر گرفتن کمردردهای شغلی و آسیب های شنوایی ناشی از محیط کار ارائه گردیده است. از یک طرف کارکنان با توجه به تخصص های خود و از طرف دیگر مشاغل نیز با توجه به آلودگی صوتی و توانایی فیزیکی و تخصصی مورد نیاز برای انجام آنها، به گروه هایی دسته بندی می شوند. 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 آلودگی های صوتی، شاخص سهم آلودگی صوتی، مورد استفاده قرار گرفته است.

## ۲. تشریح مدل

مدل پیشنهادی، جداول چرخش کار را با در نظر گرفتن تخصص های کارکنان، بصورتی ایمن طراحی می نماید. 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 می شوند و کارکنان موجود در یک دسته تخصصی می توانند روی مجموعه مشخصی از مشاغل فعالیت کنند و از این حیث کاملاً مشابه اند.

### ۱-۲. 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:

که در آن:

$C_j$  بیانگر مجموع زمانی است که شخص در معرض سطح  $L_j$  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:

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

این فرمول میزان قابل تحمل آلودگی صوتی در یک شیفت کاری ۸ ساعته روی یک فعالیت را ارائه می دهد و در آن  $L_j$  نماینده سطح آلودگی بر حسب dBA می باشد. طبق بررسی های 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 آلودگی L			طول زمان قابل تحمل Tj		
بر حسب dBA			بر حسب ساعت		
۸۰	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵
۲۵	۲۰	۱۶	۱۲	۱۰	۸
۲۴	۱۰	-	۴۲	۵	-
۸۰	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵
۳	۲	۲	۱	۱	-
۱۰	۳۱	-	۳۵	۱۶	-
۸۹	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴
۳	۲	۲	۱	۱	-
۳۷	۴۷	-	۴۷	۳۷	-
۸۹	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴
۳	۲	۲	۱	۱	-
۴۸	۳۷	-	۳۷	۴۸	-
۸۷	۸۸	-	۲	۵	۴
-	-	-	-	-	-

از بقیه صرف نظر نمودیم.

با استفاده از این جدول می توان 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  $I$  از گروه تخصصی  $k$  از رابطه زیر بدست می آید:

$$\sum_{t=1}^S \frac{X_{I,k,j,t,d} \times 8}{S} \quad (3)$$

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

$$\sum_{t=1}^S \sum_{j=1}^J \frac{X_{I,k,j,t,d} \cdot 8}{T_j \cdot S} \leq D_{Max} \quad \forall I,k,d \quad (4)$$

$j=1, \dots, J$

$t = 1, \dots, S$

$d=1, \dots, D$

$K$

$l_k$

$t=1, \dots, l_k$

$f_j$

$WT_j$

$CAP_{I,k}$

$FX_{I,k}$

$JSI_{I,k}$

$Injury\_loss_k$

$T_j$

$I_{k,j} =$

$X_{I,k,j,t,d} =$

$D_{Max}$

$JSIMAX_k$

اندیس گروه های ماشینی

اندیس مراحل چرخش نیروی انسانی در هر روز برنامه ریزی

اندیس روزها در هر دوره از برنامه ریزی

تعداد سطوح تخصصی

تعداد کارکنان در سطح تخصصی  $k$

اندیس کارگران (برای هر سطح تخصصی مثل  $k$ )

تعداد دفعات بلند کردن بار برای گروه کاری  $J$  در طول یک روز کاری

حداکثر وزنی که در طول یک روز کاری در گروه کاری  $J$  لازم است حمل شود.

حداکثر وزنی که کارگر  $i$  ام از گروه تخصصی  $k$  می تواند در طول یک روز کاری بلند کند.

تعداد دفعاتی که کارگر  $i$  ام از گروه تخصصی  $k$  می تواند در طول یک روز کاری، باری حداکثر به وزن  $CAP_{I,k}$  را بلند کند.

