فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال شانزدهم، شماره ۵۰، پاییز ۹۷
صفحات ۱۲۴-۱۰۵

ارائه مدل ریاضی و حد پایین برای مساله زمانبندی گردش شغلی ارگونومیکی

جواد بهنامیان*، زینب اخوان**

تاریخ دریافت:۹۴/۸/۱۴
تاریخ پذیرش:۹۷/۳/۲۷

چکیده

کار در کارگاه‌های صنعتی و انجام فعالیت‌های سنگین بر سلامت کارگران تاثیر داشته و به لحاظ آسیب‌های شغلی مخاطرات فراوانی را برای آنان به همراه دارد. از آنجایی که در واحدهای صنعتی کارهای متفاوتی به لحاظ بار ارگونومیکی و نیز سختی کار وجود دارد، می‌توان با ایجاد یک برنامه چرخش کار، آسیب‌های شغلی را کاهش داد. در این مقاله با استفاده از رویکرد تبدیل، مساله زمانبندی گردش کار ارگونومیکی به مساله ماشین‌های موازی تبدیل شده تا از روش‌های حل دقیق آن (مانند روش شاخه و کران) استفاده شود. با توجه به تبدیل انجام شده، استفاده از حد پایین‌های ارائه شده برای مساله زمانبندی ماشین‌های موازی برای روش حل شاخه و کران مورد استفاده قرار گرفت. هدف اصلی تهیه جدول زمانی مطلوب برای گردش شغلی کارکنان با رویکرد مهندسی عوامل انسانی به منظور کمینه کردن بیشینه بار ارگونومیکی موجود روی کارکنان می‌باشد . در اینجا با توجه به تبدیل انجام شده، حد پایینی ارائه شده است.

کلمات کلیدی: گردش شغلی، زمانبندی ارگونومیکی گردش شغلی، حد پایان، مساله ماشین‌های موازی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

* دانشیار گروه مهندسی صنایع دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان؛ (نویسنده مسئول)
Behnamian@basu.ac.ir
** دانشجوی دکتری گروه مهندسی صنایع دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

مقدمه

کار در کارگاه‌های صنعتی و انجام فعالیت‌های سنگین بر سلامت کارگران تاثیر داشته و به لحاظ آسیب‌های شغلی مخاطرات فراوانی را برای آنان به همراه دارد. از آنجایی که در واحد-های صنعتی کارگاه‌های متفاوتی به لحاظ بار ارگونومیکی و نیز سختی کار وجود دارد، می‌توان با ایجاد یک برنامه چرخش کار، آسیب‌های شغلی را کاهش داد. عوامل مهم ارگونومیکی مطرح در مقالات مرتبط با گردش شغلی شامل کمر دردها، سرو صدا، آلودگی، تشعشعات، استرس بوده که در این مقاله از یک مدل عمومی که می‌تواند کلیه بار ارگونومیکی شغل را بر اساس همه عوامل ارگونومیکی لحاظ کند استفاده شده است.

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 زمانبندی گردش شغلی با اهداف، زمینه‌ها و رویکردهای مختلفی در مقاله‌های متعدد بررسی شده است (پادولا و همکاران ۲۰۱۷). به عبارت دیگر گردش شغلی روشی است که به وسیله آن کارگران به طور سازمان یافته بین موقعیت‌های کاری مختلف و در یک دوره زمانی معین جابه‌جا می‌شوند. گردش شغلی نوعی روش برای ساماندهی کار است که کاربرد آن در مراکز خدماتی و تولیدی رو به افزایش است. اغلب سازمان‌ها از این استراتژی برای چند کارکردی و چند مهارته نمودن کارکنان در قالب برنامه‌های زمانبندی گردش شغلی بهره می-جویند. با این حال مزیت گردش شغلی در بهبود عملکرد کاملاً تائید نشده است (بهادری و رادویلسکی ۲۰۰۶). به باور بهادری و رادویلسکی (۲۰۰۶) استفاده از قواعد بسیار ساده و غیر ابتکاری مانند اختصاص کارهای مختلف نسبت به آنچه در دوره گذشته توسط اپراتور انجام شده است، به بهبود عملکرد نمی‌انجامد و لازم است مدلهای مبتنی بر قواعد مبتکرانه توسعه داده شود، به نحوی که با اصلاح شیوه زمانبندی کارها، بهبود عملکرد نیز حاصل شود. با توجه به ماهیت مساله تعیین چگونگی گردش شغلی، مدلهای عمومی آن که تحت عنوان مساله زمانبندی گردش شغلی[1] شناخته می‌شوند از نوع مدل‌های تخصیص چند دوره‌ای می-

1- Ergonomic Job Rotation Problem (EJRP)

باشند که با فرض استقلال تخصیص کارها به هر اپراتور، فضای موجه جواب‌ها که شامل گزینه‌های زمانبندی گردش شغلی است به شدت بزرگ خواهد بود و به این ترتیب استفاده از رویکردهای برنامه‌ریزی ریاضی برای حل مدل خصوصاً در مورد مسایل با ابعاد بزرگ غیر عملی بوده و توسعه روش‌های جستجوی ابتکاری را ضرورت می‌بخشد (اسکینر و کرت، ۲۰۰۷).

در این مقاله یکی از نمودهای اصلی مساله گردش شغلی (زمانبندی ارگونومیکی گردش شغلی) مدل گشته و یک حد پایینی با توجه به روش تبدیل این مساله به مساله زمانبندی ماشین‌های موازی ارائه می‌شود.

