

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه غیر دولتی - غیر انتفاعی خاتم
دانشکده مدیریت و مالی
گروه مدیریت

طراحی و تحلیل مدل تخصیص نامتوازن چند دوره‌ای در محیط عملیات تکراری به منظور کاهش خستگی اپراتورها

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مدیریت صنعتی گرایش تحقیق در عملیات

استاد راهنما:
دکتر اشکان عیوق

دانشجو:
حمید غلامی

شهریور ماه ۱۳۹۸

اظهارنامه دانشجو

عنوان پایان نامه : طراحی و تحلیل مدل تخصیص نامتوازن چند دوره‌ای در محیط عملیات تکراری

به منظور کاهش خستگی اپراتورها

استاد راهنما: دکتر عیوق

اینجانب حمید غلامی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مدیریت صنعتی گرایش تحقیق در عملیات دانشگاه خاتم به شماره دانشجویی ۹۵۱۱۰۷۳۰۰۸ گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می‌باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به‌علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب مصوب دانشگاه را به‌طور کامل رعایت کرده‌ام.

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه کارشناسی ارشد، برای دانشگاه خاتم محفوظ است. نقل مطلب با ذکر منبع بلامانع است.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

تقدیم به

مادر عزیز و مهربانم

که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی
محکم و مطمئن برایم بوده است.

تقدیر و تشکر

اکنون که به یاری خداوند این دوره را به پایان رسانیده‌ام، بر خود واجب می‌دانم از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر اشکان عیوق به پاس زحمات بی‌شائبه‌شان در طی انجام این تحقیق سپاسگزاری نمایم.

همچنین از اساتید گرانمایه، جناب آقای دکتر رضوی و سرکار خانم دکتر دانشور که توفیق دانش‌آموزی و دانشجویی در محضرشان نصیبم شد نهایت تشکر و سپاس را دارم.

چکیده

در این مطالعه، یک مدل ریاضی جدید برای مسئله زمانبندی گردش شغلی در محیط هدایت چند فرآیندی با در نظر گرفتن مفهوم خستگی با توجه به ترجیحات اپراتور ناشی از انجام کارهای مشابه و غیر مشابه ارائه شده است که با استفاده از آن می توان کارها را به نحوی در دوره حفظ تخصیص زمانبندی کرد، بطوری که هزینه خستگی کاهش یابد. همچنین ترجیحات اپراتور در انجام کارهای مشابه یا غیر مشابه که منجر به واقعی تر شدن مدل زمانبندی گردش شغلی شده، در نظر گرفته شده است.

در گردش شغلی با ملاحظه ترجیحات نیروی انسانی، هر فرد در هر دوره گردش چند کار را با توجه به خستگی ناشی از تکرار یا قطع تخصیص هدایت می کند. مدل زمانبندی گردش شغلی پیشنهادی از نوع تخصیص چند دوره ای بوده که به صورت مدل عدد صحیح غیر خطی فرموله می شود و در زمره مسائل بهینه سازی ترکیباتی قرار می گیرد. بنابراین تصمیمات زمانبندی مسئله شامل تخصیص کار به فرد در دوره گردش، تابع سطح خستگی فرد بر اساس ترجیح اپراتور و طول دوره گردش می باشد.

با توجه به این موضوع که مدل ارائه شده دارای پیچیدگی محاسباتی می باشد، روش های دقیق قادر به حل مسائل با ابعاد بزرگ نمی باشد. از این جهت برای غلبه بر پیچیدگی الگوریتمی آن، الگوریتم علف های هرز مهاجم برای حل مدل پیشنهاد شده است. برای اعتبارسنجی مدل، مثال هایی با استفاده از مقادیر عددی مناسب برای پارامترهای مدل بیان شده و توسط الگوریتم علف های هرز مهاجم پیشنهادی در نرم افزار متلب حل شده است. نتایج نشان می دهند که عامل ترجیحات نیروی انسانی در کاهش خستگی اپراتور در انجام کارها در طول دوره برنامه ریزی تاثیر گذار بوده و منجر به واقعی تر شدن محاسبات شده است.

کلید واژه ها: زمانبندی گردش شغلی؛ ترجیحات نیروی انسانی؛ خستگی؛ برنامه ریزی عدد صحیح غیر

خطی؛ الگوریتم علف های هرز مهاجم (IWO).

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- بیان مسئله.....	۳
۱-۳- اهمیت تحقیق.....	۴
۱-۴- اهداف تحقیق.....	۴
۱-۵- سوالات تحقیق.....	۵
۱-۶- متغیرها و پارامترهای تحقیق.....	۵
۱-۷- روش تحقیق.....	۵
۱-۸- ابزار و روش جمع‌آوری اطلاعات.....	۶
۱-۹- جمع‌بندی.....	۶
فصل ۲: ادبیات تحقیق و مرور پیشینه.....	۸
۲-۱- مقدمه.....	۹
۲-۲- خستگی.....	۹
۲-۳- زمانبندی گردش شغلی.....	۱۳
۲-۴- پیشینه تحقیق.....	۱۹
۲-۵- مقالات زمانبندی گردش شغلی به منظور کاهش خستگی.....	۲۳
۲-۵-۱- مدل ارائه شده توسط بهادری و رادویلسکی.....	۲۴
۲-۵-۲- مدل ارائه شده توسط عیوق و همکاران.....	۲۶
۲-۵-۳- مدل ارائه شده توسط عزیزی و همکاران.....	۲۸
۲-۶- شکاف موضوعی و بیان نوآوری تحقیق.....	۳۰

۳۲	۷-۲-جمع بندی.....
۳۳	فصل ۳: روش تحقیق.....
۳۴	۱-۳-مقدمه.....
۳۴	۲-۳-ابزار و روش جمع‌آوری اطلاعات.....
۳۵	۳-۳-روش تجزیه و تحلیل اطلاعات.....
۳۵	۴-۳-تبیین ساختار و مدلسازی مسئله.....
۳۶	۵-۳-مفروضات مدل.....
۳۷	۶-۳-تعاریف و نمادهای مدل.....
۳۷	۱-۶-۳-اندیس‌ها.....
۳۸	۲-۶-۳-پارامترها.....
۳۸	۳-۶-۳-متغیرهای تصمیم.....
۳۸	۴-۶-۳-درجه تشابه دو کار.....
۳۹	۵-۶-۳-خستگی اپراتور در دوره حفظ تخصیص.....
۳۹	۶-۶-۳-خستگی کل اپراتور.....
۳۹	۷-۳-مدل پیشنهادی.....
۴۱	۸-۳-اعتبارسنجی مدل.....
۴۴	۹-۳-الگوریتم علف‌های هرز مهاجم.....
۴۶	۱-۹-۳-عوامل موثر رشد یا عدم رشد.....
۴۶	۱-۱-۹-۳-نظریه انتخاب r/k
۴۶	۲-۱-۹-۳-نظریه انتخاب r -selection.....
۴۷	۳-۱-۹-۳-نظریه انتخاب k -selection.....

۴۷	۳-۹-۲-هدف الگوریتم علف های هرز مهاجم
۴۸	۳-۹-۳-توصیف فرآیند رشد الگوریتم علف های هرز مهاجم
۵۱	۳-۱۰-شرایط خاتمه الگوریتم علف های هرز مهاجم
۵۲	۳-۱۱-فلوچارت الگوریتم علف های هرز مهاجم
۵۳	فصل ۴: تجزیه و تحلیل داده ها
۵۴	۴-۱-مقدمه
۵۴	۴-۲-مسائل حل شده با نرم افزار لینگو
۵۵	۴-۳-مسائل حل شده با الگوریتم علف های هرز مهاجم
۵۹	۴-۴-بررسی نتایج
۶۱	فصل ۵: بحث و نتیجه گیری
۶۲	۵-۱-مقدمه
۶۲	۵-۲-نتیجه گیری
۶۶	۵-۳-پیشنهادهای برای تحقیقات آتی
۶۷	ضمائم و پیوست ها

فهرست جداول

۲۲	جدول (۱-۲) سوابق تحقیق
۳۴	جدول (۱-۳) بازه جمع آوری داده ها
۴۲	جدول (۲-۳) ماتریس شباهت کارها در مثال ۱
۴۲	جدول (۳-۳) ماتریس ترجیحات اپراتور در مثال ۱
۴۴	جدول (۴-۳) خروجی لینگو در مثال ۱
۵۰	جدول (۵-۳) مولفه های الگوریتم

جدول (۱-۴) نتایج و زمان انجام محاسبات توسط نرم افزار لینگو برای مسائل نمونه.....	۵۵
جدول (۲-۴) پارامترهای مدل در مثال ۱.....	۵۶
جدول (۳-۴) پارامترهای الگوریتم علف های هرز مهاجم در مثال ۱.....	۵۶
جدول (۴-۴) پارامترهای مدل در مثال ۲.....	۵۷
جدول (۵-۴) پارامترهای الگوریتم علف های هرز مهاجم در مثال ۲.....	۵۸
جدول (۶-۴) پارامترهای الگوریتم علف های هرز مهاجم.....	۵۹
جدول (۷-۴) نتایج حل مسائل.....	۶۰
جدول (۱-۵) ماتریس ترجیحات اپراتور.....	۶۴
جدول (۲-۵) خروجی لینگو.....	۶۴
جدول (۳-۵) ماتریس ترجیحات اپراتور.....	۶۵
جدول (۴-۵) خروجی لینگو.....	۶۵

فهرست اشکال (تصاویر)

شکل (۱-۳) پنجره وضعیت خروجی لینگو در مثال ۱.....	۴۴
شکل (۲-۳) نمودار تکثیر دانه براساس برازندگی.....	۴۹
شکل (۳-۳) نمودار کاهش انحراف استاندارد در طول زمان.....	۴۹
شکل (۴-۳) نمودار شرایط خاتمه الگوریتم علف های هرز مهاجم.....	۵۱
شکل (۵-۳) فلوچارت الگوریتم علف های هرز مهاجم.....	۵۲
شکل (۱-۴) نمودار همگرایی مثال ۱.....	۵۷
شکل (۲-۴) نمودار همگرایی مثال ۲.....	۵۸
شکل (۳-۴) نمودارهای همگرایی با زیاد کردن تعداد دوره حفظ تخصیص.....	۶۱

فصل ۱ : مقدمه

۱-۱- مقدمه

جامعه‌ی امروزی جامعه‌ی سازمانی است و داشتن کارکنان و مدیران انعطاف پذیر و چند مهارته برای هر سازمان یک آرمان مهم می باشد. به طور کلی می توان گفت نیروی انسانی کارآمد شاخص برتری یک سازمان نسبت به سازمان های دیگر است. وجود اینگونه افراد در جریان فعالیت های هر مجموعه ای می تواند موجبات تسهیل و تسریع در امور و صرفه جویی در زمان و حتی در منابع را ایجاد کند (اریگو و پاگانی^۱، ۲۰۰۸) و فرصتی برای توسعه مهارت ها و ایجاد انگیزش را فراهم آورد (الروتسلا^۲، ۲۰۰۰)، برای تحقق این اهداف راهکارهای مختلفی وجود دارد که یکی از این راهکارها گردش شغلی کارکنان می باشد. گردش مشاغل از جمله تدابیر مدیریتی در حوزه مدیریت منابع انسانی است که با جابجایی کارکنان در مشاغل گوناگون با انگیزه های مختلفی از قبیل ایجاد رضایت و بالا بردن کیفیت انجام می پذیرد، در واقع به واسطه این کار افراد با مشاغل بیشتری آشنا شده و با تبدیل شدن به عضو مناسب سازمان، انگیزه کار در آنها افزایش می یابد (الرونس، ۲۰۰۰). اغلب سازمان ها از استراتژی گردش شغلی در قالب برنامه های زمانبندی گردش شغلی بهره می جویند. با این حال تحقیقات انجام شده در مورد تاثیرات بکار گیری از گردش شغلی به طور عملی به نتایج متفاوتی دست یافته است، به نحوی که مفید بودن گردش شغلی در بهبود عملکرد به یقین ثابت نشده است (بهادری و رادویلسکی^۳، ۲۰۰۶).

تاکنون مطالعات و زمینه کاربرد گردش شغلی بیشتر به مدل سازی با اهداف ارگونومیکی موردی محدود بوده و موضوعات رفتاری که ذاتا با مسئله تخصیص فردوظیفه همراه باشد اخیرا مطرح شده است که یک مورد از جنبه های ابعاد رفتاری، خستگی^۴ است. اولین مطالعه ای که خستگی را در مسئله تخصیص مفهوم سازی نمود، در سال ۲۰۰۶ توسط بهادری و رادویلسکی بوده است. از آن سال تاکنون مطالعات دیگری صورت گرفته که به نوعی به توسعه مفهوم سازی خستگی پرداخته اند (عیوق و همکاران، ۱۳۸۹)، زمانبندی گردش شغلی به منظور کاهش خستگی باید از طریق ارائه مدل های ریاضی صورت گیرد. مدل مربوط برای زمانبندی کارها باید به گونه ای مطرح شود که جنبه های واقعی و موثر بر تخصیص را در بر گیرد.

¹ Origo and Pagani² Olorunsola³ Bahaduri and Rdovilsky⁴ Boredom

۱-۲- بیان مسئله

گردش شغلی از جمله استراتژی‌های طراحی شغل است که به منظور افزایش انگیزه شاغل در انجام کارها یا وظایف تکراری بکار گرفته می‌شود. اغلب سازمان‌ها از این استراتژی برای چند کارکردی و چند مهارت‌نمودن کارکنان در قالب برنامه‌های زمان‌بندی گردش شغلی بهره می‌جویند (عیوق^۱ و همکاران، ۱۳۸۹).

گردش شغلی از منظر مدل سازی نوعی مسئله تخصیص پویا است و از منظر علوم رفتاری مستقیماً به ابعاد رفتاری شاغل و بهره‌وری او معطوف است، با این حال تاکنون مطالعات و زمینه کاربرد آن بیشتر به مدل سازی با اهداف ارگونومیکی موردی (مانند کاهش کمر درد) محدود بوده و موضوعات رفتاری که ذاتاً با مسئله تخصیص فرد-وظیفه همراه است اخیراً مطرح شده است. یک مورد از جنبه‌های ابعاد رفتاری خستگی است (عیوق و زندیه، ۱۳۸۹).

خستگی احاسی ناخوشایند و نافذ اما زودگذر است که در اثر مواجهه با کارهای تکراری و کاهش انگیزش بروز پیدا کرده و در نتیجه باعث کاهش عملکرد فرد در طول زمان انجام فعالیت‌ها شده و بر نرخ تولید او تاثیر می‌گذارد. این نوع خستگی نوعی قطع درونی محسوب می‌شود. نوع دیگر خستگی به از دست رفتن تمرکز فرد در کار به دلیل قطع کار و تغییر تخصیص مربوط است. در این نوع خستگی علی‌الرغم وجود انگیزه در فرد برای ادامه کار، قطع کاری‌ها به مرور در او ایجاد خستگی نموده و عملکردش را مخدوش می‌نمایند (عیوق و همکاران، ۲۰۱۲). اولین مطالعه‌ای که خستگی را در مسئله تخصیص مفهوم سازی نمود، در سال ۲۰۰۶ توسط بهادری و رادویسلکی بوده است. از آن سال تاکنون مطالعات دیگری صورت گرفته که به نوعی به توسعه مفهوم سازی خستگی پرداخته‌اند. همچنین مطالعات دیگری صورت گرفته که به جنبه‌های یادگیری و فراموشی و سطح مهارت فرد توجه داشته‌اند. قدمت این مطالعات طولانی‌تر از مطالعات خستگی است.

نقش فرد در محیط سلولی بسیار حائز اهمیت است چرا که فرد در هر دوره گردش چند کار را هدایت می‌نماید. در این راستا در نظر گرفتن ترجیحات فرد در مورد نحوه تخصیص از حیث چگونگی تکرار و قطع

^۱ Ashkan Ayough

وظایف، می تواند بر عملکرد او تاثیر به سزایی داشته باشد، هر فرد بسته به دوره تصدی، سوابق و سایر ویژگی های منحصر بفرد خود، انگیزه های کوتاه مدت مختلفی در انجام وظایف خود بروز می دهد، فرد ممکن است در یک دوره کوتاه مدت مشخص گرایش به انجام کارهای مشابه داشته باشد و در دوره های دیگر به عدم تشابه در وظایف محوله متمایل گردد. بنابراین ملاحظه خستگی ناشی از تکرار یا قطع تخصیص بر اساس ترجیحات فرد در محیط سلولی می تواند به مسئله تعیین برنامه ی گردش شغلی جنبه ی واقعگرایانه تری ببخشد. لذا این تحقیق مدل تخصیص نامتوازن چند دوره ای را جستجو می نماید که برای انجام گردش شغلی، خستگی را ملاک قرار می دهد. به این ترتیب که برای تخصیص وظایف به صورت پویا به افراد، آثار خستگی ناشی تکرار و قطع کار براساس ترجیحات فرد را در نظر می گیرد.

۳-۱- اهمیت تحقیق

برنامه های زمانبندی گردش شغلی به منظور چند کارکردی و چند مهارته نمودن کارکنان مورد استفاده قرار می گیرد. زمانبندی کارها یکی از مهمترین موضوعات در برنامه ریزی گردش مشاغل می باشد. بسیاری از سازمانها علی الخصوص خدماتی کشور از تنوع وظایف برخوردارند و با توجه به حساسیت و اهمیت کیفیت در ارائه خدمات، لازم است روش هایی در تخصیص وظایف به کارکنان اتخاذ گردد که مقوله های رفتاری که بسیار حایز اهمیت است، در آنها لحاظ شده باشد و در این میان ترجیحات فرد از بارزترین موارد به شمار می آید. امور مدیریت پرستاری بیمارستان ها، شرکت های ارائه دهنده خدمات گسترده فنی و مهندسی و غیره از جمله مواردی هستند که نیاز به چنین روش هایی در آنها همیشه وجود داشته ولی تاکنون کمتر به صورت علمی به آن پرداخته شده است.

۴-۱- اهداف تحقیق

- ارائه مدل زمانبندی گردش شغلی در محیط هدایت چند فرآیندی با ملاحظه ترجیحات نیروی انسانی به نحوی که خستگی اپراتورها را کمینه نماید.
- یافتن روش حل کارای مدل

۱-۵-سوالات تحقیق

سوالات اصلی تحقیق به شرح زیر است:

- در محیط هدایت چند فرآیندی مدل زمانبندی گردش شغلی با ملاحظه ترجیحات نیروی انسانی به منظور کاهش خستگی چیست؟
- روش حل کارای مدل چیست؟

۱-۶-متغیرها و پارامترهای تحقیق

متغیرهای تصمیم تحقیق شامل متغیرهای تصمیم تخصیص کار به فرد در دوره گردش، سطح خستگی فرد در افق برنامه ریزی (برحسب درصد تشابه / عدم تشابه مطابق ترجیح اپراتور) و طول دوره های گردش است. همچنین پارامترهای تحقیق عبارت است از پارامترهای سنتی شامل: تعداد دوره برنامه ریزی و تعداد کارها و تعداد اپراتورها و پارامترهای اضافه شده به مسأله ستی زمانبندی گردش شغلی شامل: ماتریسی مشابه کارها و تعداد دوره های گردش (تخصیص ثابت) که هر یک شامل حداقل یک دوره برنامه ریزی است و ماتریس ترجیحات اپراتورها که نشان می دهد هر اپراتور در یک دوره گردش (حفظ تخصیص) مشخص تمایل به تشابه دارد یا عدم تشابه. لازم به ذکر است که ۲ پارامتر آخر طبق نوآوری این تحقیق به مسأله اضافه شده است، در مدل این تحقیق به منظور جلوگیری از پیچیدگی حل، تخصص کارها در هر دوره ثابت فرض می شود و مفهوم حفظ تخصیص به معنی ثابت بودن تخمپ یک کار در هر دوره حفظ تخصیص برای یک اپراتور است.

۱-۷-روش تحقیق

این تحقیق در زمره تحقیقات کمی بدیهی گرای تجویزی است و از نظر هدف، توسعه ای محسوب می شود. پس از بررسی نمائیندی گردش شغلی و مرور تحقیقات صورت گرفته، مدل جدیدی برای زمانبندی گردش شغلی با ملاحظه ترجیحات نیروی انسانی در محیط کار چندفرآیندی ارائه شده است. این مدل از نوع تخصیص

چند دوره‌ای بوده و به صورت مدل عدد صحیح غیرخطی فرموله شده است و در زمره مسائل Np-hard قرار می‌گیرد.

تابع هدف در این مدل از نوع کمینه سازی هزینه ناشی از خستگی و تک هدفه و متغیرهای تصمیم از نوع عدد صحیح است، پس از مدل سازی به تعیین اعتبار مدل و حل آن با استفاده از الگوریتم علف‌های هرز مهاجم (IWO) پرداخته شده است.

۸-۱- ابزار و روش جمع آوری اطلاعات

داده های مورد نیاز در مورد پارامترهای مدل تحقیق با استفاده از الگوهای آماری مناسب تولید اعداد تصادفی جمع آوری شده که در فصل سوم با جزئیات بیشتر تشریح می شود

۹-۱- جمع بندی

همانطور که اشاره شد، گردش مشاغل از جمله تدابیر مدیریتی است که اغلب سازمان ها این استراتژی را مورد استفاده قرار می دهند اما مزیت گردش شغلی در بهبود عملکرد به یقین ثابت نشده است [۱۱] و تاکنون مطالعات گردش شغلی بیشتر به مدل سازی با اهداف ارگونومیکی موردی محدود بوده و موضوعات رفتاری اخیرا مطرح شده است که می تواند نقش مهمی در زمانبندی گردش شغلی داشته باشد. یکی از این جنبه های ابعاد رفتاری گردش شغلی، خستگی است [۲] همچنین در نظر گرفتن ترجیحات فرد در مورد نحوه تخصیص از حیث چگونگی تکرار و قطع وظایف، می تواند بر عملکرد او تاثیر به سزایی داشته باشد. در واقع ملاحظه خستگی ناشی از تکرار با قطع تخصیص بر اساس ترجیحات فرد در محیط سلولی می تواند به مسئله ی تعیین برنامه ی گردش شغلی جنبه ی واقعگرایانه تری ببخشد که در این مطالعه مورد بررسی قرار می گیرد.