شاخص سختی کار مربوط به کارگر  $i$  ام از مجموعه کارگران مجموعه تخصص  $k$

تعداد روزهای کاری در سال که کارگر  $i$  ام از مجموعه کارکنان دارای مجموعه تخصص  $k$  به دلیل آسیبهای ناشی از کمردرد، از دست می دهد.

حداکثر ساعاتی که یک کارگر می تواند در هر روز آلودگی صوتی کار روی گروه کاری  $J$  را تحمل کند.

اگر کارگری با سطح تخصص  $k$  بتواند روی گروه کاری کار کند.

در غیر این صورت

اگر کارگر  $i$  ام از مجموعه کارگرانی دارای تخصص  $k$ ، در مرحله  $t$  ام از روز  $d$  ام به گروه کاری  $J$  تخصیص یابد.

در غیر این صورت

حداکثر آلودگی صوتی

حداکثر مقدار شاخص سختی کار برای کارگر  $i$  ام از مجموعه تخصصی  $k$  در روزهای برنامه ریزی

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

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 «سبب آلودگی صوتی» ارائه شده در [۵] استفاده شده که به صورت زیر محاسبه می شود:

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 «سبب آلودگی صوتی» ارائه شده در [۵] استفاده شده که به صورت زیر محاسبه می شود:

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 «سبب آلودگی صوتی» ارائه شده در [۵] استفاده شده که به صورت زیر محاسبه می شود:

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 «سبب آلودگی صوتی» ارائه شده در [۵] استفاده شده که به صورت زیر محاسبه می شود:

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 «سبب آلودگی صوتی» ارائه شده در [۵] استفاده شده که به صورت زیر محاسبه می شود:

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 «سبب آلودگی صوتی» ارائه شده در [۵] استفاده شده که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$D = \left[ C_1 / T_1 + C_2 / T_2 + \dots + C_j / T_j + \dots + C_n / T_n \right] \times 100 \quad (1)$$

$$Injury\_loss = \begin{cases} 0.89 + 8.63 JSI - 547.54 & 0 \leq JSI \leq 1.5 \\ 374.25 JSI + 20.0467 & 1.5 \leq JSI \leq 1.6 \\ 19.51 JSI & 1.6 \leq JSI \end{cases} \quad (7)$$

از آنجایی 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 می‌رود، 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:

$$Injury\_loss_{i,k} = 0.888 yx_1 + 8.633 JSI_{i,k}^1 - 547.5405 yx_2 \quad \forall i, k \quad (8)$$

$$+ 374.2520 JSI_{i,k}^2 + 20.0467 yx_3 + 19.51 JSI_{i,k}^3 \quad \forall i, k \quad (9)$$

$$0 \leq JSI_{i,k}^1 \leq 1.5 yx_{i,k,1}, \quad \forall i, k \quad (10)$$

$$1.5 yx_{i,k,2} \leq JSI_{i,k}^2 \leq 1.6 yx_{i,k,2}$$

$$, JSI_{i,k}^3 \geq 1.6 yx_{i,k,3} \quad \forall i, k \quad (11)$$

$$yx_{i,k,1} + yx_{i,k,2} + yx_{i,k,3} = 1 \quad \forall i, k \quad (11)$$

متغیرهای  $yx$  متغیرهای صفر و یک هستند. تعدادی از محدودیتهای 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 آن‌ها را به دو مجموعه محدودیتهای ساختاری و محدودیتهای اختیاری تقسیم بندی نمود.

#### الف) محدودیتهای ساختاری:

این محدودیتهای ساختارمساله تخصیص کارکنان را ایجاد می‌کند و وجود آن‌ها فارغ از تابع هدفهای بکارگرفته شده، ضروری است. این محدودیت‌ها در مدل با شماره‌های 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 می‌یابند، درست به اندازه تعداد ماشین آلات موجود از آن نوع باشد. محدودیت (۱۶) ایجاب می‌کند که