مرور ادبیات

مساله زمانبندی گردش شغلی یکی از زیر مجموعه‌های مساله زمانبندی منابع انسانی است که هدف آن تخصیص کارها به اپراتورها طی دوره‌های زمانی مشخص است، به نحوی که هزینه‌های ناشی از تخصیص شامل هزینه‌های انجام کار و هزینه‌های فرصت کمینه شود. منظور از هزینه‌های فرصت آن دسته از هزینه‌هایی است که در نتیجه کاهش بهره‌وری فردی، بروز مسایل ارگونومیکی و مرتبط با ایمنی و یا هر دو ایجاد می‌شوند. از جمله موارد بهره‌وری فردی می‌توان یادگیری، کسب مهارت‌های بیشتر، انگیزه و رضایت شغلی نام برد و مخاطرات مواجه با محیط کار، کار با ماشین، مواد و غیره نیز از موارد قابل ذکر در حیطه مسایل ارگونومیکی و مرتبط با ایمنی می‌باشد (اسکینر و کرت ۲۰۰۷ ، بورک و مور ۲۰۰۰)

کاربرد گردش شغلی طیف وسیعی از شرکت‌های تولیدی با تنوع وظایف، سیستمهای صنعتی پیشرفته همچون صنایع تولید سلولی و سازمان‌های خدماتی همچون بیمارستان‌ها، اداره پلیس، آتش‌نشانی، اتوبوسرانی و غیره را شامل می‌شود (بهادری و رادویلسکی ۲۰۰۶، اسکینر و کرت ۲۰۰۷). اما تحقیقات انجام شده در مورد بررسی اثرات بکارگیری گردش شغلی در عمل منجر به نتایج ضد و نقیضی شده به نحوی که بطور قاطع نمی‌توان مزیت آن را در بهبود عملکرد کارکنان اثبات شده دانست (بهادری و رادویلسکی، ۲۰۰۶). در اولین تحقیقات

درباره گردش شغلی، ویلکینسون و ادواردز نشان داده‌اند که گردش کار در یک سیستم دو نفره به عملکرد بالاتر نسبت به یک سیستم سه نفره بدون اجرای گردش شغلی انجامیده است (اسکینر و کرت، ۲۰۰۸). پاول و همکارانش (۱۹۹۹) با انجام یک تحقیق موردی به این نتیجه رسیده‌اند که گردش شغلی به کاهش بار کار اپراتورها منجر شده است. گریفین در تحقیقات خود، موفقیت گردش شغلی را در ارتقای سطح انگیزش و رضایت شغلی نامناسب ارزیابی کرده است (بهادری و رادویلسکی، ۲۰۰۶). بنابر گزارش بهادری و رادویلسکی (۲۰۰۶) از نتایج تحقیقات کانینگام و ابرل و همچنین دیویس و تیلور، اگرچه گردش شغلی سبب ارتقای سطح رضایت شغلی شده لیکن منجر به بهبود عملکرد نشده است.

علی‌رغم علاقه محققان به مطالعه اثرات گردش شغلی، تاکنون تحقیقات اندکی برای توسعه و حل مدلهای زمانبندی گردش شغلی صورت گرفته است. مساله زمانبندی گردش شغلی اولین بار توسط کارناهان و همکارانش (۲۰۰۰) مدلسازی و حل شده است. این محققین مدل تخصیص چند دوره‌ای که با متغیرهای عدد صحیح برنامه‌ریزی می‌شود را طراحی و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک راه حل آن را ارائه نموده اند. این مدل با وارد کردن پیش فرض‌های مساله زمانبندی تورهای کاری و با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های بار کار توسط اسکینر و کرت (۲۰۰۷) توسعه داده شده و با استفاده از الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید[1] و کلونی مورچگان[2] حل شده است. همانگونه که اشاره شد با وجود توسعه این مدل‌ها، مساله اصلی این است که مدل‌های مورد استفاده در واقعیت، عملکرد مطلوبی در بهبود بهره‌وری فردی نداشته اند. به اعتقاد بهادری و رادویلسکی (۲۰۰۶) این موضوع به شیوه‌های زمانبندی کارها باز می‌گردد. این محققین معتقدند ضعف مدل‌های کنونی، استفاده از قواعد بسیار ساده و غیرابتکاری برای تعیین نحوه گردش وظایف است. همچنین می‌توان چنین استدلال کرد که مدل‌سازی منابع ایجاد هزینه‌های فرصت علاوه بر اینکه نیازمند خلاقیت در تعریف تابع مدل است، چند هدفه بودن مدل زمانبندی گردش شغلی، تطابق بیشتر با واقعیات را موجب می‌شود. در این راستا بهادری و رادویلسکی (۲۰۰۶) سه مدل تخصیص چند دوره‌ای و دو هدفه و چند

1- Simulated Annealing (SA)
2- Ant Colony Optimization (ACO)

روش ساده ابتکاری را برای به دست آوردن جوابهای موجه مطلوب ارائه داده‌اند و مدعی شده‌اند که سه مدل مذکور نسبت به مدل‌های پیشین از اثربخشی بالاتری برخوردار بوده و به واقعیت نزدیک‌تر هستند. اهدافی که بهادری و رادویلسکی (۲۰۰۶) در مدلهای ارائه شده گنجانده‌اند شامل کمینه‌سازی هزینه‌های انجام کار و کمینه‌سازی خستگی ناشی از تخصیص کارهای یکسان طی دوره برنامه‌ریزی به هر اپراتور است . این مقاله به توسعه مفهوم خستگی و مدل زمانبندی گردش شغلی پیشنهادی بهادری و رادویلسکی (۲۰۰۶) پرداخته و الگوریتم‌های ابتکاری کارا برای حل آن پیشنهاد شده است.

گردش شغلی در سلولهای تولیدی و با در نظر گرفتن مهارتهای فنی و انسانی توسط وارنر و همکاران در سال ۱۹۹۷ مورد بررسی قرار گرفته شده است. در این پژوهش مهارت‌های فنی به عنوان قابلیت‌های اندازه‌گیری، ریاضی و مکانیکی و مهارتهای انسانی به عنوان مهارت‌های ارتباطی رهبری، کار گروهی و قابلیت تصمیم‌گیری تعریف و توصیف شد. در ادامه همین مقاله وارنر و همکارانش در سال ۲۰۰۲ یک مدل مبتنی بر گروه برای گمارش کارکنان در سلول‌های تولیدی ارائه کرده و در آن نشان داده‌اند که اگر مهارت‌های انسانی به صورت عینی در برنامه‌های آموزشی و استراتژی گمارش کارکنان در نظرگرفته شود، عملکرد سلول‌های تولیدی بهبود قابل توجهی خواهد داشت.