بنابراین، مدلی برای زمانبندی گردش شغلی با ملاحظه ترجیحات نیروی انسانی در مورد نحوه تخصیص از حیث چگونگی تکرار و قطع وظایف ارائه شده، تا بدین وسیله خستگی کاهش یابد. به دلیل

^۱Invasive Weed Optimization

پیچیدگی زمانبندی در اینگونه مسائل، روش‌های دقیق قادر به حل مسائل با سایز بزرگ نیستند به همین دلیل استفاده از رویکرد الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای این منظر ضروری به نظر می‌رسد.

فصل ۲ : ادبیات تحقیق و مرور پیشینه

۲-۱- مقدمه

در این فصل به مرور ادبیات در زمینه زمانبندی گردش شغلی پرداخته می شود، مرور ادبیات موضوع بیشتر در حوزه معرفی و تعاریف گردش شغلی و همچنین بررسی آن است. هدف از بررسی زمانبندی گردش شغلی، نشان دادن کارایی گردش شغلی به منظور کاهش خستگی با در نظر گرفتن ابعاد رفتاری است، در این حالت است که تاثیر ترجیحات نیروی انسانی در گردش شغلی مشخص می شود. با توجه به ماهیت مسئله تعیین چگونگی گردش شغلی، مدل‌های عمومی آن که تحت عنوان مسئله زمانبندی گردش شغلی شناخته می شوند از نوع مدل های تخصیص چند دوره ای است در خاتمه این فصل به مرور کارهای انجام شده در زمینه زمانبندی گردش شغلی پرداخته می شود و همچنین مقالات مرتبط با زمانبندی گردش شغلی به منظور کاهش خستگی مورد بررسی قرار می گیرد، سپس با توجه به کارهای انجام شده در این زمینه به بیان موضوعات مطرح نشده در زمانبندی گردش شغلی پرداخته می شود.

۲-۲- خستگی

امروزه با پیچیده تر شدن ساختار و عملکرد سازمان ها، سازماندهی محیط کار و ایجاد محیطی بهره ور در سازمانها طوری که منجر به فعال شدن بیشتر نیروی انسانی، شادابی آنها، حذف خطرات احتمالی، افزایش کیفیت در کار، کاهش خستگی ها، رشد خدمات مثبت و در نهایت دستیابی به بهره وری مورد نظر شود، از دغدغه های مدیران اجرایی و سرپرستان سازمان ها است. خستگی احساسی ناخوشایند و نافذ اما زودگذر است که در اثر مواجهه با کارهای تکراری و کاهش انگیزش بروز پیدا کرده و در نتیجه باعث کاهش عملکرد فرد در طول زمان انجام فعالیت ها شده و بر نرخ تولید او تاثیر می گذارد. این نوع خستگی نوعی قطع درونی محسوب می شود. نوع دیگر خستگی به از دست رفتن تمرکز فرد در کار به دلیل قطع کار و تغییر تخصیص مربوط است. در این نوع خستگی علی الرغم وجود انگیزه در فرد برای ادامه کار، قطع کاری ها به مرور در او ایجاد خستگی نموده و عملکردش را مخدوش می نمایند (عیوق و همکاران، ۲۰۱۲) بررسی جزییات پیشگیری از خستگی از سال ۲۰۰۳ منتشر شده است. از آن زمان تاکنون، مطالعات زیادی بر روی معیارهای پیشگیری

^۱Job rotation scheduling problem (JRSP).

از خستگی انجام شده است و اقدامات جدید برای کاهش خستگی توسعه یافته اند [۵۰]. در واقع خستگی یکی از مهم ترین مسائل در محیط های کاری محسوب می گردد و در اشکال مختلف بروز می کند به همین علت نمی توان آن را با یک تست یا تغییر در عملکرد ارزیابی نمود. همچنین خستگی هرگز به عنوان یک پدیده واحد مورد توجه قرار نمی گیرد، بلکه یک پدیده بسیار پیچیده و دارای اجزای مختلف است. اثرات و عوارض خستگی بیشتر بر روی سیستم اعصاب مرکزی و عضلات ظاهر می شود [۳۷]. برای اندازه گیری خستگی در صنعت باید در ابتدای امر، مشخصه های فیزیولوژیک مرتبط با خستگی را شناخت و بعد اقدام به اندازه گیری و ارزیابی نمود [۲۶]. نمی توان خستگی را به طور مستقیم اندازه گیری نمود اما می توان برخی از علائم مرتبط با خستگی را شناسایی و با نشانه های فیزیولوژیک و روانی مرتبط با این علائم را اندازه گیری نمود [۴۹].

خستگی یکی از عوامل بروز عوارض و بیماری ها و ایجاد حوادث ناشی از کار بوده و باعث کاهش بازدهی در کار می گردد [۲۶]. به عبارت دیگر خستگی در دراز مدت موجب از هم گسیختگی بنیاد جسمی و روانی فرد شده و علاوه بر بروز مشکلات بهداشتی و حواس پرتی، راندمان کاری افراد را کاهش می دهد [۵۸]. همچنین خستگی در عملکرد فیزیکی، ذهنی و عاطفی تداخل ایجاد کرده و سبب تحلیل انرژی و ضعف می شود [۷]. آمار شیوع خستگی در محیط های کاری مختلف، متفاوت است، نتیجه یک مطالعه در کشور آمریکا نشان داد که ۲۲ / ۵ میلیون آمریکایی از خستگی رنج می برند [۲۵]. در بررسی دیگری در یک جمعیت عمومی میزان خستگی بین ۴۵-۷ درصد بیان شده است [۳۶]. مطالعات مختلف نشان می دهد که عامل اصلی در خستگی کارگران در بیش از ۵۰ درصد موارد عوامل روانی می باشد [۳۰]. با توجه به مطالعات انجام شده، مهمترین و شایع ترین علامت خستگی عدم تمرکز در خواب است. خستگی ناشی از کار باید بوسیله استراحت در طول زمان کاری تا اندازه ای جبران گردد تا توانایی کاری و سلامت انسان هایی که به کار اشتغال دارند در دراز مدت مخاطره انگیز نشود، بنابراین بایستی زمان های مناسب برای استراحت در نظر گرفته شود. از سویی دیگر باید به نیازهای انسانی کارگران به اندازه کافی توجه شود، زیرا زمانی که نیازهای انسانی ارضا نگردد، توانایی کاری وی نیز کاهش یافته و یا چنانچه از کار خود احساس رضایت ننماید، خستگی بر شخص غالب شده و سبب بروز علائم خستگی از قبیل بدخلقی، بی علاقه‌گی، اضطراب و غیره می شود [۲۶].

در تحقیقات گذشته، خستگی در محیط کار و خارج از آن با طیف وسیعی از نتایج منفی همراه بوده است. با این حال، اخیرا پیشنهاد شده است که خستگی می تواند نتایج مثبت نیز داشته باشد، که یکی از آنها افزایش خلاقیت است [۳۹]. در واقع خستگی با طیف وسیعی از احساسات و رفتار مشکل ساز همراه است که

ممکن است افزایش یابد. یک فرض عمومی در علم مشاغل، خستگی را ناشی از عدم اشتغال بیان می‌کند. ماریون^۱ و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه خود ادبیات خستگی را بررسی کرده و نشان دادند که خستگی ممکن است یک بیماری برای هر قشری بوده که با بی‌دقتی همراه با نگرش منفی و در نتیجه ناتوانی در درگیر شدن با هر شغلی در ارتباط بوده است. آنها راه معمول برای مقابله با خستگی را ارائه فعالیت‌های تحریک‌کننده بیان کردند [۳۸].

خستگی در محل کار غیر معمول نیست و به طور گسترده‌ای در مطالعات خستگی به هزینه‌های مرتبط با افراد و سازمانها پرداخته شده است. خستگی می‌تواند منجر به خطاها، عوارض جانبی بیمارکننده شود و نتایج بهره‌وری پرهزینه و غیر ضروری را برای مصرف‌کنندگان، کارکنان و سازمان را کاهش دهد. به عنوان یک تابع از خستگی، افراد ممکن است زیاد کار کردن و یا بیکاری به دلیل نداشتن مهارت را احساس کرده، پریشان، مضطرب و با سرخورده شوند. کارکنان خسته احتمال کمتری برای ارتباط و یا تمرکز بر کار خود دارند. در مطالعه‌ای توسط کلیری^۲ و همکاران (۲۰۱۵) نقش کارکنان برای تشخیص و حل مشکل خستگی بررسی شده و بهترین روش، توسعه پایدار محل کار توسط کارکنان برای ارائه بهترین خدمات بیان شده است [۱۵].

خستگی باعث کاهش چابکی گشته و رغبت به انجام کار را کاهش می‌دهد و در نهایت باعث کاهش بهره‌وری و بروز حوادث می‌شود. خستگی باعث به وجود آمدن بیماری‌های روانی، کندی ذهن، ضعف، فراموشی، ناراحتی‌های اسکلتی عضلانی و بی‌خوابی می‌شود [۴۰]. نتایج پژوهش [۱۳] نشان داد که ۲۶ درصد از کارکنان دارای سطح خستگی زیاد هستند و همچنین میزان خستگی در گروه شب کار بیشتر از روزگار بوده و تعداد حوادث کاری نیز در این گروه بیشتر است. مطالعه خستگی، به ویژه در آموزش عالی، موضوعی نسبتاً فراموش شده و توسعه نیافته است [۵۱].

خستگی از عوامل خطر ایجادکننده عوارض و بیماری‌های مختلف است که باعث آسیب به فرد، کاهش بازده کاری، افزایش حوادث و غیره می‌گردد. در صورتی که خستگی پیشگیری و کنترل نگردد به شکل مزمن در می‌آید که برای صنعت و در نهایت اقتصاد ملی زیان‌آور است و ضایعات آن قابل جبران نیست. خستگی عبارت است از خسته شدن جسم یا روح که می‌تواند به وسیله استرس، کار زیاد، مصرف دارو

^۱Marion

^۲Cleary

یا بیماری جسمی یا روحی ایجاد شود [۱۷] به عبارت دیگر خستگی حالتی است که موجب کم شدن مقاومت بدن می‌گردد و شخص رغبت خود را نسبت به کار و فعالیت و انجام امور روزانه از دست می‌دهد. سندرم خستگی مزمن یک بیماری ناتوان کننده پیچیده ای است که به وسیله فعالیت های شدید جسمی و روحی در محیط‌های نامناسب ایجاد و با استراحت بهبود نمی‌یابد [۱۶] ایجاد خستگی مفرط روحی و جسمی در کارگر، در بسیاری از موارد منجر به کاهش کمیت و کیفیت تولید می‌شود. عواملی از قبیل کمبود یا فزونی روشنایی، فعالیت های یکنواخت و مشابه، خواب کم و نامنظم، مشکلات اجتماعی و غیره باعث ایجاد خستگی می‌شود [۳۳]. علاوه بر این خستگی می‌تواند به وجود آورنده بیماری هایی از قبیل بیماریهای قلبی و عروقی، بی‌خوابی، ضعف، کاهش حافظه، درد عضلانی، فراموشی و غیره باشد. نتایج مطالعات انجام شده گراند جیم^۱ تایید می‌کند که خستگی یک عامل بازدارنده در تمام کارها، درست انجام ندادن آنها و نهایتاً کاهش دهنده بازده کاری است [۲۷].

در این مطالعه بیش از ۴۰۴ درصد از پرسنل بررسی شده یکی از علل افزایش خستگی خود را استرس در محل کار می‌دانستند، همچنین بیش از ۴۸ درصد پرسنل مورد بررسی بیان نمودند که خستگی به طور قابل ملاحظه ای میزان فعالیت آنها را در محل کار کاهش می‌دهد [۳۱] خستگی، فرد را در جرگه افراد حادثه پذیر قرار می‌دهد که نه تنها زیان های مالی و جانی زیادی را سبب می‌شود بلکه در امر تولید نیز اختلالاتی ایجاد می‌نماید. یکی از مهمترین منابع هر سازمانی، نیروی انسانی آن است و عوامل تشکیل دهنده این نیرو، افرادی هستند با نیازهای بی شمار که در صورت رفع نیازهایشان و داشتن انگیزه کافی، استعداد و مهارت خود را در خدمت سازمان به کار خواهند گرفت [۴۸]. سازمان ها باید از کارکنان بیشتری با مدیریت زمان بالا بهره مند شود، چون این کارکنان کمتر در معرض درگیر شدن حواس پرتی به عنوان یکی از عوامل خستگی در محل کار هستند [۳۲]. در واقع خستگی متغیری است که کیفیت زندگی کاری افراد را تحت تاثیر قرار خواهد داد. خستگی به صورت فقدان درونی انرژی فیزیکی که توسط افراد مبتلا به آن قابل درک بوده، در فعالیت های معمول و مطلوب نیز مداخله می‌کند، تعریف می‌شود و نشان داده شده است که با علائم روانی نظیر افسردگی، اضطراب و استرس پیوند دارد [۴۷] و به واسطه کاهش تحمل فرد برای انجام کارهای روزمره و کاهش وضعیت عملکردی، کیفیت زندگی فرد را کاهش می‌دهد [۱۸] خستگی یعنی انسان مجبور باشد با احساسات ناخوشایند همانند عصبانیت، پریشانی ایرادگیری، بدخلقی و غیره سازگار گردد [۴۷]. اگر افراد

^۱Grandjean

احساس خستگی داشته باشند، توان فیزیکی آنها کاهش خواهد یافت و این مسئله سبب ظهور علائم منفی نظیر عدم توانایی در انجام وظایف می‌گردد خستگی بر الگوهای کاری و توانایی تمرکز کردن مرتبط است. همچنین خستگی راهبردهای مقابله افراد و نیز شناخت و افکار و احساسات افراد را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۱۹]. احساس خستگی بالا در محیطهای کاری و هنگام رویارویی با عوامل استرس زا کنترل بالایی بر شرایط و موقعیت های گوناگون ندارند [۳۴] به طور کلی خستگی باعث اختلال در عملکرد روزمره و وظایف شغلی، تمرکز ذهنی، روابط فردی و اجتماعی و مشکلات عاطفی می‌گردد که در نهایت کیفیت کاری افراد را متأثر ساخته و آن را کاهش می‌دهد، در واقع صفات شخصیتی و خستگی از عوامل موثر بر کیفیت زندگی کارکنان است.

۳-۲- زمانبندی گردش شغلی

منابع انسانی پخش عمده ای از ورودی های تولیدی و عملیاتی سازمانها و مراکز صنعتی را تشکیل می‌دهند و یکی از روش های توسعه منابع انسانی گردش شغلی است [۲۳]. از طرفی دیگر، گردش در مشاغل باعث بهبود عملکرد کارکنان، توسعه دانش و مهارت شغلی می‌گردد. سازمانی که کارکنان با مهارت را بکار گیرد، موفقیت بیشتری دارد. گردش شغلی نیز به عنوان راهی برای دستیابی به اهداف منابع انسانی، افزایش کیفیت، رضایت کارکنان و بهره‌وری ذکر می‌شود [۹] همچنین گردش شغلی یکی از راهبردهای طراحی مشاغل بوده که مستقیماً به ابعاد رفتاری شاغل و بهره‌وری او معطوف است.

یکی از عوامل بسیار مهم که امروزه مدیران را ناگزیر به استفاده از چرخش شغلی می‌کند منسوخ شدن مهارت ها است. گردش شغلی در سلول های تولیدی و با در نظر گرفتن مهارت های انسانی توسط وارنر^۱ و همکاران در سال ۱۹۹۷ مورد بررسی قرار گرفته شده است [۵۶]. مدیران سازمان ها برای جلوگیری از کسالت کارکنان در محیط کار و برای منطبق شدن با تغییرات محیطی و تکنولوژیکی و پاسخگویی بهتر به نیازهای ذی نفعان و بالا بردن انگیزه کاری کارکنان، به ابزار های غنی سازی و توسعه مشاغل متوسل می‌شوند که از مهم ترین آنها می‌توان به گردش شغلی اشاره کرد. اما تحقیقات انجام شده در مورد بررسی اثرات

^۱ Warner

بکارگیری گردش شغلی در عمل به نتایج ضد و نقیضی دست یافته است، به نحوی که به طور قاطع نمی توان مزیت آن را در بهبود عملکرد کارکنان اثبات شده دانست [۱۱].

اخیرا گردش شغلی در صنعت و حوزه‌ی پژوهشی مشاهده شده است [۴۶]. در واقع گردش مشاغل از جمله تدابیر مدیریتی در حوزه مدیریت منابع انسانی است که موضوع آن با جابجایی کارکنان در مشاغل گوناگون با انگیزه های مختلف به طور مشروط و اقتضایی انجام می پذیرد. این تدبیر چنانچه با برنامه ریزی صحیح انجام شود در سه بعد وظیفه‌های نظام مدیریت منابع انسانی یعنی بهسازی، نگهداری و کاربرد مؤثر نیروی انسانی سازمان می تواند مفید باشد. از جمله مزایای گردش مشاغل ایجاد یک سیستم ارتقای انعطاف پذیر، توسعه مهارت های نیروی انسانی، تأمین نیروی انسانی مورد نیاز واحدها، کاهش میزان اختلالات روحی و خستگی، افزایش روحیه کارکنان، بهبود روابط انسانی در محل کار، ایجاد انگیزش، تأمین رضایت شغلی نسبی و در نتیجه افزایش کارایی سازمان را می توان نام برد.

زمانبندی گردش شغلی یکی از زیر مجموعه های مسئله زمانبندی منابع انسانی است که هدف آن تخصیص کارها به اپراتورها طی دوره های زمانی مشخص است، به نحوی که هزینه های ناشی از تخصیص شامل هزینه های انجام کار و هزینه های فرصت کمینه شود [۱]. منظور از هزینه های فرصت آن دسته از هزینه هایی است که در نتیجه کاهش بهره وری فردی، بروز مسایل ارگونومیکی و مرتبط با ایمنی و با هر دو ایجاد می شوند. از جمله موارد بهره وری فردی می توان یادگیری، کسب مهارت های بیشتر، انگیزه و رضایت شغلی را نام برد و مخاطرات مواجهه با محیط کار، کار با ماشین، مواد و غیره نیز از موارد قابل ذکر در حیطه مسائل ارگونومیکی و مرتبط با ایمنی است (اسکینر و کرت ۲۰۰۷، بورک و مور ۲۰۰۶). نرمن و ترمفرنفلس^۳ (۲۰۰۷) در مطالعه خود یک روش برای توسعه برنامه زمانبندی گردش شغلی برای کاهش احتمال کمردرد به دلیل بلند کردن بار بر روی شده است، همچنین علاوه بر حل دقیق با استفاده از برنامه ریزی ریاضی، روش حل ابتکاری توسعه یافته است [۵۷].

^۱ Seckiner and Kurt

^۲ Burke and Moore

^۳ Norman and Tharmmaphornphilas

کرانهان^۱ و همکارانش (۲۰۰۰) اولین محققانی بودند که با هدف بهینه سازی معیارهای ارگونومیکی از روش تحقیق در عملیات برای تعیین جدول زمانی گردش شغلی یعنی مسئله زمانبندی گردش شغلی استفاده کردند [۱۴]. در واقع زمانبندی گردش شغلی فرآیند تهیه جدول زمانی کار بهینه و امکان پذیر برای کارکنان با در نظر گرفتن شرایط سازمان، کارکنان و قوانین کاری، به منظور برآورده نمودن تقاضای کاری سازمان است. تهیه بهترین جدول زمانی کاری کارکنان اغلب اوقات جزو مسائل بهینه سازی گسسته و ترکیباتی است و نیاز به رویکرد کارا و مؤثر دارد [۱۹] همچنین گردش شغلی از جمله استراتژی های طراحی شغل است که به منظور افزایش انگیزه شاغل در انجام کارها با وظایف تکراری بکار گرفته می شود. اغلب سازمان ها از این استراتژی برای چند کارکردی و چند مهارته نمودن کارکنان در قالب برنامه های زمانبندی گردش شغلی بهره می جویند [۱]. به عبارت دیگر، گردش شغلی، حرکت سیستماتیک کارکنان از شغلی به شغلی دیگر بوده و به عنوان راهی برای دستیابی اهداف منابع انسانی، افزایش کیفیت، رضایت کارکنان و بهره وری و کاهش ناتوانایی ناشی از ترومای تجمعی می شود [۹].

مطالعات نشان می دهد که مشکلات و مقاومت در برابر گردش شغلی وجود دارد و بیشتر از چالش ناشی از تغییر ساختار کار حاصل می شود نه از خود گردش شغلی. میبایست توجه داشت که ممکن است شروع یک برنامه زمانبندی گردش شغلی زمان زیادی بگیرد، بنابراین واقع گرایانه نیست که خیلی سریع انتظار دیدن نتایج مثبت داشته باشیم [۹] گردش شغلی به عنوان روشی از طراحی شغلی در نظر گرفته می شود که کارمندان مهارت های شغلی را از بخش های مختلف یاد می گیرند و خستگی ناشی از وظایف شغلی تکراری را با ایجاد تغییر در وظایف برطرف می کنند. مواجهه شدن با این وظایف جدید، کارمند را به شور و شوق مجدد تشویق می کند و روحیه کارمند را برای بهبود عملکرد افزایش می دهد [۳۵]. در واقع چرخش در وظایف باعث افزایش دانش و تجربیات فرد می شود. از خستگی و ملامت روحی نیز می کاهد و این امر موجب تحولات فکری و خلاقیت و نو آوری می شود [۲۳].