در نامعادلات فوق، طرف سمت چپ، شاخص نسبت آلودگی صوتی را برای هر یک 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. در نهایت 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 می‌تواند 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، تأیید 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 نمونه‌های واقعی، دوره‌های چرخش کار ۲ ساعته به کار گرفته شده است. با این وجود، در اغلب موارد، قبل از نتیجه‌گیری قاطع در مورد اینکه آیا بکارگیری 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 استفاده شده است. این شاخص به صورت مجموع نسبت هر یک از کارهایی که کارگر انجام می‌دهد به ظرفیت او برای انجام آن کار محاسبه می‌گردد:

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

شاخص سختی کار برای هر کارگر  $l$  در هر گروه تخصصی  $k$  و در هر روز  $d$  از دوره برنامه‌ریزی، به ترتیب زیر محاسبه می‌گردد:

$$JSI_{i,k,d} = \sum_{j=1}^s \sum_{t=1}^l \frac{f_j \cdot X_{i,k,j,t,d} \cdot WT_j}{FX_{i,k} \cdot CAP_{i,k}} \quad \forall i, k, d \quad (5)$$

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

$$JSI_{i,k,d} \leq JSIMAX_{i,k} \quad \forall i, k, d \quad (6)$$

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

$$D_{Max} \leq D_{ST} \cdot tx_1 + D_M \cdot tx_2 + D_{TR} \cdot tx_3$$

$$tx_1 + tx_2 + tx_3 = 1$$

$$tx_i = 0 \text{ or } 1 \quad i = 1, 2, 3$$
(۱۸)

$$JSI_{i,k,d} = \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^J \frac{f_j \cdot X_{i,k,j,t,d} \cdot WT_j}{FX_{i,k} \cdot CAP_{i,k}}$$
(۱۹)

$$\forall i, k, d$$

$$JSI_{i,k,d} \leq JSIMAX_{i,k}$$

$$\forall i, k, d$$
(۲۰)

$$Injury\_loss_{i,k} = 0.88yx_1 + 8.633JSI_{i,k}^1$$

$$- 547.54yx_2 + 374.252JSI_{i,k}^2$$

$$+ 20.046yx_3 + 19.51JSI_{i,k}^3$$

$$\forall i, k$$
(۲۱)

$$JSIMAX_{i,k} = JSI_{i,k}^1 + JSI_{i,k}^2 + JSI_{i,k}^3 \quad \forall i, k$$
(۲۲)

$$0 \leq JSI_{i,k}^1 \leq 1.5yx_{i,k,1}, 1.5yx_{i,k,2} \leq JSI_{i,k}^2 \leq 1.6yx_{i,k,2}$$

$$, JSI_{i,k}^3 \geq 1.6yx_{i,k,3}$$

$$\forall i, k$$
(۲۳)

$$yx_{i,k,1} + yx_{i,k,2} + yx_{i,k,3} = 1 \quad \forall i, k$$
(۲۴)

$$JSIMAX_{i,k} \leq e_1 \cdot ST + e_2 \cdot M + e_3 \cdot TR \quad \forall i, k$$

$$e_1 + e_2 + e_3 = 1$$

$$e_1, e_2, e_3 = 0 \text{ or } 1$$

$$yx_{i,k,1}, yx_{i,k,2}, yx_{i,k,3} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall i, k$$
(۲۵)

$$Injury\_loss_{i,k} \geq 0 \quad \forall i, k$$

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

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

### 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 آن‌ها را با توجه به محدودیتهای مدل کمینه نماید.

کارکنان تنها به ماشین‌آلاتی تخصیص یابند که توانایی کار روی آن‌ها را داشته باشند. طرف سمت راست این نامعادله عنصر  $I_{j,k}$  از جدول امکان‌پذیری فعالیت گروه‌های تخصصی روی ماشین‌آلات است که در صورتی که انجام کار روی گروه کاری  $j$  توسط گروه تخصصی  $k$  ممکن باشد مقدار ۱ و در غیر اینصورت مقدار صفر خواهد داشت و همانگونه که در بخش داده‌های ورودی بیان گردید، جزء ورودیهای مدل است.