یکی دیگر از عوامل انسانی و ارگونومیکی که در گردش شغلی در نظر گرفته شده است، شدت صدا و چرخش کارکنان در کارها به منظور کمینه‌سازی فشار شدت صدا در ایستگاه-های کاری است (خیرخواه و دلجو ۱۳۸۸). ثارمافرنفیلاس و همکاران، مدلی برای تعین جداول گردش توسعه دادند که در آن هدف کاهش صدمات ناشی از آلودگی‌های صوتی محیط کار است. در این مدل آسیب‌های شغلی دیگری همچون کمردردهای شغلی در نظر گرفته نشده است. کارنهان و همکاران چرخش کار را با هدف کاهش صدمات ناشی از بلند کردن بار انجام دادند. آنها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ایجاد نموده و از الگوریتم ژنتیک برای حداقل نمودن شاخص سختی کار استفاده کردند.

عزیزی و همکاران (۲۰۱۰) نیز در مقاله‌ای به بررسی عوامل کسالت، یادگیری و فراموشی کارگر در زمانبندی گردش شغلی مناسب پرداخته است. در پیشینه پژوهش عوامل انسانی یادگیری، خستگی و فراموشی به عنوان عوامل تأثیرگذار بر عملکرد کارکنان به صورت همزمان بررسی نشده است. همچنین با توجه به مرتبط بودند و حوزه زمانبندی نیروی کار و گردش شغلی، مدلسازی زمانبندی شیفت‌های کاری و گردش شغلی کارکنان به صورت همزمان و در قالب یک مدل امری ضروری به نظر می‌رسد. در زمانبندی نیروی کار ابعاد مختلفی از نیروی انسانی بررسی شده است. کارایی و رضایت نیروی کار و همچنین به وسیله ایستون و روسین در سال ۱۹۹۱ برای مدلسازی زمانبندی مورد مطالعه قرار گرفته شده است. لی و همکارانش (۱۹۹۱) نیز ابعاد کارایی متفاوت، هزینه ساعت کاری، تعداد ساعات کاری به ازای هر هفته و محدودیت روزهای غیرکاری در مساله زمانبندی نیروی کار را مورد بررسی قرار داده‌اند. براسکو و جانز (۱۹۹۸) در مساله زمانبندی، کارکنان تمام وقت و دو مهارته را مدلسازی کرده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که الگوریتم فراابتکاری استفاده شده نسبت به نرم افزار لینگو توان بالاتری در حل مسائل زمانبندی شیفت کاری دارد. برنامه‌ریزی برای نیروی کار چند مهارته با تأکید بر مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح در مقاله تحقیق جعفری نژاد و اسماعیلیان (۲۰۱۱) بررسی شد. 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 توسط توکلی و اسلامی (۲۰۰۷) 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. اکبری و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند 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.

مرور انجام شده به وضوح نشان می‌دهد که علی‌رغم وجود مقاله‌های متعدد در حوزه زمانبندی نیروی کار، پژوهش‌های محدودی در زمینه عوامل انسانی و در نتیجه تغییرپذیری کارایی/خروجی کارکنان در مساله زمانبندی کارکنان انجام شده است.

تعریف مساله و مدلبندی

به منظور توسعه حوزه علمی گردش شغلی کارکنان و ارائه رویکرد بهینه‌سازی، در این پژوهش چگونگی گردش شغلی کارکنان با در نظر گرفتن ملاحظات ارگونومیکی در قالب مساله زمانبندی ماشین‌های موازی تبدیل گردیده است تا بتوان از الگوریتم‌های حل دقیق و ابتکاری آنها استفاده کرد.

روش‌های برآورد خطرات ارگونومیکی، عوامل خطرساز موجود در وظایفی که باید توسط یک کارگر انجام شود شامل وضعیت‌های نامناسب قرارگیری بدن کارگر، بکارگیری نیرو یا عملیات تکراری را ارزیابی می‌کنند (اوتو و اسکول ۲۰۱۲). معمولا یک برآورد بالای خطر ارگونومیکی، بصورت یک ضریب یا امتیازهای ارگونومیکی، بوسیله خطرات بالاتر موجود، اندازه‌گیری می‌شود. خطرات بالاتر ارگونومیکی دلالت به احتمال بالاتر ابتلا به بیماری‌های شغلی و همچنین یک شکل بسیار شدیدتر از تعریف آن دارد. بنابراین ریسک‌های ارگونومیکی اشاره ضمنی به یک افزایش نمایی هزینه‌ها دارند (ثارمافرنفیلاس و نورمن ۲۰۰۷).

روش‌های تخمین ریسک ارگونومیکی، خطرات ارگونومیکی را براساس یک مبنای شیفتی محاسبه می‌کنند. این امر به وسیله این فرضیه منطقی که کارگران بعد از یک وقفه طولانی کافی (مثلا شب) بطور کامل بازیابی می‌کنند، برانگیخته می‌شود بطوریکه حجم کاری ارگونومیکی دو روز از یکدیگر مستقل می‌باشند.