گردش شغلی یک روش سازماندهی کار است که به وسیله آن می توان شرایط کاری را بهبود داد. گردش مشاغل یکنواختی کار، خستگی، خطر ابتلا به اختلالات اسکلتی عضلانی و اختلالات تجمعی را کاهش می دهد [۲۲]. همچنین به گفته نرمن و ترمقرنفلس (۲۰۰۴) در صورتی که گردش شغلی به شیوه نامناسب اجرا گردد ممکن است فرد را در معرض استرس قرار داده و سبب کاهش کارایی گردد [۵۴] گردش شغلی یک

¹ Carnahan

استراتژی سازمانی است که به طور گسترده‌ای در خطوط تولید انسانی با هدف جلوگیری از اختلالات اسکلتی-عضلانی مرتبط با کار استفاده می‌شود [۱۰]. اگر مدل‌های کمی مناسب برای کمک به تصمیم‌گیری مدیران در برنامه‌ریزی گردش شغلی در دسترس باشد، اثر گردش شغلی می‌تواند به طور قابل توجهی افزایش یابد [۱۱]. گردش شغلی باعث بهبود عملکرد کارکنان، توسعه دانش و مهارت شغلی می‌گردد.

مزایای گردش شغلی عبارتند از: ترویج آموزش کارکنان، کاهش خستگی کارکنان، افزایش انگیزه و افزایش ذخیره سرمایه انسانی، علاوه بر این، اورتگا (۲۰۰۱) بیان می‌کند که گردش شغلی منجر به افزایش دانش سازمان، به عنوان مثال اطلاعات بیشتر کارفرمایان در مورد کارگران خود می‌شود [۴۶] با این حال، شواهد تجربی از موفقیت گردش شغلی به یقین ثابت نشده است [۱۱] همچنین کانینگام و ابرل (۱۹۹۰) گزارش کرده‌اند که گردش شغلی رضایت کارکنان را بهبود می‌بخشد، هر چند ممکن است عملکرد کارکنان را بهبود نبخشد [۲۱]. در واقع گردش شغلی فرصتی برای یادگیری مهارت‌های جدید با پیروی کردن از افراد با سابقه در محیط کاری است [۲۴].

گردش شغلی روشی است که گاهی اوقات به منظور کاهش قرار گرفتن در معرض مشاغل سخت استفاده می‌شود. خصوصاً این روش می‌تواند برای سازمان‌های خدماتی که تقاضای مشتری در طول یک روز و نسبت به دیگر روزهای هفته متغیر است، استفاده شود. با این حال، توسعه زمانبندی گردش شغلی موثر حتی در اندازه متوسط سیستم‌های خدماتی می‌تواند پیچیده باشد، اسکینر و کرت (۲۰۰۷) در مقاله خود یک مدل جدید برای مسئله زمانبندی گردش شغلی که هدف آن حداقل رساندن حجم کار برای کارگر مشاغل سخت است، ارائه کردند که با استفاده از الگوریتم ژنتیک توسعه یافته است، همچنین آنها در مطالعه خود بیان کردند که گردش کار در یک سیستم دو نفره به عملکرد بالاتر نسبت به یک سیستم سه نفره بدون اجرای گردش شغلی انجامیده است [۵۳].

رقابت سیستم‌های تولید پیشرفته متکی به نرخ تولید بالا و سطح بالایی از انعطاف پذیری است. با وجود سطح بالایی از اتوماسیون در سیستم‌های تولید، انعطاف پذیری غالباً توسط مهارت انسان و قابلیت‌های شناختی از نیروی کار در محیط کار ارائه می‌شود. همچنین در کارهای دستی تکراری، کارگران در معرض خطر اختلالات اسکلتی-عضلانی قرار می‌گیرند. در این زمینه، نرخ تولید بالا منجر به حجم کار فیزیکی بالا

¹ Ortega

² Cunningham and Eberle

می شود و وجود برنامه گردش شغلی را به منظور کاهش خطرات ارگونومیکی ضرورت می بخشد [۲۸]. همچنین در گذشته، موضوعات ارگونومیکی و عملکرد انسان به طور جداگانه بررسی شده است. با این حال، در طراحی و برنامه ریزی سیستم های تولید مبتنی بر انسان، شرح قابل اطمینانی از اجزای انسان به منظور ارزیابی عملکرد سیستم تولید و ارزیابی ریسک کارگران از اختلالات اسکلتی عضلانی مورد نیاز است. در این راستا مقاله [۲۸]، مدل زمانبندی گردش شغلی بهینه در محیط کار برای کارهای دستی تکراری در خطوط مونتاژ ارائه شده است. این مدل یک مدل برنامه نویسی عدد صحیح مختلط است که برای به حداکثر رساندن نرخ تولید و کاهش متعادل حجم کار انسان و خطرات ارگونومیکی در حد قابل قبول تعیین شده است. به طور گسترده ای این روش به عنوان یک ابزار موثر برای ارزیابی خطر ابتلا به اختلالات اسکلتی عضلانی اندام فوقانی شناخته شده است.

علاوه بر این، عملکرد کارگران مختلف با توجه به سطح آموزش های مربوطه و مهارت هایشان در مدل سازی مسئله در نظر گرفته شده است. نتایج، ظرفیت مدل برای شناسایی برنامه زمانبندی گردش شغلی بهینه، دستیابی بهره وری و کاهش خطر ارگونومیکی و همچنین افزایش انعطاف پذیری نیروی کار را نشان می دهد. گردش شغلی یکی از راهبردهای طراحی مشاغل بوده و از منظر علوم رفتاری مستقیماً به ابعاد رفتاری شاغل و بهره وری او معطوف است. با این حال تاکنون نتایج به کارگیری آن در عمل چندان امیدوار کننده نبوده است مهمترین دلیل این رخداد را می توان تهیه ی برنامه های گردش شغلی ای دانست که در آنها تاکید صرف بر کاهش هزینه ها و مدل سازی با اهداف ارگونومیکی موردی گذاشته شده و موضوعات رفتاری مرتبط با امر تخصیص به نحو مطلوبی در بر گرفته نشده است. در واقع موضوعات رفتاری که ذاتاً با مسئله تخصیص فرد وظیفه همراه است اخیر مطرح شده است. یک مورد از جنبه های ابعاد رفتاری خستگی است (عیوق و زندیه، ۱۳۸۹).

خستگی عبارت از کاهش در عملکرد فرد در طول زمان در فعالیت های فیزیکی است. گردش شغلی سیستم های تولید را به مقابله با نوسانات تقاضا بازار با بهره برداری از مزایای نیروی کار انعطاف پذیر قادر می سازد. گردش شغلی باعث میشود کارکنان به محیط کار متعهدتر بوده و در نتیجه وظایف کمتر خسته کننده و تکراری می شوند. بهادری و رادویلسکی (۲۰۰۶) مطالعه ای در چارچوب توسعه مدل تخصیص چند دوره ای ارائه دادند که دو هدف به حداقل رساندن هزینه کل تخصیص و به حداقل رساندن احساس خستگی کارکنان با توجه به تکرار متناوب کارهای یکسان در طول دوره های متوالی را بررسی کرده است. با توجه به تعاریف

جایگزین خستگی، مدل های مختلف بهینه سازی دو هدفه فرموله شده و با استفاده از الگوریتم چند جمله ای ساده حل شده است. مسائل تخصیص در مطالعات گذشته به دنبال تخصیص تعداد معین از کارگران به مجموعه از وظایف بوده در حالیکه برای بهینه سازی برخی از معیارهای مانند کل هزینه با سود تلاش می کردند. با این حال، این رویکرد یک اشکال عمده دارد. وقتی که مسئله مشابه مکررا حل شود، تخصیص وظایف کارگر ممکن است جواب مشابه داشته باشد. یعنی کارهای یکسان مکررا توسط کارگران یکسان بدون هیچ گردش شغلی انجام شود. این ممکن است به دلیل تکرار به خستگی در کار منجر شود، بنابراین نیاز به گردش شغلی به منظور کاهش خستگی تاکید شده است [۱۱] اگرچه نمی توان خستگی را حذف نمود اما با برنامه ریزی مناسب می توان آن را کاهش داد. اهدافی که بهادری و رادویلسکی (۲۰۰۶) در مدل های ارائه شده گنجانده اند شامل کمینه سازی هزینه های انجام کار و کمینه سازی خستگی ناشی از تخصیص کارهای یکسان طی دوره برنامه ریزی به هر اپراتور می باشد [۱۱]. تأثیر خستگی بر نرخ تولید نشان می دهد که ظرفیت تولید بر اثر خستگی در طول زمان کاهش می یابد [۲۹].

در مقاله عزیزی^۱ و همکاران (۲۰۱۰) یک روش برای گردش شغلی در سیستم های تولید با هدف حداقل کردن تاخیر ناشی از خستگی کارکنان پیشنهاد شده و اثر فواصل گردش در یادگیری و فراموشی مهارت کارگران بررسی شده است. برای این منظور، یک سری مدل سازی برای اندازه گیری خستگی و تغییرات مهارت کارکنان در طول افق تولید ارائه شده است. براساس مدل ارائه شده، مدل برنامه ریزی ریاضی و الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای گردش شغلی توسعه داده شده است [۶]. در پژوهش اکبری و همکاران نشان داده شد که برای زمانبندی بهینه و دقیق تر می توان عوامل انسانی تاثیر گذار بر عملکرد افراد همچون خستگی را به صورت عینی و متغیر در مدل سازی زمان بندی کارکنان برای به حداکثر رساندن رضایت کارکنان در نظر گرفت [۸]. از این رو در نظر گرفتن خستگی کارکنان در زمانبندی و برنامه ریزی تولید امری ضروری به نظر می رسد.

خستگی به علت غیبت کارگران، حوادث، نارضایتی شغلی و تغییرات عملکرد در محیط های تولید با کارهای تکراری ایجاد می گردد. به طور موثر اندازه گیری و پیش بینی خستگی کار راه حل طراحی و پیاده سازی استراتژی های مناسب برای مقابله با چنین حالت عاطفی نامطلوب است [۵].

^۱ Azizi

۲-۴- پیشینه تحقیق

گردش مشاغل از جمله تدابیر مدیریتی در حوزه مدیریت منابع انسانی است که طیف وسیعی از شرکت های تولیدی با تنوع وظایف، سیستم های صنعتی پیشرفته همچون صنایع تولید سلولی و سازمان های خدماتی را شامل می شود (بهادری و رادویلسکی ۲۰۰۶، اسکینر و کرت ۲۰۰۷). با این حال امیلی و عالیخانی در تحقیقشان نشان دادند که بیش از نیمی از کارکنان با چرخش شغلی مخالفند و چرخش شغلی را موجب هرج و مرج می دانند و حفظ شرایط فعلی آنان بهترین مسئله است [۲۳]. به واسطه گردش شغلی افراد با مشاغل بیشتری آشنا شده و با تبدیل شدن به عضو مناسب سازمان، انگیزه کار در آنها افزایش می یابد [۴۴] از طرفی دیگر بنابر گزارش بهادری و زاد ویسکی (۲۰۰۶) از تحقیقات انجام شده توسط گریفین، موفقیت گردش شغلی در ارتقای سطح انگیزش و رضایت شغلی نامناسب ارزیابی شده است [۱۱].

علیرغم علاقه محققان به مطالعه اثرات گردش شغلی، تاکنون تحقیقات اندکی برای توسعه و حل مدل های زمانبندی گردش شغلی صورت گرفته است. مسئله زمانبندی گردش شغلی اولین بار توسط کراناهان و همکاران (۲۰۰۰) با هدف بهینه سازی معیارهای ارگونومیکی مدل تخصیص چند دوره ای که با متغیرهای عدد صحیح برنامه ریزی می شد، مدل سازی و حل شده است [۱۴] همچنین کراناهان در مقاله بعدی خود عوامل انسانی همچون خستگی اپراتور را در متعادل سازی خط مونتاژ در نظر گرفته اند [۲۰] اسکینر و گرت (۲۰۰۷) با هدف کمینه سازی هزینه های بار کار به توسعه مدل پیشنهادی کراناهان و همکاران (۲۰۰۰) پرداخته و با استفاده از الگوریتم های شبیه سازی تبرید^۱ و کلونی مورچگان^۲ مدل را اعتبارسنجی کرده اند [۵۳].

همچنین آنها در مطالعه بعدی خود به دنبال کشف اثربخشی بهینه سازی کلونی مورچگان برای حل مسائل زمانبندی گردش شغلی بودند. مسئله زمانبندی گردش شغلی با هدف به حداقل رساندن حجم کاری در نظر گرفته شد و کارایی دو الگوریتم پیشنهادی مورچگان و ژنتیک بر اساس برنامه ریزی عدد صحیح بررسی شده است که الگوریتم مورچگان مناسب تر شناخته شده است [۵۲] چون مدل های عمومی گردش شغلی از نوع مدل های تخصیص چند دوره ای می باشند که با فرض استقلال تخصیص کارها به هر اپراتور،

^۱ Simulated annealing (SA)

^۲ Ant colony optimization (ACO)

فضای موجه جواب‌ها به شدت بزرگ خواهد بود و به این ترتیب استفاده از رویکرد های برنامه ریزی ریاضی برای حل مدل غیر عملی بوده و توسعه روش های جستجوی ابتکاری را ضرورت می بخشد [۵۳].

کانینگام و ابرل (۱۹۹۰) گزارش کرده اند که گردش شغلی رضایت کارکنان را بهبود می بخشد، هر چند ممکن است عملکرد کارکنان را بهبود بخشد [۲۱]. همچنین در پژوهش مولمن و اسلمپ^۱ (۱۹۹۹) انعطاف پذیری کارکنان در انجام کارها و همچنین کارایی آنان مورد توجه قرار گرفته و تمرکز اصلی آن بر تاثیر توزیع انعطاف پذیری کارکنان بر عملکرد آنان می باشد [۴۲]. علاوه بر این، اورتگا (۲۰۰۱) بیان می کند که گردش شغلی منجر به افزایش دانش سازمان، به عنوان مثال اطلاعات بیشتر کارفرمایان در مورد کارگران خود می شود [۴۶]. همانگونه که اشاره شد با وجود توسعه این مدل ها، مسئله اصلی این است که مدل های مورد استفاده در عمل، عملکرد مطلوبی در بهبود بهره وری فردی نداشته اند. به اعتقاد بهادری و رادویسکی (۲۰۰۶) ضعف مدل های کنونی، استفاده از قواعد بسیار ساده و غیر ابتکاری برای تعیین نحوه گردش وظایف است. در واقع مسائل تخصیص در مطالعات گذشته به دنبال تخصیص تعداد معین از کارگران به مجموعه از وظایف بوده است. با این حال، این رویکرد یک اشکال عمده دارد. وقتی که مسئله مشابه مکررا حل شود، تخصیص وظایف کارگر ممکن است جواب مشابه داشته باشد، یعنی کارهای یکسان مکررا توسط کارگران یکسان بدون هیچ گردش شغلی انجام شود [۱۱].

همچنین می توان چنین استدلال کرد که مدل سازی منابع ایجاد هزینه های ناشی از کاهش بهره وری فردی و بروز مسایل ارگونومیکی علاوه بر اینکه نیازمند خلاقیت در تعریف تابع مدل است، چند هدفه بودن مدل زمانبندی گردش شغلی، تطابق بیشتر با واقعیات را موجب می شود. در این راستا بهادری و رادویسکی (۲۰۰۶) سه مدل تخصیص چند دوره ای و دو هدفه و چند روش ساده ابتکاری برای بدست آوردن جواب های موجه مطلوب ارائه دادند و مدعی شده اند که سه مدل مذکور نسبت به مدل های پیشین از اثربخشی بالاتری برخوردار بوده و به واقعیت نزدیک تر هستند [۱۱]. در واقع در مطالعه بهادری و رادویسکی (۲۰۰۶) به مدل سازی ریاضی چند هدفه با اهداف کمینه سازی هزینه کل تخصیص کارها به کارکنان و کمینه سازی خستگی آنان پرداخته شده است [۱۱]. دونالد^۲ و همکاران (۲۰۰۹) تقاضای کارکنان و نیازهای مهارتی برای گردش شغلی با هدف کمینه سازی هزینه را مورد مطالعه قرار دادند [۴۱]. همچنین عزیزی و

^۱ Molleman and Slomp

^۲ Donald

همکاران (۲۰۱۰) به زمانبندی گردش شغلی با ملاحظه خستگی و با هدف حداقل کردن تاخیر ناشی از خستگی پرداخته و همچنین تابع خستگی را بر حسب زمان به صورت الگوی نمایی ارائه داده اند. آنها همچنین به بررسی عوامل کسالت، یادگیری و فراموشی کارگر در زمانبندی گردش شغلی پرداخته اند [۶].

گرین^۱ و همکاران (۲۰۰۳) برنامه زمانبندی اپراتور را برای کاهش احتمال از دست دادن شنوایی کارگران توسعه دادند. با گردش کارگران از طریق مشاغل مختلف در طول روز، کاهش قرار گرفتن کارگران در معرض سطح سر و صدای مخاطره آمیز ممکن می شود. نتایج نشان می دهد که سطح سر و صدا برای هر اپراتور در طول روز ۵۸۸٪ کاهش می یابد [۵۵]، مدل گردش شغلی پویا برای تخصیص بهینه با هدف توزیع متعادل حجم کاری و در نتیجه دستیابی حفظ تعادل پویا خط تولید در مطالعه بیکالوس و همکاران (۲۰۱۰) پیشنهاد شده است [۴۳].

برای توسعه یک برنامه زمانبندی گردش شغلی و رسیدن به حداکثر مزیت قابل حصول از این روش، عوامل متعدد که آن را تحت تاثیر قرار می دهند باید به طور همزمان در نظر گرفته شود، بدین منظور دیگو^۲ و همکاران (۲۰۰۹) یک الگوریتم ژنتیکی برای رسیدن به برنامه زمانبندی گردش شغلی با هدف کاهش خطر ابتلا به اختلالات اسکلتی-عضلانی، حداکثر تنوع مشاغل انجام شده در طول ساعات کاری و برآورد خستگی اپراتور را پیشنهاد کرده است [۲۲]. آسنسیو^۳ و همکاران (۲۰۱۲) یک الگوریتم ژنتیک برای به دست آوردن برنامه زمانبندی گردش شغلی با هدف جلوگیری از خطر اختلالات اسکلتی-عضلانی ایجاد شده توسط حرکات تکراری در کار طراحی کردند. برای انجام این کار ترکیبی از اثربخشی بهینه سازی الگوریتم ژنتیک با قابلیت ارزیابی وقوع خطر با پیروی از روش ارزیابی ارگونومیکی OCRA^۴ در نظر گرفته شده است [۱۰].

عیون و همکاران (۲۰۱۲) به توسعه مفهوم خستگی و مدل زمانبندی گردش شغلی پیشنهادی بهادری و ادو بسکی (۲۰۰۶) پرداخته، به نحوی که با توسعه مفهوم خستگی ناشی از کارهای یکسان به دو نوع خستگی مثبت و منفی ناشی از انجام کارهای مشابه و نه صرفاً یکسان، مدل منعطفی ارائه شده که با استفاده از آن می توان کارها را به نحوی زمانبندی کرد که کارهای مشابه در کوچکترین دوره قابل برنامه ریزی و کارهای غیر مشابه در بزرگترین دوره قابل برنامه ریزی به هر اپراتور تخصیص داده شود، به نحوی که کل

¹ Green

² Diego

³ Asensio

⁴ Occupational Repetitive Actions

هزینه تخصیص شامل هزینه انجام کار و خستگی کمینه گردد [۴]. هدف مقاله عزیزی و همکاران (۲۰۱۳) ارائه روش های جدید برای اندازه گیری و پیش بینی خستگی انسان در محل کار است. روش های ارائه شده، اقدامات پیشگیرانه ای برای مقابله با خستگی نظیر گردش کار و طراحی مجدد شغل بیان کرده است [۵]. بهبود عملکرد سلولهای تازه استقرار یافته به تخصیص مطلوب کارکنان به سلول و عملکرد مناسب آنان وابسته است.

در این راستا، عیوق و همکاران (۱۳۹۳) با تأکید بر اهمیت جنبه های انسانی و ضرورت گردش شغلی در سلولهای تولید ناب، خستگی ناشی از تکرار وظایف در قالب سیکل های کاری متعدد را برای محیط سلول تولید ناب مفهوم سازی و مدل برنامه ریزی غیر خطی از سیستم سلول تولید ناب را طراحی کرده اند. این مدل بهترین ترکیب از کارکنان معمولاً تک مهارته در سیستم تولید کنونی برای تخصیص به سلول مشخص و برنامه گردش شغلی آنها طی افق برنامه ریزی هفتگی را تعیین می کند؛ به طوری که اهداف چندگانه عملکرد ناب محقق شود. با توجه به قرار گرفتن مسئله در زمره مسائل بهینه سازی ترکیباتی و پیچیدگی الگوریتمی آن، مدل تحقیق با توسعه الگوریتم ژنتیک تحلیل شده است [۳]. در نگاه دقیق تر ملاحظه خستگی ناشی از تکرار با قطع تخصیص وظایف بر اساس ترجیحات فرد در محیط سلولی می تواند به مسئله ی تعیین برنامه ی گردش شغلی جنبه ی واقع گرایانه تری ببخشد. این مطالعه به توسعه مفهوم خستگی و مدل زمانبندی گردش شغلی پیشنهادی عیوق و همکاران (۲۰۱۲) می پردازد، به این ترتیب که برای تخصیص وظایف به صورت پویا به افراد، آثار خستگی ناشی تکرار و قطع کار بر اساس ترجیحات فرد را در نظر می گیرد.