### ب) محدودیتهای اختیاری:

این دسته از محدودیتهای، برای کنترل بیشتر آسیبهای شغلی، محدودی را برای شاخصهای ارگونومیکی در نظر می‌گیرند. این محدودیت‌ها در مدل بر روی  $D_{Max}$  یعنی مجموعه محدودیت‌های شماره ۱۸ و نیز بر روی  $JSIMAX$  یعنی مجموعه محدودیت‌های شماره ۲۵، بطور اختیاری اعمال می‌شود. لازم به ذکر است با توجه به دو هدفه بودن مساله این دو مجموعه محدودیت به صورت محدودیت‌های نرم در مدل اعمال شده‌اند، به این معنی که هر دو نوع متغیرها می‌توانند یکی از مقادیر حدی سخت‌گیرانه، متوسط، و آستانه‌ای را بخود بگیرند. این مقادیر از پارامترهای مدل هستند و می‌توانند بر اساس استانداردهای مختلف ایمنی مشخص شوند.  $D_{TR}$  و  $D_M$ ،  $D_{ST}$  به ترتیب مقادیر سخت‌گیرانه، متوسط و آستانه‌ای را برای همین مقادیر جدی در مورد  $JSIMAX$  از حروف  $M$ ،  $ST$  و  $TR$  استفاده شده است. به این ترتیب می‌توان مشخص کرد که آیا در مورد تمام شاخص‌های ارگونومیکی حدود سخت‌گیرانه و یا برای بعضی حداقل از حدود متوسط و برای بعضی دیگر حدود آستانه‌ای انتخاب شود.

### ۲-۳. مدل برنامه ریزی چندهدفه

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

$$\text{Min } D_{Max} \quad (۱۲)$$

$$\text{Min } \sum_{k=1}^K \sum_t^{I_k} Injury\_loss_{i,k} \quad (۱۳)$$

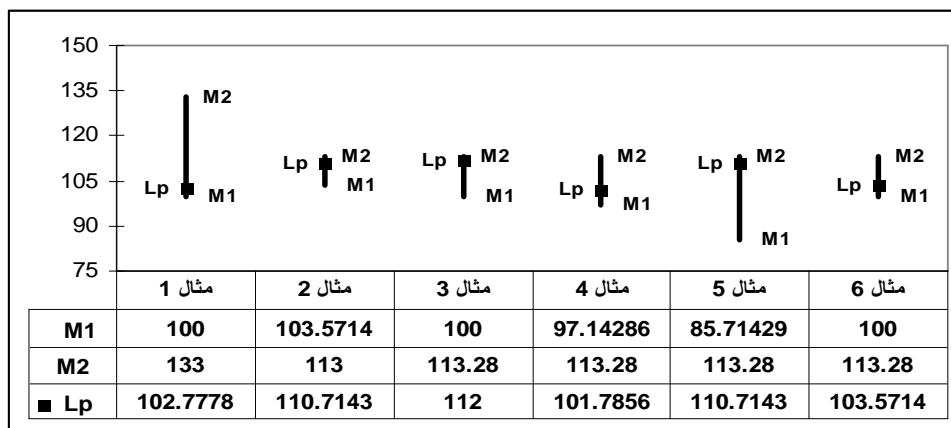
s.t

$$\sum_{j=1}^J X_{i,k,j,t,d} \leq 1 \quad \forall i, k, t, d \quad (۱۴)$$

$$\sum_{t=1}^{I_k} X_{i,k,j,t,d} \geq N_j \quad \forall j, t, d \quad (۱۵)$$

$$X_{i,k,j,t,d} \leq I_{j,k} \quad \forall i, k, j, d, t \quad (۱۶)$$

$$\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^J \frac{X_{i,k,j,t,d} \cdot 8}{T_j \cdot S} \leq D_{Max} \quad \forall i, k, d \quad (۱۷)$$



شکل ۱. بیشینه مقدار آلودگی صوتی در مثالهای مطروحه با توجه به هر یک از مدلها

## جدول ۲. پارامترهای ابعادی اصلی مثالهای طرح شده

کد مثال	تعداد گروههای تخصصی	تعداد گروه های ماشینی	تعداد 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 از حل هر یک از مدلها و هر یک از مثالها، در شکل ۱ نشان داده شده و مقادیر بیشینه سختی کار بدست آمده از حل هر یک از مدلها و هر یک از مثالها نیز در شکل ۲ 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

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  $L_1$ ):

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

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.