امتیازات ارگونومیکی[1] برای هر ایستگاه‌کاری (یا شغل) با فرض اینکه کارگر مشابه این شغل را در کل شیفت انجام می‌دهد، محاسبه می‌شوند. ایستگاه‌های کاری براساس یک سیستم

1- Ergonomic Points (EP)

چراغ راهنما مبتنی بر مقادیر اندازه‌گیری شده (EP) مربوط به شیفت شامل موارد زیر است (یون و همکاران ۲۰۱۶):

- سبز: ریسک پایین ارگونومیکی *(2-2.5 EP)*
- زرد: ریسک بالقوه *(26-50 EP)*
- قرمز: پر خطر *(50 EP)*

روش دیگر برای اندازه‌گیری خطرات ارگونومیکی مربوط به عملیات بالا، بر اساس این استدلال است که امتیازات ارگونومیکی پریود خاص $e_t\ (a_j)$ از هر شغل a_j در یک پریود t که قبلا از طریق مدت پریود t مربوط به کل شیفت وزن داده می‌شد، تعریف می‌شود (بوئنزی و همکاران ۲۰۱۵). برای مثال اگر شغل a_1 دارای مقدار اندازه گیری شده ۱۶ برای یک شیفت ۸ ساعتی باشد، این شغل مقدار پریود خاص $e_1\ (a_1) = 4$ را به شرطی که پریود ۱ دو ساعت طول بکشد می‌گیرد .

جدول ۱ یک مساله نمونه تشریحی از یک تیم سه نفره که باید در سه ایستگاه‌کاری a_1, a_2, a_3 یعنی برای انجام ۳ شغل مختلف در یک شیفت ۸ ساعتی را ارائه می‌کند.

جدول ۱. مثالی از برنامه زمانی گردش شغلی

پریود زمانی گردش	اپراتور ۱	اپراتور ۲	اپراتور ۳
پریود ۱: از ۸:۰۰ تا ۱۰:۰۰	a_1	a_2	a_3
پریود ۲: از ۱۰:۲۰ تا ۱۳:۴۰	a_3	a_1	a_2
پریود ۳: از ۱۴:۲۰ تا ۱۷:۰۰	a_2	a_3	a_1

در خصوص گردش شغلی به هر حال هر کارگر ممکن است در طی یک شیفت چندین شغل را انجام دهد. یک روش عملی رایج برآورد خطرات ارگونومیکی بصورت یک "میانگین وزنی-زمان" از امتیازات ارگونومیکی مربوط به شغل‌های مختلف می‌باشد.

جدول ۲ برآوردهایی از خطرات ارگونومیکی برای مساله نمونه را نشان می‌دهد.

جدول ۲. تخمین بار ارگونومیکی مربوط به هر ایستگاه برای مثال مربوط به مساله

پریود زمانی گردش	$EP: e_t(a_j)$		
	ایستگاه کاری a_1	ایستگاه کاری a_2	ایستگاه کاری a_3
پریود ۱: ۱۲۰ دقیقه	۴	۱۶	۲۰
پریود ۲: ۲۰۰ دقیقه	۸	۲۴	۲۰
پریود ۳: ۱۶۰ دقیقه	۴	۱۶	۲۰

مقادیر پریود معین از یک دوره به دوره دیگر نه فقط ناشی از طرح‌های مختلف دوره بلکه بعلت تغییر مدل ترکیبی متفاوت می‌باشند که اصطلاحا دارای امتیازات ارگونومیکی پویا می‌باشند.

جدول ۳، سه زمانبندی امکان‌پذیر گردش S_0, S_1, S_2 را ارائه و ارزیابی می‌کند. در این جدول محاسبه بار ارگونومیکی فردی[1] به معنای مجموع بار ارگونومیکی روی فرد در طی انجام شغل‌های مختلف در یک شیفت را نشان می‌دهد.

برای مثال، طبق برنامه زمانی گردش S_2، اپراتور ۱ پریود زمانی ۱ را در ایستگاه‌کاری a_1 با $e_1(a_1) = 4\ EP$ و در پریود ۲ و ۳ در ایستگاه‌کاری a_2 با $e_2(a_2) = 24\ EP$ و $e_3(a_2) = 16\ EP$ سپری می‌کند. بنابراین بر طبق برنامه زمانی گردش S_2، مجموع بار ارگونومیکی روی اپراتور ۱ در یک شیفت برابر $4+24+16=44\ PEP$ محاسبه می‌گردد که بر طبق بازه‌های مشخص برای تعیین رنگ، به رنگ زرد اختصاص داده می‌شود.

جدول ۳. زمانبندی گردش متفاوت و محاسبه ریسک‌های آنها

	برنامه زمانی گردش S_0: شغل/پریود زمانی. EP			برنامه زمانی گردش S_1: شغل/پریود زمانی. EP			برنامه زمانی گردش S_2: شغل/پریود زمانی. EP		
	اپراتور ۱	اپراتور ۲	اپراتور ۳	اپراتور ۱	اپراتور ۲	اپراتور ۳	اپراتور ۱	اپراتور ۲	اپراتور ۳
پریود ۱	a_1/۴	a_2/۱۶	a_3/۲۰	a_1/۴	a_2/۱۶	a_3/۲۰	a_1/۴	a_3/۲۰	a_2/۱۶

1- Personal Ergonomic Points (PEP)

پریود ۲	$a_{۱/۸}$	$a_{۲/۲۴}$	$a_{۳/۲۰}$	$a_{۲/۲۴}$	$a_{۳/۲۰}$	$a_{۱/۸}$	$a_{۲/۲۴}$	$a_{۳/۲۰}$	$a_{۱/۸}$
پریود ۳	$a_{۱/۴}$	$a_{۲/۱۶}$	$a_{۳/۲۰}$	$a_{۲/۱۶}$	$a_{۱/۴}$	$a_{۳/۲۰}$	$a_{۲/۱۶}$	$a_{۱/۴}$	$a_{۳/۲۰}$
PEP	۱۶	۵۶	۶۰	۴۴	۴۰	۴۸	۴۴	۴۴	۴۴
	سبز	قرمز	قرمز	زرد	زرد	زرد	زرد	زرد	زرد

به دلیل اختلاف در توانایی توانائی‌های فیزیکی کارگران می‌توان نتیجه گرفت که هر یک از آنها دارای سطح توانایی مختلفی در برخورد با ریسک‌های ارگونومیکی هستند(موسا و همکاران ۲۰۱۶). برای مثال در این رابطه روش متداول در صنعت اتومبیل‌سازی درنظر گرفتن خطرات ارگونومیکی فردی یا طبقه‌بندی‌های منفرد "چراغ راهنما" نمی‌باشد و این امر عمدتا به علت وجود الزامات قانونی جهت اجتناب از تبعیض بین کارگران مخصوصا در خطوط مونتاژ می‌باشد (موریرا و کاستا ۲۰۱۳).