جدول (۲-۱) سوابق تحقیق

محققان	زمانبندی گردش شغلی	کمینه سازی هزینه	کاهش خستگی	بهینه سازی معیارهای ارگونومیکی	ترجیحات نیروی انسانی	الگوریتم ژنتیک
کراهان و همکاران (۲۰۰۰)	✓	×	×	✓	×	×
گرین و همکاران (۲۰۰۳)	✓	×	×	✓	×	×
بهادری و رادویلسکی (۲۰۰۶)	✓	✓	✓	×	×	×

اسکینر و کرت (۲۰۰۷)	✓	✓	×	✓	×	×
اسکینر و کرت (۲۰۰۸)	✓	✓	×	×	×	✓
دنالد و همکاران (۲۰۰۹)	✓	✓	×	×	×	×
دیگو و همکاران (۲۰۰۹)	✓	×	✓	✓	×	✓
میکالوس و همکاران (۲۰۱۰)	✓	×	✓	×	×	×
عزیزی و همکاران (۲۰۱۰)	✓	×	✓	✓	×	×
عیوق و همکاران (۲۰۱۲)	✓	✓	✓	×	×	✓
آسنسیو و همکاران (۲۰۱۲)	✓	×	✓	×	×	✓
عزیزی و همکاران (۲۰۱۳)	✓	×	✓	×	×	×
عیوق و زندیه (۲۰۱۱)	✓	✓	✓	×	×	×
عیوق و همکاران (۲۰۱۰)	✓	✓	✓	×	×	✓
عیوق و همکاران (۲۰۱۴)	✓	×	✓	×	×	×
مطالعه در حال بررسی	✓	×	✓	×	✓	✓

۲-۵- مقالات زمانبندی گردش شغلی به منظور کاهش خستگی

در ادامه برای بررسی بیشتر تحقیقات صورت گرفته در زمینه زمانبندی گردش شغلی به منظور کاهش خستگی، دو مورد از تحقیقات صورت گرفته در این حوزه مورد بررسی قرار گرفته اند.

۲-۵-۱- مدل ارائه شده توسط بهادری و رادویلسکی

بهادری و رادویلسکی در سال ۲۰۰۶ مدل هایی برای زمانبندی گردش شغلی ارائه کردند. در این مقاله سه مدل تخصیص دو هدفه ارائه شده است که اهداف آن کمینه سازی هزینه های انجام کار و کمینه سازی خستگی ناشی از تخصیص کارها طی دوره برنامه ریزی به هر اپراتور می باشد.

مدل های ارائه شده در این مطالعه از نوع تخصیص چند دوره ای می باشد همچنین از روش های ساده ابتکاری برای بدست آوردن جواب های موجه استفاده شده است. بهادری و رادویلسکی (۲۰۰۶) مدعی شده اند که مدل های ارائه شده نسبت به مدل های پیشین به دلیل خلاقیت در بیان تابع مدل برای کمینه سازی کل هزینه تخصیص (هزینه انجام کار و هزینه ناشی از خستگی) و چند هدفه بودن مدل زمانبندی گردش شغلی، به واقعیت نزدیک تر بوده و از اثر بخشی بالاتری برخوردار هستند [۱۱].

مدل های ارائه شده به صورت زیر است:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K C_{ij} X_{ij}^{(k)}. \quad (1-2)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^I X_{ij}^{(k)} = 1 \quad \forall k, j. \quad (2-2)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ij}^{(k)} = 1 \quad \forall k, i. \quad (3-2)$$

$$B(i) \leq q \quad \forall i. \quad (4-2)$$

$$\text{Min} \left\{ \text{Max}_i = 1.2. \dots I\{B(i)\}; \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K C_{ij} X_{ij}^{(k)} \right\}. \quad (۵-۲)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^I X_{ij}^{(k)} = 1 \quad \forall k.j. \quad (۶-۲)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ij}^{(k)} = 1 \quad \forall k.i. \quad (۷-۲)$$

$$X_{ij}^{(k)} : 0/1. \quad (۸-۲)$$

$$\text{Min} \sum_i \sum_j \sum_k C_{ij} X_{ik}^k. \quad (۹-۲)$$

s.t.

$$\sum_i X_{ij}^k = 1 \quad \forall j.k. \quad (۱۰-۲)$$

$$\sum_j X_{ij}^k = 1 \quad \forall i.k. \quad (۱۱-۲)$$

$$B(i) \leq B_m \quad \forall i. \quad (۱۲-۲)$$

$$T(i) \leq T_m \quad \forall i. \quad (۱۳-۲)$$

تابع هدف در سه مدل ارائه شده از نوع کمینه‌سازی است. با توجه به محدودیت‌های مدل، موارد زیر در محدودیت‌ها بکار گرفته شده است.

- هر کار در هر دوره برنامه‌ریزی تنها باید به یک اپراتور تخصیص یابد.
- تعداد کارها با تعداد اپراتورها برابر است لذا به هر اپراتور در هر دوره برنامه‌ریزی فقط یک کار تخصیص می‌یابد.
- عدد صحیح بودن مدل در محدودیت در نظر گرفته شده است.

۲-۵-۲- مدل ارائه شده توسط عیوق و همکاران

عیوق و همکاران در سال ۲۰۱۲ مدلی برای زمانبندی گردش شغلی ارائه کردند. در این مقاله با توسعه مفهوم خستگی ناشی از کارهای یکسان به دو نوع خستگی مثبت و منفی ناشی از انجام کارهای مشابه و نه صرفاً یکسان، مدلی ارائه شده است که با استفاده از آن می‌توان کارها را به نحوی زمانبندی کرد که کارهای مشابه در کوچک‌ترین دوره قابل برنامه‌ریزی و کارهای غیر مشابه در بزرگ‌ترین دوره قابل برنامه‌ریزی به هر اپراتور تخصیص داده شود، به نحوی که کل هزینه تخصیص (شامل هزینه کل انجام کار و هزینه کل خستگی) کمینه گردد.

مهم‌ترین تفاوت این مقاله با کارهای انجام شده، توسعه مفهوم خستگی در مدل زمانبندی گردش شغلی و ارائه الگوریتم‌های فرا ابتکاری کارا برای حل آن است.

مدل ارائه شده به صورت زیر است:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K C_{ij}^{(k)} X_{ij}^{(k)} + Z_i \sum_i a(i) B(i) \quad (14-2)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^I X_{ij}^{(k)} = 1 \quad \forall j = 1.2. \dots J \quad \forall k = 1.2. \dots k; \quad (15-2)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ij}^{(k)} \geq 1 \quad \forall i = 1.2. \dots I \quad \forall k = 1.2. \dots K; \quad (۱۶-۲)$$

$$X_{ij}^{(k)} = 0.1 \quad \forall i = 1.2. \dots I \quad \forall j = 1.2. \dots J \quad \forall k = 1.2. \dots K \quad (۱۷-۲)$$

$$Z_i = 0.1 \quad \forall i = 1.2. \dots I \quad \forall j = 1.2. \dots J \quad \forall k = 1.2. \dots K \quad (۱۸-۲)$$

$$(1 - Z_i)M + B(i) \geq 0 \quad \forall i = 1.2. \dots I \quad (۱۹-۲)$$

$$-Z_i M + B(i) \leq 0 \quad \forall i = 1.2. \dots I \quad (۲۰-۲)$$

تابع هدف در این مدل از نوع کمینه سازی هزینه کل ناشی از تخصیص و متغیرهای تصمیم از نوع عدد

صحیح است و از دو عبارت تشکیل شده که عبارت اول هزینه کل انجام کار توسط هر تخصیص و عبارت دوم جمع هزینه خستگی هر اپراتور ناشی از احساس خستگی او به دلیل اختصاصی کارهای مشابه در طی افق برنامه ریزی بوده که به صورت غیر خطی فرموله شده است. در این مقاله با افزودن مفروضات و ارائه تعاریف جدید از خستگی، ساختار مدل تخصیص چند دوره ای برای فرموله کردن مسئله زمانبندی گردش شغلی مبتنی بر تخصیص کارها به اپراتورها طی چند دوره برنامه ریزی با هدف کمینه نمودن کل هزینه های تخصیص بسط داده شده است. با توجه به محدودیت های مدل، موارد زیر در محدودیت ها بکار گرفته شده است.

- هر کار در هر دوره برنامه ریزی تنها باید به یک اپراتور تخصیص یابد.
- تعداد کارها از تعداد اپراتورها بیشتر است لذا به هر اپراتور در هر دوره برنامه ریزی حداقل یک کار تخصیص می یابد.
- عدد صحیح بودن مدل در محدودیت در نظر گرفته شده است.
- مثبت بودن خستگی اپراتور برای محاسبه هزینه مرتبط با خستگی لحاظ شده است.

عیوق و همکاران (۲۰۱۲) برای حل مدل توسعه و کارائی آن، الگوریتم های جستجوی فراابتکاری ژنتیک و رقابت استعماری را مورد استفاده قرار دادند.

۲-۵-۳- مدل ارائه شده توسط عزیزی و همکاران

عزیزی و همکاران در سال ۲۰۱۳ مدل هایی برای محاسبه خستگی ارائه کردند. هدف مقاله ارائه روش های جدید برای اندازه گیری و پیش بینی خستگی انسان در محل کار بوده است. مسئله مطرح شده بر توسعه روشهای اندازه گیری و پیش بینی بالقوه خستگی انسان در صنعت با شرایط کاری تکراری تمرکز دارد. در این مطالعه برای محاسبه تغییرات خستگی در مدل خطی و غیر خطی برای اولین بار ارائه شده که یک محیط کار متشکل از m اپراتور برای انجام کار در یکی از m ایستگاه کاری متمایز در طول افق برنامه ریزی t در نظر گرفته شده است.

مدل های ارائه شده به صورت زیر می باشد:

مدل غیرخطی

$$V_{i,j,t} = V^{max} - (V^{max} - V_{i,j-1,a_{i,j}^k})e^{\tau_{i,j}(t-a_{i,j}^k)} \quad (21-2)$$

$$V^{UB} = V^{max} - \delta_1 \quad (22-2)$$

$$t_{i,j}^{mdc} = \max\{t_{i,j}^C \cdot D_i^{V^{UB}} + a_{i,j}^k\} \quad (23-2)$$

$$V_{i,j,t} = V^{min} + (V_{i,j,t^C} - V^{min})e^{-\theta_{i,j}(t-t_{i,j}^{mdc})} \quad (24-2)$$

$$V_{i,j,t} = V_{i,j,t^C}e^{-\theta_{i,j}(t-t_{i,j}^{mdc})} \quad (25-2)$$

$$V^{LB} = V^{min} + \delta_2 \quad (26-2)$$

$$V_{i,j,t^C} = V^{UB} = V^{max} - (V^{max} - V_{i,j-1,a^k})e^{-\tau_{i,j}(t_{i,j}^C - a_{i,j}^k)} \quad (27-2)$$

$$V^{max} - \delta_1 = V^{max} - (V^{max} - V_{i,j-1,a^k})e^{-\tau_{i,j}(t_{i,j}^C - a_{i,j}^k)} \quad (28-2)$$

$$t_{i,j}^C = \frac{-\ln(\delta_1 / (V^{max} - V_{i,j-1,a^k}))}{\tau_{i,j}} + a_{i,j}^k \quad (29-2)$$

$$V_{i,j,t^{C'}} = V^{LB} = V^{min} + (V_{i,j,t^C} - V^{min}) e^{-\theta_{i,j}(t_{i,j}^{C'} - t_{i,j}^{mdc})} \quad (30-2)$$

$$t_{i,j}^{C'} = \frac{-\ln(\delta_2 / (V_{i,j,t^C} - V^{min}))}{\theta_{i,j}} + t_{i,j}^{mdc} \quad (31-2)$$

$$V_{i,j,t^C} = V^{UB} = V^{max} - (V^{max} - V^{Initial})e^{-\tau_{i,j}(t-0)} \quad (32-2)$$

$$t = \frac{-\ln(\delta_1 / (V^{max} - V^{Initial}))}{\tau_{i,j}} \quad (33-2)$$

$$t = D_i^{V^{UB}} = \frac{-\ln(\delta_1 / (V^{max} - V^{Initial}))}{\tau_{i,j}} \quad (34-2)$$

مدل خطی

$$V_{i,j,t} = V_{i,j-1,a^k} + h_{i,j}(t - a_{i,j}^k) \quad (35-2)$$

$$t^C = \frac{V^{max} - V_{i,j-1,a^k}}{h_{i,j}} + a_{i,j}^k \quad (36-2)$$

$$V_{i,j,t} = V_{i,j,t^C} + g_{i,j}(t - t_{i,j}^{mdc}) \quad (37-2)$$

$$t_{i,j}^{mdc} = \max\{t_{i,j}^C \cdot D_i^{V^{max}} + a_{i,j}^k\} \quad (38-2)$$

$$D_i^{V^{max}} = \frac{V^{max} - V^{Initial}}{h_{i,j}} \quad (39-2)$$

$$t^{C'} = \frac{V^{min} - V_{i,j,t^C}}{g_{i,j}} + t_{i,j}^{mdc} \quad (40-2)$$

در این مقاله مجموعه‌ای از فرمول‌ها برای اندازه‌گیری و پیش‌بینی خستگی انسان در محیط کار با در دسترس بودن داده‌هایی مانند دامنه‌انگیزه و خستگی فردی معرفی شده است. در فرمول‌های ارائه شده، سطح‌انگیزه کارکنان در هر واحد زمانی از دوره برنامه ریزی بر اساس سطح اولیه‌انگیزه اپراتور، مدت زمان انجام کار و دامنه‌انگیزه کارگر محاسبه شده است. به طور مشابه سطح خستگی اپراتور به عنوان تابعی از حداکثر سطح خستگی، مدت زمان سپری شده از شروع کاهش‌انگیزه اپراتور و دامنه خستگی اپراتور ارائه شده است. هر دو مدل پیشنهاد شده می‌تواند برای توسعه استراتژی‌های مناسب مانند گردش شغلی، طراحی مجدد شغل و بهبود روابط برای مقابله با خستگی انسان در محیط کار استفاده شود. مفروضات زیر در مدل سازی مسئله در نظر گرفته شده است.

- ممکن است اپراتورها به سایر ایستگاههای کاری در طول افق برنامه ریزی منتقل شوند.
- اپراتورها قبل از هر تخصیص سطح معینی از آموزشی را دریافت می‌کنند.
- اطلاعات مربوط به خستگی اپراتورها و دامنه‌انگیزش در دسترس بوده و یا قابل اندازه‌گیری است.
- هر کار در هر واحد زمانی از دوره برنامه ریزی تنها باید به یک اپراتور تخصیص یابد و هر اپراتور تنها یک کار را در هر واحد زمانی انجام دهد.

۲-۶- شکاف موضوعی و بیان نوآوری تحقیق

از مرور ادبیات موضوع و جدول (۱-۲) مشخص است که تحقیقات کمی در زمینه زمانبندی گردش شغلی با در نظر گرفتن ابعاد رفتاری شاغل و بهره‌وری او صورت گرفته است و همچنین مقالات انجام شده در این زمینه بیشتر به مدل سازی با اهداف ارگونومیکی موردی محدود بوده و موضوعات رفتاری که ذاتاً با مسئله تخصیص همراه است اخیراً و به تعداد کم مطرح شده است. خستگی اپراتور یک مورد از ابعاد رفتاری است که در مقالات بیان شده مورد بررسی قرار گرفته است.

معمولا برای آنکه کارکنان در محیط کار خود به راحتی و با بازدهی بالا به کار بپردازند و نتایج خوبی را متوجه سازمان هایشان کنند لازم است تا در محیطی مناسب و مطابق با ترجیحات خود چه از نظر فیزیکی و روانی و چه از نظر نحوه تخصیص کارها قرار گیرند، نقش هر فرد در محیط کار به دلیل هدایت و انجام چند کار بسیار حائز اهمیت است. در این راستا در نظر گرفتن ترجیحات فرد در مورد نحوه تخصیص از حیث چگونگی تکرار و قطع وظایف، می تواند بر عملکرد او تاثیر به سزایی داشته باشد. هر فرد بسته به دوره تصدی، سوابق و سایر ویژگی های منحصر به فرد خود، انگیزه های کوتاه مدت مختلفی در انجام وظایف خود بروز می دهد و همیشه خواهان آن بوده که تا جایی که ممکن است نحوه کار کردنش طبق ترجیحاتش باشد.

فرد ممکن است در یک دوره کوتاه مدت مشخص گرایش به انجام کارهای مشابه داشته باشد و در دوره های دیگر به عدم تشابه در وظایف محوله متمایل گردد. بنابراین در نظر گرفتن ترجیحات فرد در مورد نحوه تخصیص کارها بر عملکرد او تاثیر گذار می باشد. ملاحظه ترجیحات نیروی انسانی در محیط هدایت چند فرایندی به منظور کاهش خستگی در هیچ یک از مقالات زمانبندی گردش شغلی مطرح نشده است.

مدل ارائه شده در این پژوهش موارد فوق را در خود جای داده است که بیان کننده نوآوری تحقیق انجام شده می باشد. به نحوی که در نظر گرفتن ترجیحات نیروی انسانی در محیط هدایت چند فرایندی به منظور کاهش خستگی ناشی از تکرار یا قطع تخصیص کارها در این مدل منجر به واقعی تر شدن زمانبندی گردش شغلی می شود.

همچنین در مقالات بررسی شده مدل، ورودی های مشابه ای نظیر تعداد کارها، تعداد اپراتور، تعداد دوره، هزینه انجام کار، ماتریس شباهت کارها و غیره وجود داشت و در مدل ارائه شده علاوه بر آنها ورودی های ماتریس ترجیحات اپراتور و تعداد دوره حفظ تخصیص زمانبندی ارائه شده می شود، در نظر گرفته شده است.

۷-۲- جمع بندی

همانگونه که در این فصل بیان شده تاکنون مطالعات و زمینه کاربرد گردش شغلی از منظر علوم رفتاری بیشتر به مدل سازی با اهداف ارگونومیکی موردی محدود بوده و موضوعات رفتاری که ذاتا با مسئله تخصیص فردوظیفه همراه است اخیرا مطرح شده است که یکی از جنبه های ابعاد رفتاری خستگی است. اولین مطالعه ای که خستگی را در مسئله تخصیص مفهوم سازی نمود، در سال ۲۰۰۶ توسط بهادری و رادویسلکی بوده است. از آن سال تاکنون مطالعات دیگری صورت گرفته که به نوعی به توسعه مفهوم سازی خستگی پرداخته اند. ملاحظه خستگی ناشی از تکرار یا قطع تخصیص بر اساس ترجیحات فرد در محیط سلولی می تواند به مسئله ی تعیین برنامه ی گردش شغلی جنبه ی واقع گرایانه تری ببخشد. لذا این تحقیق مدل تخصیص نامتوازنی چند دوره ای را جستجو می نماید که برای گردش شغلی، خستگی را ملاک قرار می دهد. به این ترتیب که برای تخصیص وظایف به صورت پویا به افراد، آثار خستگی ناشی تکرار و قطع کار بر اساس ترجیحات فرد در محیط هدایت چند فرآیندی را در نظر می گیرد.

فصل ۳ : روش تحقیق

۱-۳-مقدمه

همانطور که در فصل دوم اشاره شد، تاکنون مطالعات و زمینه کاربرد گردش شغلی بیشتر به مدل‌سازی با اهداف ترگونومیکی موردی محدود بوده و موضوعات رفتاری که ذاتا با مسئله تخصیص همراه است اخیرا مطرح شده است. رویکردی که به عنوان یک عامل موثر در زمانبندی گردش شغلی در این تحقیق در نظر گرفته شده است، رویکرد ترجیحات نیروی انسانی مدل‌سازی زمانبندی گردش شغلی را به دنیای واقعی نزدیک‌تر می‌سازد. در این فصل ابتدا به ارائه تعاریف و مدل‌سازی مسئله پرداخته و سپس به بررسی اعتبار و کاربردی بودن مدل می‌پردازیم.

۲-۳-ابزار و روش جمع‌آوری اطلاعات

داده‌های مورد نیاز در مورد پارامترهای مدل تحقیق با استفاده از الگوهای آماری مناسب تولید اعداد تصادفی جمع‌آوری شده است. به این صورت که برای هر پارامتر یک بازه انتخاب شده و با توزیع یکنواخت از این بازه مقدار پارامتر انتخاب می‌شوند.

جدول (۱-۳) بازه جمع‌آوری داده‌ها

پارامتر	بازه تعیین مقدار پارامتر
ماتریس شباهت دو کار	۰ الی ۱
ماتریس ترجیحات اپراتور	۰ یا ۱
تعداد اپراتور	۲ الی ۵
تعداد کارها	۲ الی ۱۰
تعداد دوره برنامه ریزی	۳ الی ۱۰
تعداد دوره حفظ تخصیص	۱ الی ۴

۳-۳- روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

در مدل ارائه شده، برای مدل سازی از برنامه ریزی ریاضی استفاده شده است. همچنین برای حل مدل از روش حل دقیق و الگوریتم فرا ابتکاری استفاده شده است. برای حل دقیق مدل ارائه شده با استفاده از نرم افزار لینگو، چندین مثال عددی حل شده است و خروجی‌های مدل بررسی و تحلیل گردیده است. با افزایش مقادیر پارامترهای مدل، امکان حل دقیق در زمان مناسب وجود نخواهد داشت. برای برطرف کردن این مشکل نیز استفاده از الگوریتم علفهای هرز مهاجم (IWO) پیشنهاد شده است.

برای تجزیه و تحلیل روش‌های حل، چندین مثال عددی توسط کد کردن مدل در نرم افزار لینگو و همچنین مثال‌های مذکور با کد کردن الگوریتم IWO پیشنهادی در نرم افزار متلب حل شده است. سپس جواب‌های حاصل حل شده، از نظر زمان و کیفیت جواب ارائه شده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از طریق تحلیل نتایج حاصل از مدل ارائه شده، مقدار مولفه‌های بهینه نظیر کارهای تخصیص یافته به هر اپراتور، طول دوره گردش و سطح خستگی اپراتور با در نظر گرفتن شرط بهینگی در مدل مورد نظر تعیین شده است.

۳-۴- تبیین ساختار و مدل سازی مسئله

تابع هدف در این مدل از نوع کمینه سازی خستگی ناشی از تخصیص کارها به صورت پویا به افراد است و ساختار مدل برای فرموله کردن مسئله زمانبندی گردش شغلی مبتنی بر تخصیص کارها به اپراتورها طی چند دوره گردش (تخصیص ثابت) با هدف کمینه نمودن سطح خستگی افراد با توجه به ترجیحات اپراتور به تشابه و عدم تشابه بیان شده است. همچنین در این مدل تخصیص کارها در هر دوره گردش که شامل یک یا چند دوره برنامه ریزی است، ثابت در نظر گرفته شده است.