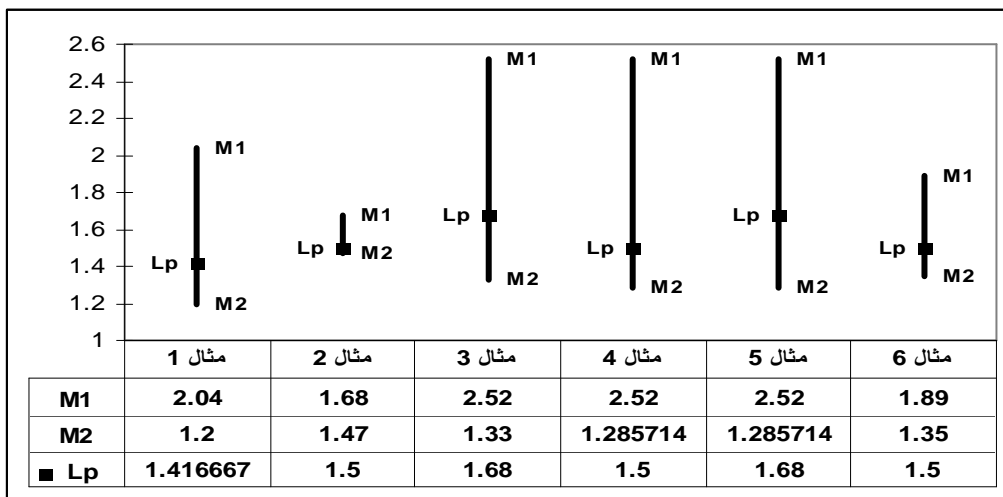
## ۴. نتایج محاسباتی

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

مدلهای اول و دوم، جوابهایی حاصل می‌گردد که مقدار یک شاخص برای آن‌ها مناسبترین و شاخص دیگر نامناسبترین خواهد بود.

$D_{max}$  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



شکل ۲. بیشینه مقدار شاخص سختی کار در مثالهای مطروحه با توجه به هر یک از مدلها

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.

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 توازن 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

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

بداختن مقدار	مثال ۳			مثال ۲			مثال ۱			شاخص الودگی صوتی
	بداختن مقدار	جواب $L_1$	بداختن مقدار	بداختن مقدار	جواب $L_1$	بداختن مقدار	جواب $L_1$	بداختن مقدار		
۱۳۳	۱۱۲	۱۰۰	۱۳۳	۱۱۰	۱۰۲	۱۳۳	۱۰۲/۷۸	۱۰۰	شاخص الودگی صوتی	
۲/۵۲	۱/۶۸	۱/۳۳	۱/۶۸	۱/۵	۱/۴۷	۲/۰۴	۱/۴۱	۱/۲	شاخص سختی کار	

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 می‌شود. 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 می‌تواند در بهبود شرایط کاری مفید واقع شود اما از نظر کاربردی دارای محدودیت‌هایی می‌باشد که رفع این محدودیت‌ها می‌تواند 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 کارگاه‌ها در ایران تهیه نشده است. دوم آنکه در تخصیص نیروی انسانی، دیگر

## 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 محیط کار 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

*Occupation Injury*. 35th International Conference on Computers and Industrial Engineering, 2004.

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

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

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 فوق‌ابتکاری در حل مدل خواهد بود.

### مراجع

- [1] Tharmmaphornphilas, W., *Developing Worker Rotation Schedule Based Upon Workers Skills to Minimize Occupation Injury*. 35<sup>th</sup> 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*