فرموله‌بندی مساله

یک مجموعه J شامل n شغل (تعداد n شغل) که $a_j \in J$ ، $j = 1,\ldots, n$ و تعدادی پریود زمانی $T \in Z^+$ داده شده است. شغل‌ها به افراد تخصیص داده می‌شوند که با استفاده از یک تابع جایگشتی $\pi_t(i)$ بیان می‌شود. به معنای اینکه در پریود زمانی $t = 1,\ldots, T$ ، اپراتور $i = 1,\ldots, n$ بایستی کار $a_{\pi_t(i)}$ را انجام دهد. هر شغل a_j دارای یک معیار ارگونومیکی *(EP)* است که توسط $\varepsilon_{jt} = e_t(a_j) > 0$ نمایش داده می‌شود. هدف مشخص کردن یک مجموعه از T جایگشت از شغل‌ها به صورت زیر است:

$$\{a_{\pi_1(1)}, a_{\pi_1(2)}, \ldots, a_{\pi_1(n)}\}, \ldots, \{a_{\pi_T(1)}, a_{\pi_T(2)}, \ldots, a_{\pi_T(n)}\}$$

که بیشینه بار ارگونومیکی E روی هر اپراتور را کمینه کند.

$$E = max\left\{\sum_{t=1}^{T} e_t\left(a_{\pi_t(i)}\right) \,\middle|\, i = 1,\ldots,n\right\}$$

به عبارتی این تابع مجموع بار ارگونومیکی روی اپراتوری که بیشینه بار ارگونومیکی روی آن است را کمینه می‌کند. با توجه به این توضیحات مساله $EJRSP$ به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\textit{Minimize } E \quad (۱)$$

$$\textit{Subject to} \quad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ijt} = 1 \qquad \forall j \in \{1,\dots,n\}, \forall t \in \{1,\dots,T\} \quad (۳)$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{jt} . x_{ijt} \le E \qquad \forall i \in \{1,\dots,n\} \quad (۴)$$

$$x_{ijt} = \{0,1\} \quad \forall i \in \{1,\dots,n\}, \forall j \in \{1,\dots,n\}, \forall t \in \{1,\dots,T\} \quad (۵)$$

تابع هدف (۱) تعیین کننده E است به صورتی که بالاترین ریسک ارگونومیکی که هر اپراتور می‌تواند با آن روبرو شود، کمینه گردد. از آنجاییکه مجموع بار ارگونومیکی روی شغل‌ها و پریودهای زمانی به صورت برنامه زمانی تعیین شده و ثابت در نظر گرفته می‌شوند، مقدار ماکزیم بار ارگونومیکی E تنها زمانی می‌تواند کاهش یابد که بارهای ارگونومیکی روی دیگر کارکنان افزایش یابد. بنابراین تابع هدف به دنبال ایجاد تعادلی روی ریسک‌های ارگونومیکی کلیه افراد در یک برنامه زمانی است. از آنجاییکه هزینه‌های مربوط به تحمل بار ارگونومیکی زیاد به صورت نمایی افزایش پیدا می‌کند، این مساله در عمل از اهمیت بالایی برخوردار است. زمان‌های گردش شغلی توسط متغیرهای تصمیم باینری x_{ijt} تعریف می‌شود (محدودیت ۵)، که اگر اپراتور i به شغل j تخصیص داده شود $x_{ijt} = 1$ و در غیر اینصورت $x_{ijt} = 0$ است. محدودیت‌های ۲ و ۳ این اطمینان را ایجاد می‌کنند که هر اپراتور در هر پریود زمانی تنها به یک شغل می‌تواند تخصیص داده شود (پریودهای زمانی روی یک شیفت تقسیم بندی می‌شوند). سمت چپ محدودیت شماره ۴ تعیین کننده میزان بار ارگونومیکی روی اپراتور i (PEP) است که از مجموع EPهای مربوط به مشاغلی که در آن شیفت به اپراتور i تخصیص داده شده است، تشکیل می‌شود.

این مدل به عنوان *EJRSP-VT* برای وظایف مختلف[1] مطرح است. همچنین دو نسخه از این مدل را می‌توان بصورت زیر تعریف کرد:

- *EJRSP-Ind Ergonomic* امتیازات دینامیک و فردی[2] که در آن نیاز است امتیازات ارگونومیکی پریود معین بصورت ε_{ijt} تعریف شود که ریسک ارگونومیکی کارگر i را برای انجام شغل jدر پریود t اندازه‌گیری می‌کند.
- *EJRSP-Sample* یا *EJRSP-Static* با پریودهای یکسان و امتیازات ارگونومیکی ثابت (عدم وابستگی به زمان) از طریق $\varepsilon_j = \varepsilon_{jt}$ مدلسازی شوند.

تبدیل

برای تبدیل مساله *EJRSP* به مساله ماشین‌های موازی، نمود دوم از مساله زمانبندی گردش شغلی ارگونومیکی انتخاب شده است که در آن مدل ارائه شده با فرضیات زیر مورد توجه است:

- تعدادکارها از تعداد اپراتورها بیشتر است لذا به هر اپراتور در هر دوره برنامه‌ریزی حداقل یک کار تخصیص می‌یابد.
- هر کار در هر دوره برنامه‌ریزی تنها باید به یک اپراتور تخصیص یابد.
- هر کار در هر دوره برنامه‌ریزی تنها باید یکبار انجام شود.
- تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی از قبل مشخص و بیش از یک دوره است.
- تعداد اپراتورها و کارها در هر یک از دوره‌های برنامه‌ریزی ثابت می‌ماند.
- برای انجام تمامی کارها در یک دوره برنامه‌ریزی، تعداد اپراتور در دسترس به اندازه کافی است.
- مجموعه تمامی کارها باید در هر دوره برنامه‌ریزی برای انجام تخصیص داده شوند و انجام هیچ کاری به دوره بعد موکول نخواهد شد.
- محدودیت زمان برای انجام مجموعه کارها در هر دوره برنامه‌ریزی وجود ندارد.