در مسئله زمانبندی مورد مطالعه I اپراتور، J کار و R دوره برنامه ریزی داریم، که این R دوره به N دوره حفظ تخصیص که طول آن X_n می باشد، تقسیم شده است. این J کار به I اپراتور به گونه ای تخصیص یافته که علاوه بر در نظر گرفتن مفروضات مسئله خستگی اپراتورها با ملاحظه ترجیحاتشان کاهش یابد. در واقع N ورودی مسئله بوده و تعداد دوره حفظ تخصیص کارها را نشان می دهد که منظور از حفظ تخصیص

کار، ثابت بودن تخصیص یک کار در هر دوره حفظ تخصیص برای یک اپراتور است، برای مثال وقتی کار j به اپراتور i در روز r تخصیص یابد، این تخصیص تا زمانی که در دوره‌ی n قرار داریم یعنی در طول دوره x ثابت می‌ماند. همچنین X متغیر مسئله است که طول دوره حفظ تخصیص را نشان می‌دهد. وقتی کار j به اپراتور i در دوره r تخصیص یابد a_{irj} برابر یک و در غیر این صورت صفر است. در این مسئله P_{jk} میزان شباهت دو کار k و j و C_{in} ترجیحات اپراتور i در دوره گردش n برای تکرار یا قطع کار را نشان می‌دهد که هر دو آنها به صورت ورودی ماتریس برای مسئله هستند.

اگر اپراتور i در دوره n تمایل به تکرار کار یعنی انجام کار مشابه داشته باشد برابر یک و در غیر این صورت صفر است. ماتریس شباهت کارها و ماتریس ترجیحات اپراتور در محاسبه میزان خستگی اپراتور برای تعیین میزان تشابه با عدم تشابه کارها با توجه به ترجیح اپراتور در تکرار یا قطع کار لحاظ شده است. در نهایت پس از اجرای مدل کارها در طول دوره برنامه ریزی به نحوی به اپراتورها با توجه به ترجیحاتشان تخصیص یافته که هزینه ناشی از خستگی تخصیص کارهای مشابه و غیر مشابه کاهش یابد و مقادیر بهینه میزان سطح خستگی اپراتور و طول دوره گردش و ماتریس تخصیص کارها به اپراتور تعیین گردد.

۳-۵- مفروضات مدل

مفروضاتی که برای مدل‌سازی مسئله زمانبندی گردش شغلی به کار گرفته شده‌اند عبارت‌اند از:

- ۱) تعداد کارها از تعداد اپراتورها بیشتر است لذا به هر اپراتور در هر دوره برنامه‌ریزی حداقل یک کار تخصیص می‌یابد.
- ۲) هر کار در هر دوره برنامه‌ریزی تنها باید به یک اپراتور تخصیص یابد.
- ۳) هر کار در هر دوره برنامه‌ریزی تنها باید یک بار انجام شود.
- ۴) تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی از قبل مشخص و بیش از یک دوره است.
- ۵) تعداد اپراتورها و کارها در هر یک از دوره‌های برنامه‌ریزی ثابت می‌ماند.

(۶) مجموعه تمامی کارها باید در هر دوره برنامه‌ریزی برای انجام تخصیص داده شوند و انجام هیچ کاری به دوره بعد موکول نخواهد شد.

(۷) تخصیص کارهای مشابه در هر دوره گردش با توجه به ترجیحات اپراتور مطلوب یا نامطلوب ارزیابی می‌شود.

(۸) تعداد کارها، تعداد اپراتور و تعداد دوره حفظ تخصیص در طول دوره برنامه‌ریزی ثابت است.

(۹) مجموعه تمامی کارها باید در هر دوره برنامه‌ریزی به اپراتورها تخصیص داده شود.

۳-۶- تعاریف و نمادهای مدل

در صورتی که تعداد دوره برنامه‌ریزی برابر R ، تعداد دوره گردش (تخصیص ثابت) برابر N ، تعداد اپراتورها برابر I ، و تعداد کارها برابر J در نظر گرفته شود، اندیس‌های شمارنده پارامترها و متغیرهای تصمیم مسئله و پارامترها به شرح زیر نمادگذاری می‌شود.

۳-۶-۱- اندیس‌ها

i : شمارنده اپراتور ($i = 1, 2, \dots, I$)

j : شمارنده کار ($j = 1, 2, \dots, J$)

r : شمارنده دوره یا روز ($r = 1, 2, \dots, R$)

n : شمارنده دوره حفظ تخصیص ($n = 1, 2, \dots, N$)

۳-۶-۲- پارامترها

P_{jk} : میزان شباهت دو کار k و j به نحوی که : $\forall j, k : P_{jk} = P_{kj} ; 0 \leq P_{jk} \leq 1$

C_{in} : ترجیحات اپراتور i در دوره گردش n برای تکرار یا قطع کار یعنی انجام کارهای مشابه یا غیرمشابه.

۳-۶-۳- متغیرهای تصمیم

a_{irj} : در صورتی که کار j به اپراتور i در دوره r تخصیص یابد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود.

a_{inj} : در صورتی که کار j به اپراتور i در دوره n تخصیص یابد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود.

x_n : طول دوره گردش.

B_i : میزان سطح خستگی هر اپراتور.

۳-۶-۴- درجه تشابه دو کار

میزان یا حدی که یک کار به کار دیگر شباهت دارد و طبیعتاً عددی بین صفر (در حالت عدم وجود تشابه) و یک (در حالت وجود تشابه کامل که مشخصاً به دو کار یکسان گفته می‌شود) است.

۳-۶-۵- خستگی اپراتور در دوره حفظ تخصیص

اگر ترجیح اپراتور در دوره حفظ تخصیص n ام، مشابهت با شد $(C_{in} = 1)$. آنگاه برای محاسبه میزان خستگی اپراتور در این دوره حفظ تخصیص داریم:

$$B(i, n) = 1 - \frac{1}{(\sum_j 2^{a_{inj}})} \sum_j \sum_k a_{injk} P_{jk} \quad \forall i, n \quad (1-3)$$

همچنین اگر ترجیح اپراتور در دوره حفظ تخصیص n ام، عدم مشابهت با شد $(C_{in} = 0)$. آنگاه برای محاسبه میزان خستگی اپراتور در این دوره حفظ تخصیص داریم:

$$B(i, n) = \frac{1}{(\sum_j 2^{a_{inj}})} \sum_j \sum_k a_{injk} P_{jk} \quad \forall i, n \quad (2-3)$$

۳-۶-۶- خستگی کل اپراتور

نوعی خستگی است که اپراتور در طی دوره برنامه‌ریزی احساس می‌کند و برابر با حداکثر خستگی اپراتور در هر دوره حفظ تخصیص است.

$$B(i) = \max_n \{B(i, n)\} \quad \forall i \quad (3-3)$$

۳-۷- مدل پیشنهادی

با توجه به تعاریف ارائه شده در قسمت قبل، ساختار مدل تخصیص چند دوره‌ای برای فرموله کردن مسئله رمانبندی گردش شغلی با توجه به ترجیحات اپراتور به شکل زیر توسعه داده می‌شود.

تابع هدف در این مدل از جمع میزان خستگی هر اپراتور ناشی از احساس خستگی او به دلیل اختصاص کارهای مشابه یا غیرمشابه با توجه به ترجیحاتش در طی افق برنامه‌ریزی بوده که به صورت غیر خطی فرموله شده‌است.

$$\text{Min } Z = \text{Max}_i \text{ Boredom } (i) \quad (4-3)$$

s.t.

$$\sum_i^I a_{ij}^r \geq 1 \quad \forall j = 1.2. \dots J \quad \forall r = 1.2. \dots R \quad (5-3)$$

$$l(n) = \sum_{m=1}^{n-1} x(m) + 1 \quad \forall n = 1.2. \dots N \quad (6-3)$$

$$u(n) = \sum_{m=1}^n x(m) \quad \forall n \quad (7-3)$$

$$\sum_{n=1}^N x_n = RI \quad (8-3)$$

$$a_{ij}^r = 0.1 \quad (9-3)$$

$$a_{ij}^n = 0.1 \quad (10-3)$$

$$\sum_{r=l(n)}^{x(n)} a_{ij}^r = x(n) a_{ij}^n \quad \forall i. \forall j. \forall n \quad (11-3)$$

$$a_{ij}^{u(n)} a_{ij}^{l(n+1)} = 0 \quad \forall i. \forall j. \forall n = 1.2. \dots N - 1 \quad (12-3)$$

$$a_{inj} + a_{inj'} \leq 1 + 2 a_{injj'} \quad \forall i. \forall n. \forall j. \forall j' \neq j \quad (13-3)$$

$$a_{inj} + a_{inj'} \geq 2 a_{injj'} \quad \forall i. \forall n. \forall j. \forall j' \neq j \quad (14-3)$$

$$Boredom(i, n) = (1 - C_{in})X + C_{in}(1 - X) \quad (۱۵-۳)$$

$$X = \frac{1 + \sum_j \sum_{j'} a_{injj'} p_{jj'}}{\sum_j \sum_{j'} a_{injj'} + 1} \quad (۱۶-۳)$$

$$Boredom(i, n) \leq Boredom(i) \quad \forall i, \forall n \quad (۱۷-۳)$$

معادله (۵-۳) بیان کننده این است که در هر دوره برنامه‌ریزی هر اپراتور دست کم یک کار باید انجام دهد. رابطه‌های (۶-۳) و (۷-۳) مبین این موضوع است که اگر طول دوره حفظ تخصیص را $x(m)$ در نظر بگیریم، $l(n)$ دوره ابتدایی و $u(n)$ دوره انتهایی می‌باشند. به عبارت دیگر هر دوی آنها از جنس τ هستند. در رابطه (۱۱-۳) با توجه به تعریف l و u بیان می‌کند اگر یک دوره حفظ تخصیص از l تا u باشد جمع کل $x(n)$ می‌شود و اگر کاری به اپراتوری داده باشیم قطعاً در طول این دوره انجام شده است. رابطه (۱۲-۳) عنوتن کننده این مطلب است که امکان اختصاص دادن یک کار به یک اپراتور به صورتی که فعالیت مورد نظر هم در $u(n)$ و هم $l(n+1)$ وجود داشته باشد نیست. به عبارت دیگر این رابطه تضمین چرخش کارها می‌شود و از یکسان شدن آنها در دوره‌های گردش مختلف جلوگیری می‌کند. رابطه‌های (۱۳-۳) و (۱۴-۳) برای بررسی شباهت کارها در دوره‌های تخصیص مختلف بکار می‌رود.

۳-۸- اعتبارسنجی مدل

برای درک بهتر مدل، در این بخش دو مثال برای زمانبندی گردش شغلی که داده‌های آن به صورت تصادفی تولید شده‌است، کاربردی بودن مدل را که توسط نرم‌افزار لینگو محاسبات آن انجام شده، مورد بررسی قرار می‌دهد.

مثال ۱. در این مسئله ۲ اپراتور و ۶ کار متفاوت وجود دارند و طول دوره برنامه‌ریزی ۳ و تعداد دوره حفظ تخصیص ۲ می‌باشد. ماتریس شباهت کارها و ترجیحات اپراتور نیز به ترتیب در جدول (۲-۳) و (۳-۳) نشان داده شده‌است. ماتریس شباهت کارها، ماتریسی است که شباهت هر کار را نسبت به کارهای دیگر بیان

می‌کند و ماتریس ترجیحات اپراتور ماتریسی است که ترجیح یک اپراتور را در انجام کارهای مشابه یا غیر مشابه یعنی تکرار یا قطع کار نشان می‌دهد.

می‌خواهیم کارها را به نحوی به اپراتورها در طول دوره برنامه‌ریزی به طوری که تعداد دوره حفظ تخصیص که به صورت تصادفی تعیین شده، ۲ باشد، اختصاص دهیم که هزینه ناشی از خستگی قطع یا تکرار تخصیص کار (انجام کارهای مشابه یا غیرمشابه) با لحاظ کردن ترجیحات اپراتور کمینه گردد.

جدول (۳-۲) ماتریس شباهت کارها در مثال ۱

کارها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۱	۰/۸۸	۰/۹۹	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۹۳
۲	۰/۸۸	۱	۰/۷۱	۰/۵۵	۰/۴۴	۰/۹۶
۳	۰/۹۹	۰/۷۱	۱	۰/۹۰	۰/۹۸	۰/۵۸
۴	۰/۴۶	۰/۵۵	۰/۹۰	۱	۰/۵۸	۰/۴۶
۵	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۹۸	۰/۵۸	۱	۰/۶۸
۶	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۵۸	۰/۴۶	۰/۶۸	۱

جدول (۳-۳) ماتریس ترجیحات اپراتور در مثال ۱

دوره حفظ تخصیص اپراتور	۱	۲
۱	۰	۰
۲	۰	۱

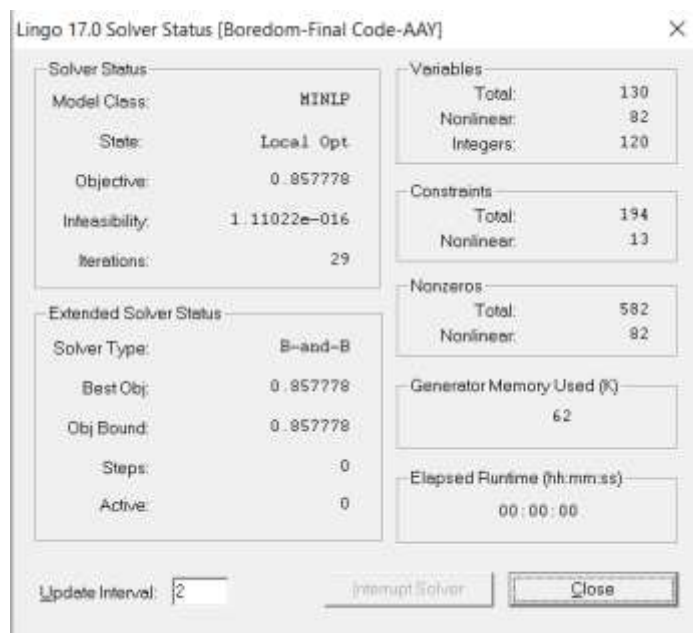
پس از اجراء مثال فوق در نرم افزار لینگو و حل آن، خروجی های مدل که جواب مسئله زمانبندی گردش شغلی می باشد در جدول (۳-۴) نمایش داده شده است. مقدار خستگی بهینه برای اپراتور اول ۰/۷۴، مقدار خستگی بهینه برای اپراتور دوم ۰/۴۶ و کمترین هزینه خستگی ممکن برای تخصیص کارها به اپراتور در این مسئله ۱/۲۰ می باشد که جواب بهینه برای مثال ارائه شده است.

همچنین مقدار بهینه طول دوره حفظ تخصیص اول و دوم به ترتیب ۲ و ۱ گزارش شده است. این بدان معنی است که خستگی اپراتورهای با لحاظ کردن ترجیحاتشان زمانی که تخصیص کارها مطابق جدول (۳-۴) و طول دوره حفظ تخصیص برابر مقادیر ذکر شده باشد، کاهش می یابد. همچنین مثال فوق در مدت زمان ۱ ثانیه حل شده که در شکل (۳-۱) پنجره خروجی لینگو نشان داده شده است. همانطور که در جدول (۳-۴) مشاهده می شود به اپراتور اول در دوره ی حفظ تخصیص اول که روز ۱ و ۲ است، کارهای ۱، ۲، ۳ و ۵ تخصیص یافته است، ترجیح این اپراتور در دوره ی اول انجام کارهای غیر مشابه بوده است که تقریباً ترجیحاتش در نظر گرفته نشده است. در دوره دوم که روز ۳ می باشد نیز به اپراتور اول کارهای ۴ و ۶ تخصیص یافته است که مطابق با ترجیحاتش است، چون میزان شباهت دو کار ۴ و ۶ برابر ۰/۴۶ می باشد یعنی این دو کار غیر مشابه هستند و ترجیح اپراتور نیز انجام کارهای غیر مشابه بوده است. به اپراتور دوم در دوره ی حفظ تخصیص اول که روز ۱ و ۲ است، کارهای ۴ و ۶ تخصیص یافته است، ترجیح این اپراتور در دوره ی اول انجام کارهای غیر مشابه بوده است که ترجیحاتش در نظر گرفته شده است. در دوره دوم که روز ۳ است نیز به اپراتور دوم کارهای ۱، ۲، ۳ و ۵ تخصیص یافته است که تاحدودی ترجیحاتش که انجام کارهای مشابه بوده در نظر گرفته شده، یعنی بیشتر کارهای با میزان شباهت بالا به این ترجیحاتش اپراتور تخصیص داده شده است.

بنابراین در این تخصیص ترجیحات اپراتور دوم به طور کامل در تخصیص کارها لحاظ شده است، به همین دلیل میزان خستگی اپراتور دوم کمتر از اپراتور اول است. همچنین در این تخصیص تمامی مفروضات مدل در نظر گرفته شده است. برای مثال هیچ کاری در یک دوره به بیش از یک اپراتور تخصیص داده نشده است و به هر اپراتور حداقل یک کار تخصیص داده شده است.

جدول (۴-۳) خروجی لینگو در مثال ۱

کار روز \	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۱	۱	۱	۲	۱	۲
۲	۱	۱	۱	۲	۱	۲
۳	۲	۲	۲	۱	۲	۱



شکل (۴-۳) پنجره وضعیت خروجی لینگو در مثال ۱

۳-۹- الگوریتم علفهای هرز مهاجم

منشا الهام الگوریتم علف های هرز، علف های هرز و شیوه تکثیر بقا این موجودات زنده است . علف های هرز یک فرایند بهینه و مقاوم است ، به دلیل اینکه چند هزار سال است که ما انسان ها به باغداری و کشاورزی مشغولیم و همیشه سعی کردیم که یک بخش از نیروی طبیعت را مهار کنیم و به کنترل خودمان

در بیاوریم و سپس یک رشد کنترل شده و برنامه ریزی شده را داشته باشیم. مثلاً یک مزرعه گندم داریم ، آن را به شکلی برنامه ریزی میکنیم که بیشترین حاصل را از این مزرعه بگیریم . به این ترتیب به هدف که همان دریافت محصول است ، نزدیک میشویم. اما همیشه یک سری عوامل مزاحم نیز وجود دارد:

به عنوان مثال برای محصولاتمان آب فراهم میکنیم، که از همین آب یا منابع دیگر که فراهم شده ، بعضی از گیاهانی که دلخواه ما نیستند برای رشد استفاده میکنند. در حالی که ما نمیخواهیم این نوع گیاهان رشد کنند چون این گیاهان همان علف های هرز هستند.

با وجود تلاش های زیادی که انسان ها از چند هزار سال پیش تا الان داشته اند، هنوز نتوانسته اند به طور کامل وجود علف های هرز را ریشه کن کنند. ضمن اینکه این علف ها بهترین جاها را برای رشد خود انتخاب میکنند. در اینجا هم یک پدیده Optimal داریم که یک مقدار بهینگی وجود دارد و هم یک مقدار مقاومت یا مقاوم بودن. یعنی هم یک پدیده ی بهینه است، که میداند کجا رشد کند که منابع بهتری وجود داشته باشد و هم اینکه در مقابل تغییرات مقاوم است و به سرعت خودش را با محیط وفق میدهد.

الگوریتم علف های هرز یا Invasive Weed Optimization یا IWO یکی از الگوریتم های برجسته در حل مسائل بهینه سازی می باشد. این الگوریتم را می توان با استفاده از تمهیدات خاص در شرایط گسسته ، پیوسته و باینری بکار برد و نتایج بسیار عالی از آن بدست آورد . الگوریتم علف های هرز در روش بهینه سازی از عملکرد رشد علف های هرز در طبیعت الهام گرفته است. این الگوریتم در سال ۲۰۰۶ توسط محرابیان و لوکاس ارایه گردید . در طبیعت علف های هرز رشدی شدید دارند و این رشد شدید تهدیدی جدیدی برای گیاهان مفید می باشد. یکی از ویژگی های مهم علف های هرز پایداری و تطابق پذیری بسیار بالای آن ها در طبیعت می باشد که این ویژگی مبنای بهینه سازی در الگوریتم IWO قرار گرفته است. [۵۹]

علف هرز پدیده‌ای است که در جستجوی بهینگی و یافتن بهترین محیط برای زندگی بوده و به سرعت خود را با شرایط محیطی وفق داده و در مقابل تغییرات مقاوم می‌باشد. در ابتدا علف هرز به دنبال تولید تعداد زیاد فرزندان بوده که موجب افزایش کمیت و همچنین پوشش محیط در دسترس خود می‌شود (رفتار جستجو گر)، سپس به دلیل محدودیت ظرفیت، با افزایش کیفیت به رشد به صورت رقابتی ادامه می‌دهد (رفتار حریصانه). به طور کلی هدف علف‌های هرز «یافتن بهترین محیط برای زندگی» می‌باشد.

۳-۹-۱- عوامل موثر رشد یا عدم رشد

(۱) نظریه انتخاب r/k

(۲) توانایی ترکیب زیستی

(۳) عوامل تکاملی ناشی از تداخلات

۳-۹-۱-۱- نظریه انتخاب r/k

این نظریه موضوع اصلی ما می‌باشد که بالانسی بین کمیت و کیفیت روی گونه‌های مختلف زیستی دارد. مواقعی که می‌توانند، به سمت کیفیت حرکت می‌کنند و مواقعی که نمی‌توانند کیفیت لازم را فراهم کنند ترجیح می‌دهند که در واقع به سمت کمیت حرکت کنند. این بالانس را هر موجودی به شکلی برای خودش فراهم می‌کند.

الگوریتم علف‌های هرز مهاجم نیز بر اساس این نظریه عمل می‌کند. علف‌های مصنوعی یا همان راه‌حل‌ها، در شروع الگوریتم از سیاست r استفاده می‌کنند و به تدریج استراتژی خود را به استراتژی انتخاب k تغییر می‌دهند.