1- Varying Tasks
2 -Individual

- محدودیتی برای زمان در دسترس بودن هر اپراتور در هر دوره برنامه‌ریزی وجود ندارد.
- تمامی پارامترها و داده‌های مساله قطعی و در هر دوره برنامه‌ریزی ثابت است.
- کارها هریک با شاخص EP دارای بار ارگونومیکی مشخصی هستند. که البته این شاخص ارگونومیکی وابسته به زمان و فردی که آن کار را انجام می‌دهد نمی باشد (پویا نیستند). به عبارتی کارها دارای بار ارگونومیکی ثابت و غیر قابل تغییر می-باشند. لازم به ذکر است در اینجا انجام کارها دارای تقدم و تاخر نمی باشد.
- افرادی با مهارت‌های چندگانه موجود است که قرار است کلیه کارها در دوره زمانی مشخص به آنها تخصیص یابد. این افراد چند تخصصی هستند. همچنین لازم به ذکر است که زمان انجام و بار ارگونومیکی هر کار وابسته به افراد نمی‌باشد. به این معنی هر کار توسط هر اپراتوری که انجام شود تاثیری در محاسبه بار ارگونومیکی آن ندارد بلکه ماهیت کار است که برای محاسبه بار ارگونومیکی لحاظ می‌شود.
- کلیه افراد نیز کارها را در یک زمان ثابتی انجام می‌دهند. به عبارتی زمان انجام یک کار مشخص توسط یک اپراتور تفاوتی با زمان انجام همان کار توسط اپراتور دیگر ندارد.
- کلیه کارها بایستی در هر دوره زمانی یکبار انجام شوند. تعداد کارها از اپراتورها بیشتر است. پس هر اپراتور حداقل یک کار در هر دوره باید انجام دهد. به عبارتی کارها در یک دوره زمانی بین اپراتورها تخصیص داده می‌شود.
- هر کار دارای بار ارگونومیکی مشخصی می‌باشد که توسط معیارهای ارگونومیکی $NIOSH$ تعریف شده است. هدف تخصیص کارها به صورتی است که بیشینه مجموع بار ارگونومیکی کارهای روی یک اپراتور، مینیمم گردد.
- همچنین هر کار بایستی توسط یک فرد در دوره انجام شود. به عبارتی وقتی کاری به یک اپراتور تخصیص داده شد، کل کار بایستی توسط این اپراتور انجام شود. منظور از گردش شغلی در این مساله، انجام دادن چندین کار در یک دوره با بار ارگونومیکی متفاوت و احتمال تعویض آنها در دوره بعد می‌باشد.

مساله ماشین موازی نیز به طور خلاصه بدین صورت ارائه می‌گردد: تعدادی کار که تقدم و تاخری برای انجام آنها وجود ندارد، بایستی در یک دوره زمانی توسط ماشین‌ها انجام شوند. هر یک از کارها دارای زمان مشخصی برای انجام دارد که وابسته به ماشین نیست. به عبارتی زمان انجام کارها وابسته به ماشین‌ها نمی‌باشد. ماشین‌ها از نوع یونیورسال (همه کاره) هستند و توانایی انجام همه کارها را دارند. ماشین‌ها به طور موازی و بدون ارتباط یا وابستگی به یکدیگر کارها را انجام می‌دهند. هدف در این مساله تخصیص کارها به ماشین‌ها به نحوی است که بیشینه زمانی که به یک ماشین اختصاص داه شده است کمینه گردد. برای تبدیل مساله به مساله ماشین‌های موازی تناظر یک به یک روی عناصر به صورت زیر انجام می‌شود:

- اپراتورها متناظر با ماشین‌ها هستند.
- کارها نیز همان کارها در مساله ماشین‌های موازی می‌باشد.
- بار ارگونومیکی هر یک از کارها متناظر با زمان انجام هر یک از کارها می‌باشد.
- فرض عدم وابستگی بار ارگونومیکی کارها به اپراتورها، متناظر با فرض عدم وابستگی زمان انجام کارها به ماشین‌ها می‌باشد.
- فرض چند مهارته بودن اپراتورها با فرض یونیورسال بودن ماشین‌ها یکسان است.
- هدف مینمم کردن بیشینه بار ارگونومیکی روی اپراتور، همان هدف مینیمم کردن بیشینه زمان بارگذاری روی ماشین است.

پیچیدگی مساله

قضیه ۱: مساله زمانبندی ماشین‌های موازی با تابع هدف حداکثر زمان تکمیل کلیه کارها یک مساله *NP-Complete* است.

اثبات. با توجه به آنکه مساله بخشبندی دوتایی[1] یک مساله معروف *NP-Complete* است، برای اثبات *NP-Complete* بودن مساله $P2 \mid\mid C_{max}$ کافی است اثبات کنیم که این دو مساله معادلند. در مساله بخشبندی دوتایی مجموعه متناهی A شامل اعداد صحیح مثبت با

1- Two-Partition

مجموع $2b$ مفروض است. مساله تصمیم آن است که آیا زیر مجموعه‌ای از A وجود دارد به گونه‌ای که جمع آن دقیقاً برابر b گردد؟ در عین حال مساله زمانبندی را با n کار $J_1, \ldots J_n$ با زمانهای $t_1, \ldots t_n$ که مجموع $2b$ دارند را در نظر بگیرید. مساله تصمیم مطرح آنست که آیا زمانبندی وجود دارد به گونه‌ای که زمان تکمیل کارها b گردد؟ زمانبندی در اینجا تخصیص کار i به یکی از دو ماشین $P(i) \in \{1, 2\}$ است بطوریکه زمان شروع آن $S(i) \geq 0$ باشد. بنابراین حتی اگر دو کار i و j به یک ماشین تخصیص داده شوند ($P(i)=P(j)$)، زمانهای پردازش آنها که به ترتیب $(S(i), S(i)+t_i)$ و $(S(j), S(j) + t_j)$ است از یکدیگر منفصل خواهند بود. به این ترتیب می‌توان به این نتیجه رسید که زمان تکمیل تمام کارها برابر $Max\{S(i) + t_i\}$ است. در این سیستم زمانبندی مطلوب زمانی وجود خواهد داشت اگر و تنها اگر زیر مجموعه از $\{t_1, \ldots t_n\}$ وجود داشته باشد، به گونه‌ای که جمع آنها دقیقاً برابر b گردد.

با توجه به اثبات فوق می‌توان به این نتیجه رسید این مساله حتی در ساده‌ترین حالت خود یعنی با نمودهایی تنها با ماشین نیز مساله *NP-Complete* بوده حل آنها بروشهای دقیق حتی در این اندزه از مساله با افزایش تعداد کارها در زمان معقول غیرممکن خواهد بود.

ارائه حد پایین مساله

در اینجا فرض شده است هر یک از n کار مستقل بوده و هر یک از آنها بایستی به یکی از اپراتورها به صورت لیستی اختصاص یابد. قانون تخصیص در اینجا به گونه‌ای است که هر کار که نوبت پردازش آن فرا رسد به پردازنده (ماشین) با کمترین مقدار بارگذاری اختصاص می‌یابد.

فرض کنید بعد از تخصیص همه کارها به اپراتورها، اپراتور ۱ دارای بیشترین مقدار بارگذاری EP باشد و L مجموع مقدار بارگذاری EP توسط کارهای اختصاص داده شده به اپراتور ۱ باشد. همچنین فرض کنید J_j آخرین کاری باشد که به این اپراتور اختصاص یافته است. با این توضیح می‌توان گفت که هر اپراتور حداقل دارای بارگذاری کلی $L - EP_j$ است. زیرا زمانی که J_j به اپراتور ۱ اختصاص می‌یابد طبق فرض الگوریتم اپراتور ۱ حداقل

مقدار بارگذاری EP در مقایسه با سایر اپراتورها را داشته در نتیجه مقدار بارگذاری سایرین حداقل به اندازه $L - EP_j$ است. همچنین می‌توان مدعی شد $OPT \geq \frac{\sum EP_j}{m}$ برقرار است زیرا بهترین حالت تخصیص کارها زمانی است که در صورت امکان تمام بارکاری $(\sum EP_j)$ به صورت کاملاً مساوی روی m اپراتور تقسیم شود که البته در حالت ایده‌آل چنین اتفاق می‌افتد. باید توجه داشته باشید استفاده از چنین روشی یک رویکرد کاملا بدیهی و سرراست برای مساله مورد بررسی است.

نتیجه‌گیری

به منظور توسعه حوزه علمی زمانبندی گردش شغلی و ارائه رویکرد بهینه‌سازی ترکیبیاتی، در این پژوهش زمانبندی گردش شغلی کارکنان بین ایستگاه‌های کاری در قالب یک مساله با هدف کمینه سازی بار ارگونومیکی روی افراد بیان شد. با توجه به اینکه این مساله از نوع *NP-Complete* بوده است، در این پژوهش از رویکرد تبدیل به عنوان راه‌گشای استفاده از الگوریتم‌های حل متفاوت از آنچه تا به اکنون بیان شده است، استفاده گردید. مساله زمانبندی ماشین‌های موازی از جمله مسائلی است که به لحاظ ادبیات موضوع و الگوریتم‌های حل بسیار غنی است. در این پژوهش با تبدیل مساله زمانبندی گردش شغلی به مساله ماشین‌های موازی، توانستیم حوزه‌ای جدید از مسائل مختلف را فرا روی محققان قرار داده بطوریکه به پیدایش راه حل‌های متفاوت و جدید و ارائه ایده‌های توین که از مساله زمانبندی ماشین‌های موازی برگرفته است، بینجآمد. لازم به ذکر است که بگوییم نوآوری این پژوهش در تبدیلی است که بین این دو مساله صورت گرفته است، چرا که با توجه به آنچه در این پژوهش ذکر شده است، ایده‌های متفاوتی قابل انجام است که می‌تواند هر کدام به عنوان یک تحقیق جدید برای مطالعات آتی انجام پذیرد. یکی از مباحث مطرح در مسائل مربوط به بهینه‌سازی ترکیبیاتی، ارائه حد پایین برای جواب مساله می‌باشد. برای رسیدن به این مهم نیز در اینجا از روش تبدیل مساله زمانبندی گردش شغلی به مساله ماشین‌های موازی به عنوان یک نمونه کاربردی استفاده شده است. به عبارتی از حد پایینی که با استفاده از الگوریتم لیستی برای