۳-۹-۲- نظریه انتخاب r -selection

r از کلمه rate گرفته شده که به معنای نرخ می‌باشد. در r -selection هر موجودی که این استراتژی را استفاده می‌کند تعداد فرزندان بیشتری تولید می‌کند که فرزندان آنها نیز به سرعت رشد می‌کنند و به بلوغ می‌رسند. فرزندان نیز به سرعت تولید مثل می‌کنند اما خیلی زود از دنیا می‌روند. به عبارتی زندگی‌ها خیلی کوتاه هستند، اما خیلی سریع اتفاق می‌افتد و تعداد زاد و ولد خیلی زیاد است.

گونه‌هایی که از این استراتژی استفاده می‌کنند معمولاً تعداد فرزند بیشتری دارد و به عنوان والد زمان کمتری برای رشد و تربیت آن فرزند صرف می‌کند، مانند ماهی‌ها، حشرات و ... که هزاران و حتی میلیون‌ها فرزند تولید می‌کنند. به طور کلی می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که r -selection یک استراتژی است برای افزایش تعداد، که در آن کیفیت مد نظر نیست و صرفاً کمیت را افزایش می‌دهد.

۳-۹-۱-۳- نظریه انتخاب k-selection

در این نظریه کیفیت جواب یا فرزند مهمتر است و بیش از کمیت به کیفیت توجه می شود. برای مثال یک فیل یا نهنگ موجودات خیلی بزرگی هستند و مدت زمان زیادی طول می کشد که بچه دار شوند و همچنین مدت زمانی را هم برای تربیت فرزند خود صرف می کنند و پیش خودشان نگه می دارند. مصداق دیگر این موضوع انسان ها هستند که زمان زیادی را برای تربیت فرزند خود صرف می کنند تا فرزند با کیفیت تری داشته باشند.

موجودات زنده الزاما همیشه از یک قاعده استفاده نمی کنند، موجوداتی که در مورد آنها صحبت می کنیم تقریبا به نهایت رشد خودشان رسیدند و یا حداقل در یک شرایط پایدار هستند و استراتژی را که انتخاب می کنند تا پایان ادامه می دهند. بعضی از موجودات زنده چرخه زیستی آنها خیلی کوتاه است و خیلی سریع می توانند تغییر استراتژی بدهند و شرایط برای آنها دائما در حال تغییر است لذا می توانند بین این دو استراتژی نوسان کنند که علف های هرز از این دسته می باشد. علف های هرز در یک محیط نا آشنا و نا امن و زمانی که می خواهند فرآیند اشغال محیط را شروع کنند از استراتژی r-selection استفاده می کنند و زیاد میشوند. (ملاک آنها تکثیر زیاد است و از بین رفتن آنها خیلی مهم نیست). هنگامی که توانستند یک پایداری نسبی داشته باشند از حالت r-selection به سمت k-selection تغییر می کنند. این همان استراتژیکی هست که ما می خواهیم از آن تقلید کنیم.

در واقع اساس الگوریتم IWO این است که ما از قاعده r-selection بتدریج به سمت یک قاعده k-selection برویم. به قاعده اول که زیاد شدن، زیاد جستجو کردن یا همه چیز را امتحان کردن است رفتار جستجوگرانه یا Exploration می گویند. در قاعده دوم که به دنبال کیفیت هستیم و می خواهیم نهایت بهره برداری را داشته باشیم رفتار حریصانه یا Exploitation می گویند.

۳-۹-۲- هدف الگوریتم علف های هرز مهاجم

هدف الگوریتم یافتن بهترین محیط برای زندگی است که مراحل آن بصورت زیر است:

(۱) جمعیت اولیه (تعداد مشخص دانه‌ها) تولید و پراکنده می‌شوند.

(۲) دانه‌های پراکنده شده پس از رشد و تبدیل شدن به گیاه بر حسب برازندگی، خودشان دانه‌هایی را تولید می‌کنند.

(۳) دانه‌های فرزند در حوالی والد خود پراکنده می‌شوند و رشد می‌کنند.

(۴) فرآیند تکرار مراحل ۲ و ۳ تا جایی ادامه پیدا می‌کند که جمعیت گیاهان از حد مشخصی بیشتر نشود، در غیر اینصورت از میان گیاهان موجود موارد بهتر برای بقا انتخاب می‌شود. (در صورت برآورده شدن شرایط خاتمه، اجرای الگوریتم پایان می‌یابد).

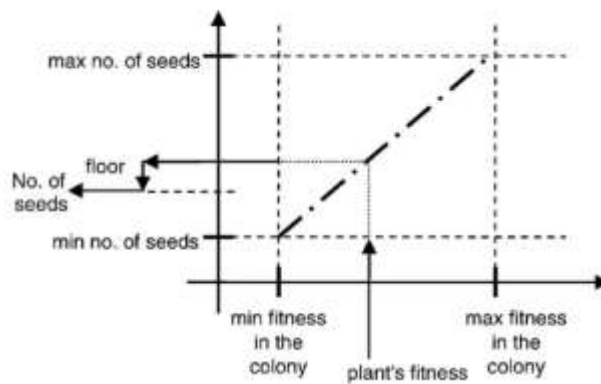
۳-۹-۳- توصیف فرآیند رشد علف هرز مهاجم

در مرحله اول جمعیت اولیه (تعداد مشخصی از دانه‌ها) تولید و پراکنده می‌شوند. در مرحله دوم دانه‌های پراکنده شده پس از رشد و تبدیل شدن به گیاه بر حسب برازندگی و شایستگی، خودشان دانه‌هایی را تولید می‌کنند. در مرحله سوم دانه‌های فرزند در حوالی والد خود پراکنده شده و رشد می‌کنند. در نهایت، مراحل دوم و سوم تا جایی که جمعیت از حد مشخصی (محدوده در دسترس) بیشتر نشود تکرار می‌شود، در غیر این صورت از بین گیاهان موجود گیاهان با شایستگی بهتر باقی مانده و مابقی از بین می‌روند.

(۱) تولید جمعیتی از پاسخ‌های اولیه

بهترین مکان برای زندگی یک سری نقاط هستند و در فضای جستجوی ما منظور از جمعیت خود دانه نیست، مکان و محل قرار گرفتن دانه مهم است. (محل قرار گرفتن دانه، محل رشد دانه و گیاه مهم است، خود گیاه اهمیتی برای ما ندارد، بلکه اینکه گیاه کجا رشد میکند مهم است به دلیل اینکه ما دنبال یافتن بهترین موقعیت و محل برای زندگی هستیم).

۲) تکثیر دانه بر اساس میزان برازندگی



شکل (۲-۳) نمودار تکثیر دانه بر اساس برازندگی

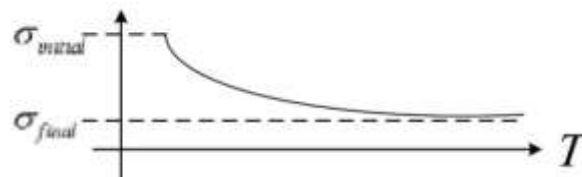
بر اساس میزان برازندگی هر پاسخ اجازه تکثیر به آن گیاه داده می‌شود. تعداد دانه‌های فرزند طبق رابطه زیر تعریف می‌شود که هر چه f بیشتر باشد، بهتر است.

$$S = \left\lfloor S_{min} + (S_{max} - S_{min}) \frac{f - f_{Worst}}{f_{Best} - f_{Worst}} \right\rfloor \quad (۱۸-۳)$$

۳) دانه‌های فرزند در حول گیاه مادر و با استفاده از یک توزیع نرمال پراکنده می‌شوند.

$$\Delta x_i \sim N(0, \sigma_t^2) \quad (۱۹-۳)$$

اجازه می‌دهیم فرزندان تولید و تکثیر شوند. نحوه تولید فرزندان به صورت زیر است.



شکل (۳-۳) نمودار کاهش انحراف استاندارد در طول زمان

دانه با انحراف معیاری مطابق رابطه زیر پراکنده می‌گردد:

$$\sigma_t = \left(\frac{T - t}{T} \right)^n (\sigma_{initial} - \sigma_{final}) + \sigma_{final} \quad (۲۰-۳)$$

۴) حذف رقابتی: اگر تعداد کل گیاهان به P_{Max} برسد، همه آنها را مرتب کرده و گیاهان اضافی (با شایستگی کمتر) را حذف می‌کنیم.

۵) در صورت برآورده نشدن شرایط خاتمه، به مرحله ۲ برمی‌گردیم، در غیر این صورت پایان.

جدول (۳-۵) مولفه‌های الگوریتم

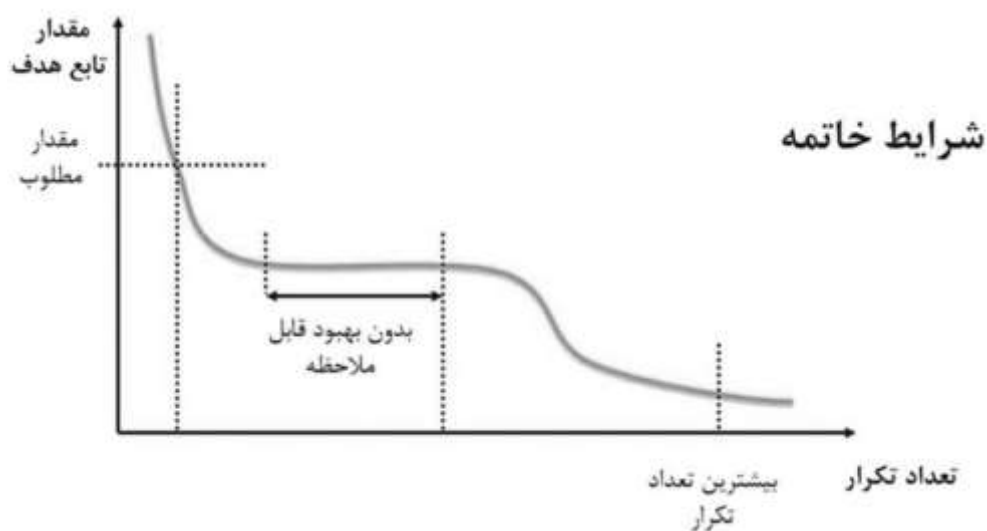
پارامترهای تعریف مساله	
nVar	تعداد متغیرهای تصمیم
VarMin	حد پایینی متغیرهای تصمیم
VarMax	حد بالایی متغیرهای تصمیم
پارامترهای الگوریتم علف هرز مهاجم	
MaxIt	حداکثر تعداد تکرار (T)
nPop0	تعداد جمعیت اولیه
Pmax	حداکثر تعداد جمعیت
Smin	حداقل تعداد دانه
Smax	حداکثر تعداد دانه
Exponent	توان کاهنده انحراف معیار (n)

Sigma_initial	انحراف استاندارد اولیه
Sigma_final	انحراف استاندارد نهایی

۳-۱۰- شرایط خاتمه الگوریتم

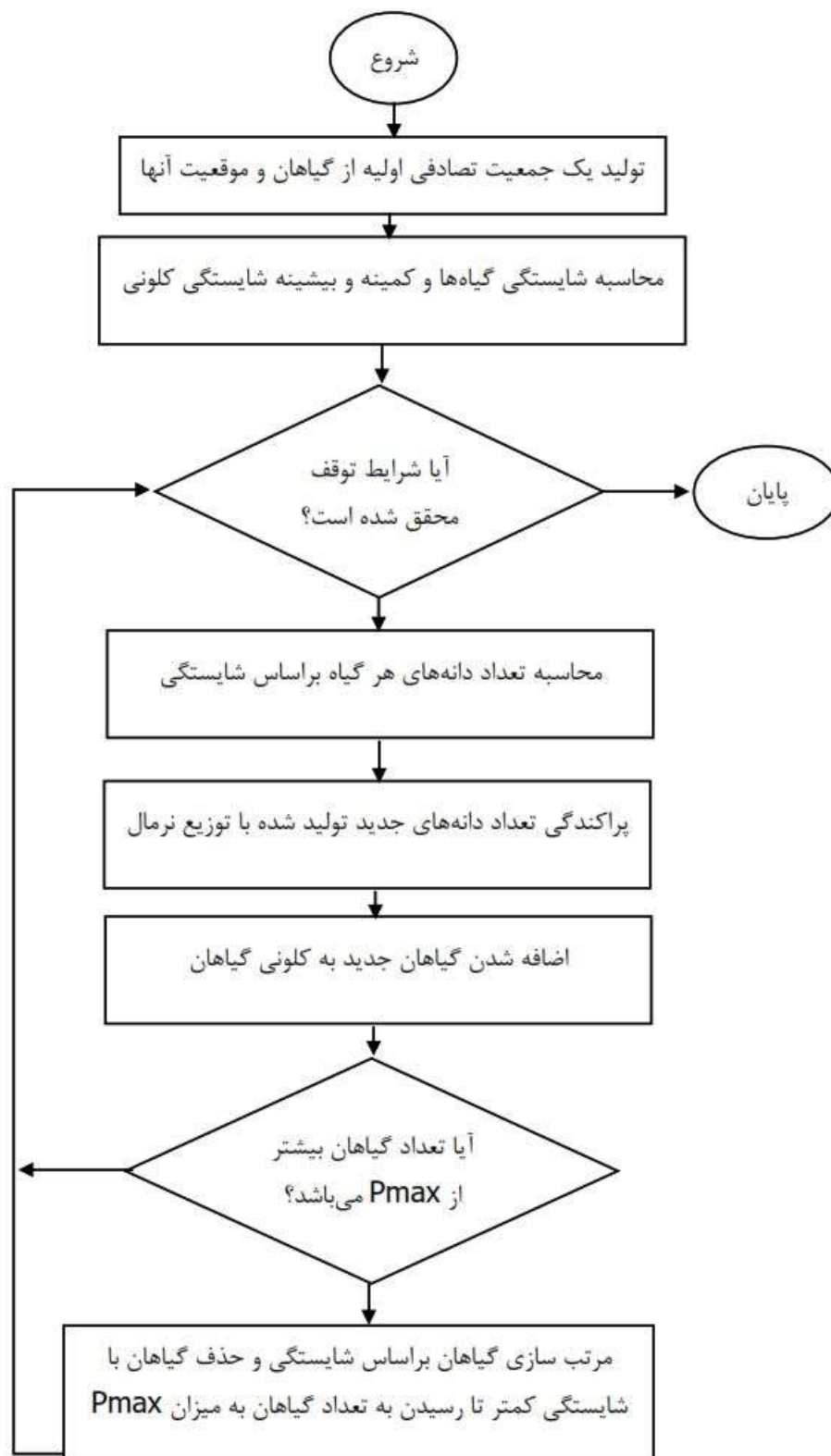
شروط خاتمه بصورت زیر در نظر گرفته شده است.

- (۱) رسیدن به حد قابل قبولی از پاسخ
- (۲) سپری شدن زمان/تکرار معین
- (۳) سپری شدن زمان/تکرار معین بدون مشاهده بهبود قابل ملاحظه در نتیجه هدف
- (۴) تعداد ارزیابی تابع هدف از پیش تعیین شده



شکل (۳-۴) نمودار شرایط خاتمه الگوریتم

۳-۱۱-فلوچارت الگوریتم علف‌های هرز مهاجم



شکل (۳-۵) فلوچارت الگوریتم علف‌های هرز مهاجم

فصل ۴ : تجزيه و تحليل داده‌ها

۴-۱- مقدمه

مسئله زمانبندی گردش شغلی که در این پژوهش توسعه داده شده است، مدلی غیر خطی و عدد صحیح است که دارای پیچیدگی الگوریتمی از نوع $Np - Hard$ است و جزء مسائل بهینه سازی ترکیباتی است [۵۲]. الگوریتم علف های هرز مهاجم یکی از مؤثرترین و رایج ترین الگوریتم های فراابتکاری برای ارائه یک جواب نسبتاً خوب برای مسائل ترکیبی می باشد. از آنجاکه حل مدل در زمان محاسباتی معقول به کمک روشهای برنامه ریزی ریاضی امکان پذیر نمی باشد به همین دلیل برای دستیابی به جواب های نزدیک به بهینه که در زمان معقولی محاسبه شوند با طراحی الگوریتم فراابتکاری علف های هرز مهاجم بر پیچیدگی الگوریتمی مسئله غلبه شده است، که در این بخش با مثالهایی تشریح می شود و همچنین در نهایت جواب مسائل حل شده توسط این الگوریتم با جواب مسائل حل شده با نرم افزار لینگو مقایسه شده است.

۴-۲- مسائل حل شده با نرم افزار لینگو

در این بخش، با انتخاب ۸ مسئله در ابعاد کوچک و متوسط که داده های آن به صورت تصادفی تولید شده است، کاربردی بودن مدل که توسط نسخه ۱۷ نرم افزار لینگو محاسبات آن انجام شده، مورد بررسی قرار میگیرد مسائل نمونه در جدول (۴-۱) از نظر ابعاد به نحوی انتخاب شده اند که نرم افزار لینگو قادر به پیدا نمودن یک جواب بهینه محلی برای آنها باشد. نرم افزار لینگو در مسئله نمونه ۷ بعد از گذشت مدت زمان ذکر شده، وارد وضعیت Local Optimal شده اما قادر به یافتن جواب بهینه نبوده است، به همین دلیل اجرای حل مدل متوقف شده و مقدار جوابی که در آن وضعیت از لینگو گزارش شده برابر با ۱۶۲ بوده است. در مسئله نمونه ۸ نیز نرم افزار لینگو وارد فضای Feasible شده است اما با گذشت مدت زمان ذکر شده، هیچ تغییری در وضعیت جواب ایجاد نشده است به همین دلیل اجرای حل متوقف شده است.

جدول (۱-۴) نتایج و زمان انجام محاسبات توسط نرم افزار لینگو برای مسائل نمونه

Solver Status	Lingo-Time	Lingo-Z	N	I	J	R	Num
Local Optimal	۰۰:۰۰:۰۱	۱۲۰	۲	۲	۶	۳	۱
Local Optimal	۰۰:۰۰:۲۹	۹۶	۲	۳	۶	۳	۲
Local Optimal	۰۰:۰۱:۲۵	۹۳	۲	۳	۶	۴	۳
Local Optimal	۰۰:۰۲:۰۳	۱۴۵	۲	۳	۶	۵	۴
Local Optimal	۰۰:۱۳:۲۸	۱۱۸	۳	۳	۸	۶	۵
Local Optimal	۰۱:۴۶:۰۳	۱۶۴	۲	۴	۸	۴	۶
Local Optimal	۰۲:۱۹:۵۲	-	۴	۴	۶	۳	۷
Feasible	۰۴:۰۵:۱۱	-	۵	۵	۱۰	۸	۸

۴-۳- مسائل حل شده با الگوریتم علف‌های هرز مهاجم

برای نمایش نحوه همگرایی الگوریتم علف‌های هرز مهاجم ارائه شده که در نرم افزار متلب نسخه R2017b کدنویسی شده، دو مثال زمانبندی گردش شغلی تشریح شده در فصل قبل با الگوریتم علف‌های هرز مهاجم در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مثال شماره یک:

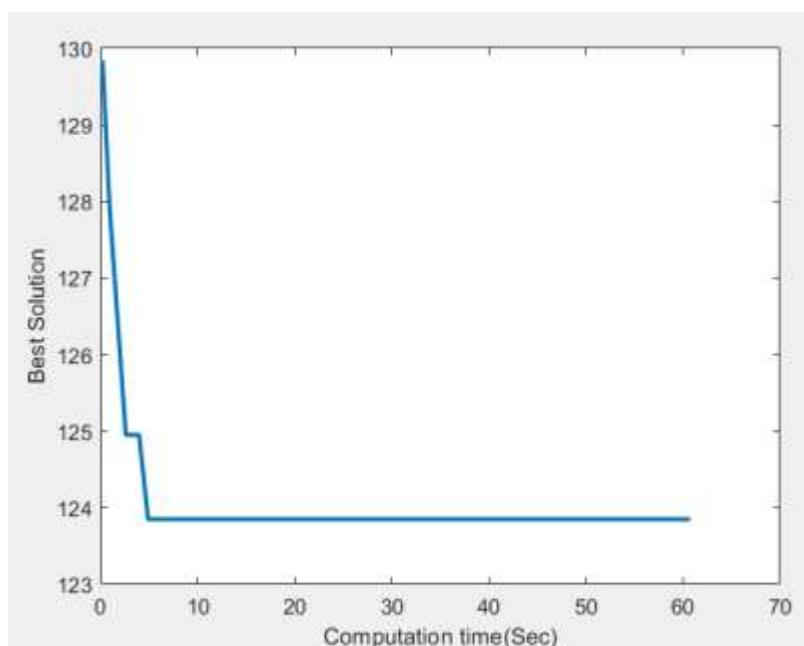
جدول (۲-۴) پارامترهای مدل در مثال ۱

پارامتر	مقدار
تعداد اپراتورها	۲
تعداد کارها	۶
طول دوره برنامه ریزی	۳
تعداد دوره حفظ تخصیص	۲

جدول (۳-۴) پارامترهای الگوریتم علف‌های هرز مهاجم در مثال ۱

پارامتر	مقدار
جمعیت اولیه	۲۰
حداقل تعداد دانه	۱
حداکثر تعداد دانه	۲۰
حداکثر تعداد جمعیت	۵۰۰
توان کاهنده انحراف معیار (n)	۰/۵
حداکثر تعداد تکرار	۱۰۰

شکل (۴-۱) نمودار همگرایی مثال فوق را نمایش می‌دهد که مقدار بهینه ۱۲۳/۷ نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱) نمودار همگرایی مثال ۱

در ادامه نمودار همگرایی یک مثال با ابعاد بزرگتر ارائه می‌شود که پارامترهای آن در جداول (۴-۴) و (۴-۵) آمده است.