مساله ماشین‌های موازی حاصل شده است، برای یافتن کرانی برای مساله زمانبندی گردش شغلی استفاده شده است. البته با توجه به ایده‌های به کارگرفته در مساله ماشین‌های موازی، می‌توان مدل مساله زمانبندی گردش شغلی پایه‌ای ارائه شده را نیز با اعمال تغییراتی روی آن (اضافه و یا کم کردن فرضیاتی)، به مدل‌های مطرح دیگر در مسائل ماشین‌های موازی تبدیل کرده و آنرا از حالت ساده و پایه‌ای خارج کرد. برای مثال همانطور که در مدل اولیه مساله زمانبندی گردش شغلی بیان شد، بار ارگونومیکی ایستگاه‌های شغلی می‌تواند برای هر فرد و پریودهای زمانی متفاوت تعریف شود. به عبارتی در این پژوهش برای تبدیل مساله زمانبندی گردش شغلی به مساله ماشین‌های موازی، این فرض در نظر گرفته شده که بار ارگونومیکی مربوط به مشاغل (ایستگاه‌های کاری) متفاوت، ثابت بوده شود و پویا نیستند. به این معنی که انجام کار توسط افراد مختلف با تحمل بار ارگونومیکی متفاوتی و یا انجام کار در اول یا آخر شیفت، تاثیری بر محاسبه EP ندارد. حال آنکه در مسائل مربوط به حوزه زمانبندی ماشین‌های موازی، زمان (عنصر تناظر تبدیلی EP به آن) به دو صورت در نظر گرفته می‌شود: اینکه افراد متفاوت یک کار مشخص را در یک زمان ثابت انجام می‌دهند یا خیر و یا اینکه تکرار انجام یک کار در زمان انجام آن تاثیر دارد یا خیر. که هر دوی این مفاهیم به صورت جداگانه در مدل‌های مطرح شده در ادبیات گردش شغلی تحت عناوین فراموشی، یادگیری و افزایش اثر مخرب یک کار به لحاظ ارگونومیکی در اثر انجام آن به صورت مکرر، وجود دارد و ما می-توانیم تبدیل انجام شده را با در نظرگرفتن فرضیات بیشتری انجام دهیم. به عنوان زمینه مطالعه آتی و با استفاده از حد پایین ارائه شده در این مقاله، می‌توان الگوریتم شاخه کران را برای مساله با ابعاد کوچک پیشنهاد کرد. با توجه به اینکه حد پایینی ارائه شده رویکردی کاملا بدیهی و ساده برای مساله مورد بررسی است که در عین حال عموماً کارایی مناسبی ندارد، در نتیجه یکی دیگر از پیشنهادات ما برای تحقیقات آتی ارائه کران مناسب‌تری است تا بتواند بازه تنگ‌تری برای جواب بهینه را نتیجه دهد.

منابع

عیوق، اشکان، زندیه، مصطفی و متقی،هایده ، *ارائه مدل زمانبندی گردش شغلی با ملاحظه هزینه خستگی ناشی از شباهت کارها و توسعه الگوریتم‌های ژنتیک و رقابت استعماری برای حل آن*، مطالعات مدیریت صنعتی سال ششم، شماره ۱۶ ، ۱۳۸۶.

خیرخواه، امیرسامان،دلجو، ولی اله، *توسعه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه چرخش کار به منظور حداقل سازی آسیب‌های شغلی در واحدهای صنعتی*، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۰، ۱۳۸۸.

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. 11, 2013.

Azizi N., Zolfaghari S., Liang M., *Modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee's boredom and skill variations*, Int. J. Production Economics, Vol. 123, 2010.

Bhadury J., Radovilsky Z., *Job rotation using the multi-period assignment model*, International Journal of Production Research,Vol.44, No. 20, 2006.

Boenzi F., Digiesi S., Mossa G., Mummolo G., Romano V.A., *Modelling workforce aging in job rotation problems*, IFAC-PapersOnLine, Vol. 48 , 2015.

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.

Campbell G.M., *Cross-utilization of workers whose capabilities differ*, Management Science, Vol. 45, No. 5, 1999.

Carnahan B.J., Norman B.A., *Redfern M.S., Incorporating physical demand criteria into assembly line balancing*, iie Transactions, Vol. 33, No. 10, 2001.

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.

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.

Dorri B., Akbari, M., Zandieh, M., *Bi-objective shift and job rotation scheduling for multi-skilled workforces with human factor engineering approach*, Management Researches in Iran, Vol.17, No.3, 2013.

Easton F.F., Rossin D.F., *Sufficient working subsets for the tour scheduling problem*, Management Science, Vol. 37, No. 11, 1991.

Jafarnajad A., Esmaelian M., *Preventive maintenance scheduling with multi skilled workforce*, Management in Iran, Scientific Research Quarterly, Vol. 15, No. 2, 2011 [In Persian].

Li C., 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.

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.

Molleman E., Slomp J., *Functional flexibility and team performance*, International Journal of Production Research, Vol. 37, No. 8, 1999.

Moreira M.C.O., Costa A.M., *Hybrid heuristics for planning job rotation schedules in assembly lines with heterogeneous workers*, International Journal of Production Economics,Vo. 141, 2013.

Mossa G., Boenzi F., Digiesi S., Mummolo G., Romano V.A., *Productivity and ergonomic risk in human based production systems: A job-rotation scheduling mode*l, International Journal of Production Economics, Vol. 171, 2016.

Otto A., Scholl, A., *Reducing ergonomic risks by job rotation scheduling*, OR Spectrum DOI 10.1007/s00291-012-0291-6, 2012.

Padula R. S., Caires Comper M. L., Sparer E.H., Dennerlein J.T., *Job rotation designed to prevent musculoskeletal disorders and control risk*

in manufacturing industries: A systematic review, Applied Ergonomics, Vol. 58, 2017.

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.

Tavakoli-Moghaddam R., Islami S., *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].

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.

Tharmmaphornphilas W., Norman B.A., *A quantitative method for determining proper job rotation intervals*, Annals of Operations Research, Vol. 128, No. 1-4), 2004.

Thompson G.M., Goodale J.C., *Variable employee productivity in workforce scheduling*, European Journal of Operational Research, Vol. 170, No. 2, 2006.

Warner R.C., Needy K.L., Bidanda B., *Worker assignment in implementing manufacturing cells*, in Proceeding soft the Sixth Industrial Engineering Research Conference. Miami Beach, FL, 1997.

Yoon S-Y., Ko J., Jung M-C., *A model for developing job rotation schedules that eliminate sequential high workloads and minimize between-worker variability in cumulative daily workloads: Application to automotive assembly lines*, Applied Ergonomics, Vol. 55, 2016.

پرتال جامع علوم انسانی