مثال شماره دو:

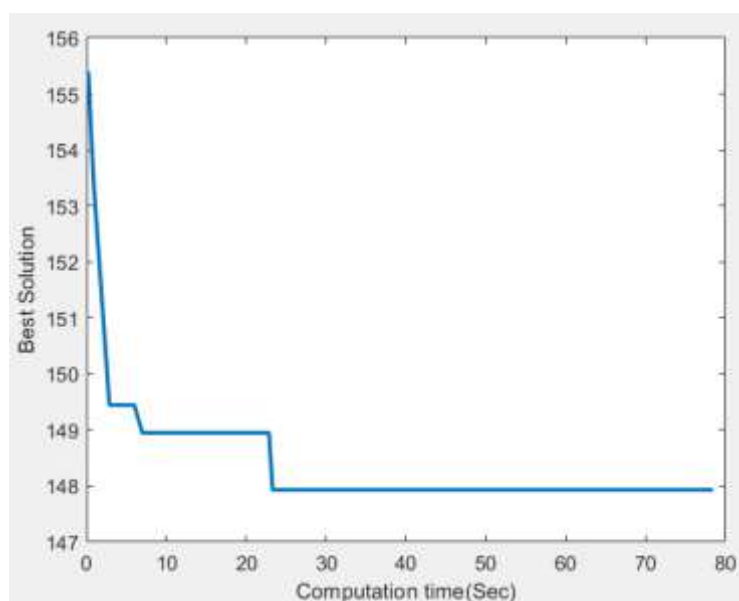
جدول (۴-۴) پارامترهای مدل در مثال ۲

پارامتر	مقدار
تعداد اپراتورها	۳
تعداد کارها	۶
طول دوره برنامه ریزی	۵
تعداد دوره حفظ تخصیص	۳

جدول (۴-۵) پارامترهای الگوریتم علف‌های هرز مهاجم در مثال ۲

پارامتر	مقدار
جمعیت اولیه	۲۰
حداقل تعداد دانه	۱
حداکثر تعداد دانه	۲۰
حداکثر تعداد جمعیت	۵۰۰
توان کاهشده انحراف معیار (n)	۰/۵
حداکثر تعداد تکرار	۱۵۰

شکل (۴-۲) نمودار همگرایی مثال فوق را نمایش می‌دهد که مقدار بهینه خستگی بدست آمده توسط الگوریتم علف‌های هرز مهاجم ۱۴۷/۶ می‌باشد.



شکل (۴-۲) نمودار همگرایی مثال ۲

۴-۴- بررسی نتایج

در این بخش به منظور مقایسه عملکرد الگوریتم علف‌های هرز مهاجم با جواب‌های بدست آمده از حل مدل توسط نرم‌افزار لینگو، نتایج حل مسائل نمونه ۸ گانه که مشخصات آنها در فصل قبل آورده شده است، با الگوریتم توسعه داده شده ارائه و مقایسه بین نتایج صورت خواهد گرفت. پارامترهای در نظر گرفته شده برای الگوریتم علف‌های هرز مهاجم در جدول (۴-۶) نشان داده شده است.

جدول (۴-۶) پارامترهای الگوریتم علف‌های هرز مهاجم

پارامتر	مقدار
جمعیت اولیه	۲۰
حداقل تعداد دانه	۱
حداکثر تعداد دانه	۲۰
حداکثر تعداد جمعیت	۵۰۰
توان کاهنده انحراف معیار (n)	۰/۵
حداکثر تعداد تکرار	۱۵۰-۱۰۰

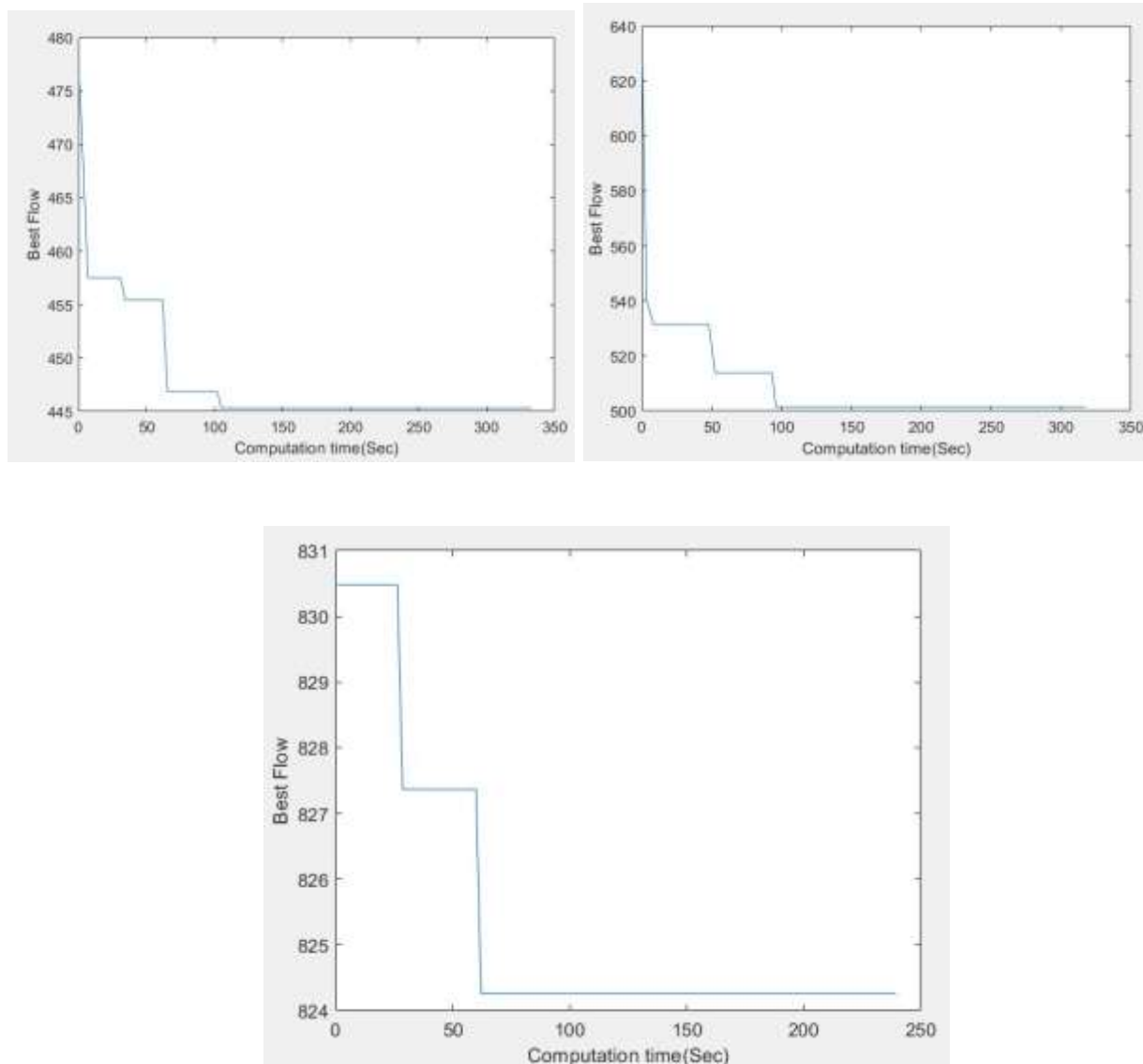
برای مقایسه نتایج، همه مسائلی که توسط نرم‌افزار لینگو نسخه ۱۷ و الگوریتم علف‌های هرز مهاجم توسط نرم‌افزار متلب نسخه R2017b حل شده در جدول (۴-۷) آمده است.

جدول (۷-۴) نتایج حل مسائل

IWO-Time(s)	IWO-Z	Lingo-Time(s)	Lingo-Z	N	I	J	R	Num
۵	۱۲۳/۷	۱	۱۲۰	۲	۲	۶	۳	۱
۲۲	۱۱۴	۲۹	۹۶	۲	۳	۶	۳	۲
۶۱	۹۶	۸۵	۹۳	۲	۳	۶	۴	۳
۲۴	۱۴۷/۶	۱۲۳	۱۴۵	۲	۳	۶	۵	۴
۲۷	۱۱۸	۸۰۸	۱۱۸	۳	۳	۸	۶	۵
۶۷۵	۱۸۶	۶۳۶۶	۱۶۴	۲	۴	۸	۴	۶
۷۳	۱۶۹	۸۳۹۲	-	۴	۴	۶	۳	۷
۲۵۷	۲۹۲	۱۴۷۱۱	-	۵	۵	۱۰	۸	۸

همانطور که در جدول (۷-۴) مشاهده می شود، برای مسائل ذکر شده جواب بهینه هم توسط نرم افزار لینگو و هم توسط الگوریتم علف‌های هرز مهاجم حاصل شده است. اما مقایسه زمانهای کسب نتایج نشان میدهد که هرچه ابعاد مسئله بزرگتر می شود، به دلیل پیچیدگی الگوریتمی که در اثر افزایش تعداد محدودیت ها و متغیرها حاصل می شود، الگوریتم علف‌های هرز مهاجم بسیار سریع تر از نرم افزار لینگو به نتایج دست یافته است. این موضوع می تواند بیانگر کارایی الگوریتم علف‌های هرز مهاجم پیشنهادی باشد. همچنین می توان گفت در ابعاد بزرگ مسئله به دلیل معقول نبودن مدت زمان حل آن نمی توان از روشهای برنامه ریزی ریاضی استفاده کرد، به همین دلیل از الگوریتم علف‌های هرز مهاجم استفاده شده است.

موضوع دیگری که از نتایج می‌توان مشاهده کرد تاثیر زیاد و کم شدن تعداد دوره حفظ تخصیص است که با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای دیگر کم و زیاد شدن تعداد دوره حفظ تخصیص در مقدار نهایی بصورت مستقیم تاثیر دارد. نمودارهای زیر رفتار الگوریتم را در این مورد نشان می‌دهند.



شکل (۴-۳) نمودارهای همگرایی با زیاد کردن تعداد دوره حفظ تخصیص

فصل ۵ : بحث و نتیجه گیری

۵-۱- مقدمه

در این فصل به بررسی و مقایسه نتایج به دست آمده برای مدل ارائه شده و الگوریتم علف‌های هرز مهاجم پیشنهادی پرداخته می‌شود. همانطور که در فصل‌های قبل بیان شد مدل زمانبندی گردش شغلی ارائه شده مدلی غیر خطی و عدد صحیح و دارای پیچیدگی محاسباتی می‌باشد و با افزایش ابعاد مسئله، حل مدل در زمان محاسباتی معقول به کمک روشهای برنامه ریزی ریاضی امکانپذیر نمی‌باشد. به همین دلیل برای دستیابی به جواب‌های نزدیک به بهینه که در زمان معقولی محاسبه شوند طراحی الگوریتم فرا ابتکاری علف‌های هرز مهاجم برای غلبه بر پیچیدگی الگوریتمی مسئله ضروری می‌باشد.

۵-۲- نتیجه‌گیری

گردش شغلی از جمله استراتژی‌های طراحی شغل است که به منظور افزایش انگیزه شاغل در انجام کارها یا وظایف تکراری بکار گرفته می‌شود. اغلب سازمان‌ها از این استراتژی برای چند کارکردی و چند مهارته نمودن کارکنان در قالب برنامه‌های زمانبندی گردش شغلی بهره می‌جویند. موضوع اصلی مورد بررسی در این تحقیق، مسئله زمانبندی گردش شغلی برای محاسبه خستگی ناشی از کارهای متشابه یا غیر متشابه است که ترجیحات فرد را که جنبه نوآوری این مطالعه می‌باشد، در محیط سلولی در نظر می‌گیرد. معمولاً برای آنکه کارکنان در محیط کار خود به راحتی و با بازدهی بالا به کار بپردازند و نتایج خوبی را متوجه سازمان‌هایشان کنند لازم است تا در محیطی مناسب و مطابق با ترجیحات خود چه از نظر فیزیکی و روانی و چه از نظر نحوه تخصیص کارها قرار گیرند. نقش هر فرد در محیط کار به دلیل هدایت و انجام چند کار بسیار حائز اهمیت است. همچنین فرد همیشه خواهان آن بوده تا جایی که ممکن است نحوه کار کردنش طبق ترجیحاتش باشد. در واقع در نظر گرفتن ترجیحات فرد در مورد نحوه تخصیص از حیث چگونگی تکرار و قطع وظایف، می‌تواند بر عملکرد او تاثیر به سزایی داشته باشد، هر فرد بسته به دوره تصدی، سوابق و سایر ویژگی‌های منحصر بفرد خود، انگیزه‌های کوتاه مدل مختلفی در انجام وظایف خود بروز می‌دهد. فرد ممکن است در یک دوره کوتاه مدت مشخص گرایش به انجام کارهای مشابه داشته باشد و در دوره‌های دیگر به عدم تشابه در وظایف محوله متمایل گردد. ملاحظه ترجیحات نیروی انسانی در محیط هدایت چند فرآیندی به منظور

کاهش خستگی در هیچ یک از مقالات زمانبندی گردش شغلی مطرح نشده بود. مدل ارائه شده این پارامتر را در خود جای داده است که بیان کننده نوآوری تحقیق انجام شده می باشد. در واقع ملاحظه خستگی ناشی از تکرار با قطع تخصیص بر اساس ترجیحات فرد در محیط سلولی به مسئله‌ی تعیین برنامه‌ی گردش شغلی جنبه‌ی واقعگرایانه تری بخشیده است.

در این مدل سازی حالتی را در نظر گرفتیم که تعداد کارها از تعداد اپراتورها بیشتر است و باید به هر اپراتور در هر دوره برنامه ریزی حداقل یک کار تخصیص یابد. همچنین در تخصیص کارها، ماتریس ترجیحات اپراتور در نظر گرفته شده است. ما یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح ارائه دادیم تا بدین وسیله خستگی ناشی از تخصیص کارهای مشابه با غیر مشابه با توجه به ترجیحات اپراتور محاسبه شود. از خروجی های مهم مدل می توان به ماتریس تخصیص کارها به اپراتورها و میزان سطح خستگی اشاره کرد.

با حل مسئله نمونه ۴ که در فصل سوم تشریح شد، با دو ماتریس ترجیحات مختلف که در جدول های (۵-۱) و (۳-۵) نشان داده شده، خروجی های متفاوتی از اجرای مدل این پژوهش در نرم افزار لینگو بدست آمده است که به ترتیب در جدولهای (۲-۵) و (۴-۵) آورده شده است و این موضوع نشان دهنده تاثیر ماتریس ترجیحات اپراتور در تخصیص کارها در مسئله زمانبندی مورد مطالعه است. بنابراین می توان به صراحت بیان کرد که در این تحقیق مدلی ارائه شده که زمانبندی گردش شغلی با ملاحظه ی ترجیحات نیروی انسانی به منظور کاهش خستگی را اجرا می کند.

در واقع نوآوری و هدف این مطالعه لحاظ کردن ترجیحات اپراتور بوده که به واقعیت پیوسته است. همچنین با افزایش مقادیر پارامترهای مدل، امکان حل دقیق در زمان مناسب و معقول وجود نخواهد داشت به همین دلیل برای غلبه بر پیچیدگی الگوریتمی مسئله زمانبندی گردش شغلی ارائه شده و دسترسی به جواب نزدیک به بهینه در مدت زمان قابل قبول الگوریتم علف‌های هرز مهاجم پیشنهاد و استفاده شده است.

جدول (۱-۵) ماتریس ترجیحات اپراتور

دوره حفظ تخصیص اپراتور	۱	۲	۳
۱	۱	۰	۰
۲	۰	۱	۰
۳	۱	۰	۱

جدول (۲-۵) خروجی لینگو

کارها روز	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۱	۳	۳	۲	۱	۲
۲	۱	۳	۳	۲	۱	۲
۳	۳	۲	۱	۳	۳	۱
۴	۳	۲	۱	۳	۳	۱
۵	۲	۳	۳	۱	۲	۱

جدول (۳-۵) ماتریس ترجیحات اپراتور

دوره حفظ تخصیص اپراتور	۱	۲	۳
۱	۱	۰	۱
۲	۱	۰	۱
۳	۰	۱	۰

جدول (۴-۵) خروجی لینگو

کارها روز	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۲	۱	۲	۱	۳	۳
۲	۲	۱	۲	۱	۳	۳
۳	۱	۲	۳	۲	۱	۳
۴	۱	۲	۳	۲	۱	۳
۵	۳	۱	۱	۳	۲	۲

۵-۳- پیشنهادات برای تحقیقات آتی

به طور معمول تحقیقات آتی به دو حالت تحقیقات مربوط به گسترش مدل مسئله و با رویکرد حل صورت می‌پذیرد. با توجه به اینکه ترجیحات نیروی انسانی در نحوه عملکرد و همچنین افزایش بهره‌وری نقش بسزایی دارد، پیشنهاد می‌شود با لحاظ کردن جنبه‌های دیگر از ترجیحات نیروی انسانی در محیط کار علاوه بر ترجیح در تخصیص کارها مانند ترجیحات در ساعات و روز کاری و همچنین تعریف و تعمیق مفهوم ترجیحات اپراتور در زمینه‌های مختلف و هزینه‌های مربوط به آن، متغیر فرض کردن تعداد دوره حفظ تخصیص و لحاظ کردن هزینه‌های ناشی از خستگی از ابعاد مختلف جنبه کاربردی و واقعی‌تر به مدل بیافزاید. از طرف دیگر میتوان برای توسعه مدل، وجود محدودیت زمانی و لحاظ کردن تاثیر خستگی بز زمان انجام کار توسط اپراتور را در نظر گرفت. همچنین با توجه به اینکه محققین دیگر نتایج قابل قبولی از کارایی شبیه سازی تهرید وکلونی مورچگان و الگوریتم رقابت استعماری در مورد مسئله زمانبندی گردش شغلی گزارش کرده اند، توسعه این الگوریتم ها و سایر الگوریتم های فراابتکاری برای مدل ارائه شده در این تحقیق و مقایسه آن با الگوریتم علف‌های هرز مهاجم می تواند زمینه ی تحقیق دیگری باشد.

ضمائم

منابع

- [۱] عیوقی، اشکان. زندیه، مصطفی و هاید متقی، (۱۳۸۹). ارائه مدل زمان بندی گردش شغلی با ملاحظه هزینه خستگی ناشی از شباهت کارها و توسعه الگوریتم های ژنتیک و رقابت استعماری برای حل آن، مطالعات مدیریت صنعتی. ج ی ش ۱۶.
- [۲] عیوق، اشکان و مصطفی زندیه (۱۳۸۹). مدلسازی برنامه گردش شغلی با تاکید بر ابعاد رفتاری، هشتمین کنفرانس بین المللی مدیریت، تهران، گروه پژوهشی آریانا
- [۳]. اشکان عیوق، مصطفی زندیه، حسن فارسجانی، بهروز دری. (۱۳۹۳)، زمانبندی گردش شغلی در سیستم تولید تازه آرایش یافته به صورت سلول تولید ناب با رویکرد الگوریتم ژنتیک، فصلنامه علمی پژوهشی چشم انداز مدیریت صنعتی، دوره ۴، شماره ۱۶.
- [۴] Ayough A., Zandich M., Farsijani H., (2012). GA and ICA approaches to job rotation scheduling problem: considering employee's boredom. Int J Adv Manuf Technol, DOI 10.1007/s00170-011-3641-7.
- [5]. Azizi A, Liang M, Zolfaghari S., (2013). Modelling human boredom at work: mathematical formulations and a probabilistic framework., Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 24 Iss: 5, pp. 711-746.
- [6]. Azizi N., Zolfaghari S., and Liang M.. (2010). Modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee's boredom and skill variations., International Journal of Production Economics, 123, 69-85.
- [7]. An N. Mariman, Dirk P. Vogelaers, Els Tobback, Liesbeth M. Delesie, Ignace P. Hanoulle. Dirk A. Pevernagie. (2012). Sleep in the chronic fatigue syndrome. Sleep Medicine Reviews 1-7.
- [8]. Akbari M., Zandieh M., Dorri B. (2013). Scheduling part-time and mixed-skilled workers to maximize employee satisfaction., The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 64, Issue 5, pp 1017-1027.

- [9]. Alinia S, Pourtalari M, Morsali SH, Mohajer K., (2008). Analysis of worker performance measures utilizing a job rotation. Proceedings of 1st International Ergonomics Congress;Tehran, Iran. p. 469 [Persian].
- [10]. Ascensio-Cuesta, Diego-Mas, Cremades-Oliver, Gonzalez-Cruz...(2012). A method to design job rotation schedules to prevent work-related musculoskeletal disorders in repetitive work., International Journal of Production Research Volume 50, Issue 24. DOI: 10.1080/00207543.2011.653452, pages 7467-7478.
- [11]. Bhadury J., Radvilsky Z., (2006). Job Rotation Using The Multi-period Assignment Model, International Journal of Production Research 44(20): 4431-4444.
- [12]. Burke L, Moore JE., (2000). The reverberating effects of job rotation:a theoretical exploration of nonrotaters fairness perceptions. Hum Resour Manag Rev 10(2): 127-152.
- [13]. Bolghanabadi S, Pour M, Dehghan H., (2014). The Relation between Shift Work, Fatigue and Sleepiness and Accidents among Workers in Sugar Factory.
- [14]. Carnahan BJ, Redfern MS, Norman B., (2000). Designing safe job rotation schedules using optimization and heuristic search. Ergonomics43(4):543-560.
- [15] Cleary M, Sayers J, Lopez V, Hungerford C.(2016). Boredom in the Workplace: Reasons, Impact, and Solutions, issues in Mental Health Nursing, Volume 37, Issue 2. DOI: 10.3109/01612840.2015.1084554, pages 83-89.
- [16]. Center for disease control and prevention (CDC). (2001). what is chronic fatigue syndrome? USA.
- [17]. Canada Safety Council. Fatigue., (2004). Available at: www.safetycouncil.org/Info/NosH/fatigue.htm.
- [18]. Cella D. (1998). Factors influencing quality of life in cancer patients:Anemia and fatigue. Seminars in Oncology.; 25: 43-46.
- [19]. 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
- [20] Carnahan, B.J., Norman, B.A., and Redfern, M.S., (2001). Incorporating physical demand criteria into assembly line balancing. Tie Transactions, 33(10), 875887.

- [21]. Cunningham, BJ and Eberle, T. (1990) A Guide to job enrichment and redesign. Personnel pp. 56-61.
- [22]. Diego-Mas, Asensio-Cuesta, Sanchez-Romero, Artacho-Ramirez.,(2009). A multi-criteria genetic algorithm for the generation of job rotation schedules., Volume 39 Issue 1, Pages 23-33.
- [23]. Ebili KH, Alikhani F. (2002). Study of performance of human resources development system in psychology and social faculty of Tehran University. Journal of Psychology, 32(2): 57-76. [Persian].
- [۲۴] Esharenana E. Adomi. (2006). Job rotation in Nigerian university libraries, Library Review, Vol. 55 Iss: 1, pp. 66 - 74.
- [25]. Ford P, Anne M, Johnson H.,(1996). Osler's web: inside the labyrinth of the chronic fatigue syndrome epidemic New York: Crown publishers.
- [26]. Ghasemkhani M, Monazam M, Abbassinia M, Mahmood Khani S, Aghaie H, Asghari M, Farhang S. (2012). The assessment of fatigue and its relationship with Insomnia Severity among workers of rolling mills and steel production company,
- [27]. Grandjean E.,(1990), General fatigue, Encyclopedia of occupational Health and safety British, 29 (39):29-38.
- [28]. G. Mossa, F. Boenzi, S. Digiesi, G. Mummolo, V.A. Romano., (2016). Productivity and ergonomic risk in human based production systems: A job rotation scheduling model. International Journal of Production Economics, Volume 171, Part 4, Pages 471-477.
- [29]. Guastello, S.J., (2006). Human factors engineering and ergonomics: a systems approach: Lawrence Erlbaum Associates.
- [30]. Harada H. Suwazono Y. Sakata K. Okubo Y. Oishi M. Uetani M. et al. (2005). Three-shift system increases job-related stress in Japanese workers. J Occup Health, 47: 397-404.
- [31]. Halvani Ghi, Baghiani moghadam M, Rezaei M. Fatigue situation in tile industries workers. Iran, Occupational Health 2008;4(3-4): 57-63.

- [32]. Heijden G, Schepers J, Nijssen E., (2001). Understanding workplace boredom among white collar employees: Temporary reactions and individual differences., DOI:10.1080/1359432X.2011.578824., pages 349-375.
- [33]. Hossein Jamil H. Renish LW.. (2004). Subjective and objective evaluation of sleep and performance. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 46(3): 212-226.
- [34]. Jackson A, Polanyi M. (2002). Working conditions as a determinant of health. *Proceedings of the social determinants of health across the life span*. Toronto: University of Regina., 1-60.
- [35]. Jorgensen M, Davis K, Kotowski S, Aedla P, Dunning K. (2005). Characteristics of job rotation in the Midwest US manufacturing Sector. *Ergonomics*; 48(15): 17,2133.
- [36]. Lewis G, Wessely S. (1992), The epidemiology of fatigue: more questions than answers. *Journal of Epidemiology Community Health*; 46:92-7.
- [37]. McKenna, M.J. (2003). Mechanisms of Muscle Fatigue. In *Physiological bases of sport performance*. Eds: Hargreaves, M. and Hawley, J. McGraw-Hill, New South Wales.
- [38]. Marion M, Gaynor S, Graham S. (2012). Rethinking Occupational Deprivation and Boredom. *Journal of Occupational Science* Volume 19, Issue 1, DOI: 10.1080/14427591.2011.640210, pages 54-61.
- [39]. Mann S, Cadman R., (2014). Does Being Bored Make Us More Creative?, *Creativity Research Journal*, 26:2, 165-173. DOI:10.1080/10400419.2014.901073. 5
- [40]. Marcora SM, Staiano W, Manning V. (2009), Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*; 106:64.-857(3).
- [41]. Mc Donald T., Ellis K.P., Van Aken E.M., Koelling C.P., (2009); Development and application of a worker assignment model to evaluate a lean manufacturing cell; *International Journal of Production Research*, Vol. 47, No. 9.
- [42]. Molleman E., Slomp J. (1999); Functional flexibility and team performance"; *International Journal of Production Research*, Vol. 37. No. 8.
- [43]. Michalos G, Makris S, Rentzos L, Chryssolouris G. (2010). Dynamic job rotation for workload balancing in human based assembly systems. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Volume 2, Issue 3, Pages 153-160.

- [44]. Olorunsola, Richard. (2000). Job rotation in academic libraries: the situation in a Nigerian university Library, *Library Management*, Volume 21 . Number 2.
- [45]. Origo, Federica and Pagani, Laura.,(2008), Workplace flexibility and job satisfaction: some evidence from Europe", *International Journal of Manpower* Vol. 29 No. 6.
- [46]. Ortega, J., (2001). Job rotation as a learning mechanism. *Management Science* 47, pp. 1361-1370.
- [47]. Pour Qasim S, Rezaei S, Salchi I.,(2012). Effect of tired and clinical course on depression, anxiety, stress, quality of life and employment status of multiple sclerosis patients, *Medical Journal*.; 102:1-13.
- [48]. Rahimi H, Rajaipour S, Salimi GA., (2006). The quality of working life faculty members of Isfahan. *Knowledge and Research in Education*: 2:41-54. [Persian]
- [49]. Saito K. Measurement of fatigue in industries. *Industrial Health*, (1999). 37:134-142.
- [50]. Stephen J. Vodanovich & John D. Watt., (2016). Self-Report Measures of Boredom: An Updated Review of the Literature Volume 150, Issue 2, DOI: 10.1080/00223980.2015.1074531.
- [51]. Sharp J, Hemmings B.Kay R. (2014). Towards a model for the assessment of student boredom and boredom proneness in the UK higher education context. DOI:10.1080/0309877X.2014.1000282
- [52]. Sekiner, S.U., Kurt, M. (2008). Ant colony optimization for the job rotation scheduling problem, *Applied Mathematics and Computation* 201: 149-160.
- [53]. Sekiner, S.U., Kurt, M.,(2007). A Simulated Annealing Approach To The Solution of Job Rotation Scheduling Problems, *Applied Mathematics and Computation* 188: 31-45.
- [54]. Tharmmaphornphilas W., Norman B.A. (2004). A quantitative method for determining proper job rotation intervals; *Annals of Operations Research*, Vol.128, No. 1-4).
- [55]. Wipawee Tharmmaphornphilas, Benjamin Green, Brian J. Carnahan, Bryan A. Norman., (2003). Applying Mathematical Modeling to Create Job Rotation Schedules for

Minimizing Occupational Noise Exposure., DOI:10.1080/15428110308984833., AIHA Journal, Volume 64, Issue 3, pages 401-405.

[56]. Warner R.C., Needy K.L., Bidanda B.,(1997); Worker assignment in implementing manufacturing cells; in Proceeding sof the Sixth Industrial Engineering Research Conference. Miami Beach, FL.

[57]. Wipawee Tharmmaphornphilas, Bryan A. Norman., (2007). A methodology to create robust job rotation schedules., Annals of Operations Research, Volume 155, Issue 1, pp 339-360.

[58]. Ziaei M, Ghanbari A, Barzegar Shengol A, Hamzeiyan Ziarani M., (2012). Comparison of sleep quality and its Relationship with Fatigue Severity between Day and Night Workers in Sugar Factory.

[59]. Mehrabian A.R, Lucas C, (2006). A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization

کدنویسی متلب

```
clear all

close all

clc

%% init

% i=3;      % *Number of operators*

% j=5;      % *Number of jobs*

% r=6;      % *Number of days*

% n=2;      % *Number of assigned period*

% Cin=[1 1;1 0]; % *Operator Preferences*

% Cin=randi([0 1], 5,5); %or

Cin=[1 1 1 0 1;0 0 1 1 1;1 1 1 1 1;1 1 1 1 1;0 0 0 0 1];

% Cin=[0   1   0   1   1;0   1   1   0   0];

Pj1j2=[1 0.88 0.99 0.46 0.45;0.88 1 0.71 0.55 0.44;0.99 0.71 1 0.90 0.98;0.46 0.55 0.90 1 0.58;0.45
0.44 0.98 0.58 1];

nPop=200;

empty_individual.Assigned= [];

empty_individual.Sresults= [];

empty_individual.Xresults= [];

empty_individual.BoredomResults= [];

%empty_individual.BoredomResults.results= [];

pop= repmat(empty_individual,nPop,1);

%ga;
```

```

for i=1:nPop

    pop(i).Assigned=init();

    disp(['Iteration ' num2str(i) ': Result = ' mat2str(pop(i).Assigned.result)]);

end

%% Loop

s=0;

for i=1:nPop

    for ii=1:2

        for j1=1:5

            for j2=1:5

                if pop(i).Assigned.result(ii,j1) == 1 & pop(i).Assigned.result(ii,j2) == 1

                    s=s+Pj1j2;

                    pop(i).Sresults=s;

                    X=(1+s*Pj1j2)/(s+1);

                    pop(i).Xresults=X;

                    Boredom=((1-Cin)*X)+(Cin*(1-X));

                    pop(i).BoredomResults=Boredom;

                    %pop(i).BoredomResults.results=Boredom;

                    disp(['Iteration ' num2str(i) sprintf(' \n s is: ') mat2str(pop(i).Sresults) sprintf(' \n X
is: ') mat2str(pop(i).Xresults) sprintf(' \n Boredom is: ') mat2str(pop(i).BoredomResults)]);

                    %disp(['Iteration ' num2str(i) ' ' num2str(ii) ' ' num2str(j1) ' ' num2str(j2) ' '])

                    %disp(s);

                end

            end

        end

    end

end

```

```

        end

    end

end

end

%% Min Function

% Sort Population

BR=[pop.BoredomResults];

[BR, SortOrder]=sort(BR,'descend');

pop=pop(SortOrder);

% Store Best Solution

BestSolution=pop(1);

% Array to Hold Best solution Values

BestBR=zeros(nPop,1);

disp('Best Solution is: ');disp([struct2table(BestSolution.Assigned)]);

%struct2table(BestSolution.Assigned)

%% Model Inputs

    opn =8;

    ojn =6;

    nump =4;

    tsk =5;

    nrt =5;

empty_plant.Position = [];

empty_plant.Cost = [];

pop = repmat(empty_plant, nPop0, 1); % Initial Population Array

```

```

for i = 1:numel(pop)

    % Initialize Position

    pop(i).Position = unifrnd(VarMin, VarMax, VarSize);

    % Evaluation

    pop(i).Cost = CostFunction(pop(i).Position);

end

% Initialize Best Cost History

BestCosts = zeros(MaxIt, 1);

%% IWO Main Loop

for it = 1:MaxIt

    % Update Standard Deviation

    sigma = ((MaxIt - it)/(MaxIt - 1))^Exponent * (sigma_initial - sigma_final) + sigma_final;

    % Get Best and Worst Cost Values

    Costs = [pop.Cost];

    BestCost = min(Costs);

    WorstCost = max(Costs);

    % Initialize Offsprings Population

    newpop = [];

    % Reproduction

    for i = 1:numel(pop)

        ratio = (pop(i).Cost - WorstCost)/(BestCost - WorstCost);

        S = floor(Smin + (Smax - Smin)*ratio);

        for j = 1:S

            % Initialize Offspring

```



```

newsol = empty_plant;

    % Generate Random Location

newsol.Position = pop(i).Position + sigma * randn(VarSize);

    % Apply Lower/Upper Bounds

newsol.Position = max(newsol.Position, VarMin);

newsol.Position = min(newsol.Position, VarMax);

    % Evaluate Offspring

newsol.Cost = CostFunction(newsol.Position);

    % Add Offspring to the Population

newpop = [newpop

    newsol]; %#ok

end

end

% Merge Populations

pop = [pop

    newpop];

% Sort Population

[~, SortOrder]=sort([pop.Cost]);

pop = pop(SortOrder);

% Competitive Exclusion (Delete Extra Members)

if numel(pop)>nPop

    pop = pop(1:nPop);

end

% Store Best Solution Ever Found

```

```

BestSol = pop(1);

% Store Best Cost History

BestCosts(it) = BestSol.Cost;

% Display Iteration Information

disp(['Iteration ' num2str(it) ': Best Cost = ' num2str(BestCosts(it))]);

end

EpsiOp = [0.18    0.19    0.2    0.21    0.2    0.2    0.2    0.22];

%NooOp = [1      1      1      4      1      3      2      1];

NooOp = BestSolution.Assigned.result;

ProTime = pop(1).BoredomResults;

cbar=1.8;

f2=floor(num/p/objn);

time=[];

%% IWO Parameters

nPop0=20;

nPop =500;

MaxIt=100;

Exponent=0.5;

Smin = 1;    % Minimum Number of Seeds

Smax = 20;    % Maximum Number of Seeds

opnx=4;

%% Initialization

empty_plant.AssignedOp= [];

```

```

empty_plant.AssignmentXIWO = [];

empty_plant.AssignmentZIWO = [];

empty_plant.AssignmentXMODEL = [];

empty_plant.AssignmentZMODEL = [];

empty_plant.Gijt = [];

empty_plant.Flow = [];

Bs = [55  50      54      49];

pop = repmat(empty_plant, nPop0, 1);

for i=1:numel(pop)

    w=randi([ojn,ojn],1);

    AssignedSet=randperm(opn,w);

    XIWO=zeros(nrt,w);

    ZIWO=zeros(nrt,nump);

        for t=1:nrt

            f1=floor(w/ojn);

            for f=1:f1

                XIWO(t,1+(f-1)*ojn:f*ojn)=randperm(ojn);

            end

            XIWO(t,f1*ojn+1:w)=randperm(ojn,w-f1*ojn);

            for f=1:f2

                ZIWO(t,1+(f-1)*ojn:f*ojn)=randperm(ojn);

            end

            ZIWO(t,f2*ojn+1:nump)=randperm(ojn,nump-f2*ojn);

        end

```

```

%XIWO TO XMODEL

XMODEL=zeros(opn,ojn*nrt);

for ii=1:w

    for j=1:ojn

        for t=1:nrt

            if XIWO(t,ii)==j

                XMODEL(AssignedSet(ii),(j-1)*nrt+t)=1;

            end

        end

    end

end

end

%ZIWO TO ZMODEL

ZMODEL=zeros(nump,ojn*nrt);

for j=1:ojn

    for t=1:nrt

        for m=1:nump

            if ZIWO(t,m)==j

                ZMODEL(m,(j-1)*nrt+t)=1;

            end

        end

    end

end

end

% Gijt Calculation

```

```

Gijt=zeros(opn,ojn*nrt);

% Wjt=zeros(1,ojn*nrt);

Wjt=sum(XMODEL,1);

for ii=1:w

    for j=1:ojn

        for t=1:nrt

            if Wjt((j-1)*nrt+t)>NooOp(AssignedSet(ii))

                Gijt(AssignedSet(ii),(j-1)*nrt+t)=1+EpsiOp(AssignedSet(ii))*(Wjt((j-1)*nrt+t)-
NooOp(AssignedSet(ii)));

            else

                Gijt(AssignedSet(ii),(j-1)*nrt+t)=1;

            end

        end

    end

end

%Flow calculations

a1=zeros(nump,1);

a2=zeros(nump,1);

TCm=zeros(nump,1);

FCm=zeros(nump,1);

for ii=1:w

    for j=1:ojn

        for t=1:nrt

            for m=1:nump

```

```

        a1(m)=a1(m)+      Gijt(AssignedSet(ii),(j-1)*nrt+t)*XMODEL(AssignedSet(ii),(j-
1)*nrt+t)*ZMODEL(m,(j-1)*nrt+t);

        a2(m)=a2(m)+XMODEL(AssignedSet(ii),(j-1)*nrt+t)*ZMODEL(m,(j-1)*nrt+t);

    end

end

end

end

for m=1:nump

    TCm(m)=a1(m)*cbar/a2(m);

    FCm(m)=TCm(m)*w*nrt*Bs(m)/a2(m);

end

Flow=max(FCm);

pop(i).AssignedOp=AssignedSet;

pop(i).AssignmentXIWO=XIWO;

pop(i).AssignmentZIWO=ZIWO;

pop(i).AssignmentXMODEL=XMODEL;

pop(i).AssignmentZMODEL=ZMODEL;

pop(i).Gijt=Gijt;

pop(i).Flow=Flow;

end

BestFlows = zeros(MaxIt, 1);

time=zeros(MaxIt,1);

t0=clock;

%IWO MAIN LOOP

for it=1:MaxIt

```

```

    % Update Standard Deviation

sigma = floor(((MaxIt - it)/(MaxIt - 1))^Exponent * (nrt - 1) + 1);

sigma2 = floor(((MaxIt - it)/(MaxIt - 1))^Exponent * (opnx - 1) + 1);

% Get Best and Worst Flow Values

Flows = [pop.Flow];

BestFlow = min(Flows);

WorstFlow = max(Flows);

% Initialize Offsprings Population

newpop = [];

% Reproduction

for i = 1:numel(pop)

    w=size(pop(i).AssignmentXIWO,2);

    ratio = (pop(i).Flow - WorstFlow)/(BestFlow - WorstFlow);

    S = floor(Smin + (Smax - Smin)*ratio);

    for j=1:S

        % Initialize Offspring

        newsol = empty_plant;

        % Generate Random Location

        rrr=rand;

        if rrr>((MaxIt - it)/(MaxIt - 1))^Exponent

            newsol.AssignmentXIWO = pop(i).AssignmentXIWO + repmat(randi(ojn-1,[nrt
,1]),1,size(pop(i).AssignmentXIWO,2));

            newsol.AssignmentZIWO = pop(i).AssignmentZIWO + repmat(randi(ojn-1,[nrt
,1]),1,size(pop(i).AssignmentZIWO,2));

            for r=1:nrt-sigma

```

```

temp=randi(nrt);

newsol.AssignmentXIWO(temp,:)=pop(i).AssignmentXIWO(temp,:);

    end

for r=1:nrt-sigma

    temp=randi(nrt);

    newsol.AssignmentZIWO(temp,:)=pop(i).AssignmentZIWO(temp,:);

        end

        for r=1:nrt

for ii=1:size(pop(i).AssignmentXIWO,2)

    if newsol.AssignmentXIWO(r,ii)>ojn

        newsol.AssignmentXIWO(r,ii)=newsol.AssignmentXIWO(r,ii)-ojn;

    end

end

for ii=1:size(pop(i).AssignmentZIWO,2)

    if newsol.AssignmentZIWO(r,ii)>ojn

        newsol.AssignmentZIWO(r,ii)=newsol.AssignmentZIWO(r,ii)-ojn;

    end

end

end

newsol.AssignedOp = pop(i).AssignedOp;

else

    if rrr>0.85*((MaxIt - it)/(MaxIt - 1))^Exponent

newsol.AssignmentXIWO = pop(i).AssignmentXIWO ;

newsol.AssignmentZIWO = pop(i).AssignmentZIWO ;

```



```

newsol.AssignedOp = pop(i).AssignedOp+randi(opn,1);

for iii=1:size(pop(i).AssignedOp,2)

    if newsol.AssignedOp(1,iii)>opn

        newsol.AssignedOp(1,iii)=newsol.AssignedOp(1,iii)-opn;

    end

end

else

if size(pop(i).AssignedOp,2)<opn

newsol.AssignmentXIWO=myCol(pop(i).AssignmentXIWO,randi(ojn,[nrt,1]));

NonAssigned=[];

gg=0;

for iii=1:opn

    if ismember(iii,pop(i).AssignedOp)==0

        %myCol(iiii,NonAssigned);

        gg=gg+1;

        NonAssigned(1,gg)=iii;

    end

end

newsol.AssignedOp = myCol(NonAssigned(1,1),pop(i).AssignedOp);

newsol.AssignmentZIWO = pop(i).AssignmentZIWO ;

else

newsol.AssignmentXIWO = pop(i).AssignmentXIWO ;

newsol.AssignmentZIWO = pop(i).AssignmentZIWO ;

newsol.AssignedOp = pop(i).AssignedOp;

```

```

end

end

end

%-----
newsol.AssignmentXMODEL=zeros(opn,nrt*ojn);

for ii=1:w

    for j1=1:ojn

        for t=1:nrt

            if newsol.AssignmentXIWO(t,ii)==j1

                newsol.AssignmentXMODEL(pop(i).AssignedOp(ii),(j1-1)*nrt+t)=1;

            end

        end

    end

end

end

newsol.AssignmentZMODEL=zeros(num, nrt*ojn);

for j1=1:ojn

    for t=1:nrt

        for m=1:num

            if newsol.AssignmentZIWO(t,m)==j1

                newsol.AssignmentZMODEL(m,(j1-1)*nrt+t)=1;

            end

        end

    end

end

end

```

```

Wjt=sum(pop(i).AssignmentXMODEL,1);

for ii=1:w

    for j1=1:ojn

        for t=1:nrt

            if Wjt((j1-1)*nrt+t)>NooOp(pop(i).AssignedOp(ii))

                newsol.Gijt(pop(i).AssignedOp(ii),(j1-
1)*nrt+t)=1+EpsiOp(pop(i).AssignedOp(ii))*(Wjt((j1-1)*nrt+t)-NooOp(pop(i).AssignedOp(ii)));

            else

                newsol.Gijt(pop(i).AssignedOp(ii),(j1-1)*nrt+t)=1;

            end

        end

    end

end

end

% -----

% Evaluate Offspring

% newsol.Flow = ?

a1=zeros(nump,1);

a2=zeros(nump,1);

TCm=zeros(nump,1);

FCm=zeros(nump,1);

for ii=1:w

    for j1=1:ojn

        for t=1:nrt

            for m=1:nump

```

```

        a1(m)=a1(m)+newsol.Gijt(pop(i).AssignedOp(ii),(j1-
1)*nrt+t)*newsol.AssignmentXMODEL(pop(i).AssignedOp(ii),(j1-
1)*nrt+t)*newsol.AssignmentZMODEL(m,(j1-1)*nrt+t);

        a2(m)=a2(m)+newsol.AssignmentXMODEL(pop(i).AssignedOp(ii),(j1-
1)*nrt+t)*newsol.AssignmentZMODEL(m,(j1-1)*nrt+t);

    end

end

end

end

for m=1:nump

    TCm(m)=a1(m)*cbar/a2(m);

    FCm(m)=TCm(m)*w*nrt*Bs(m)/a2(m);

end

Flow=max(FCm);

newsol.Flow=Flow;

%-----

% Add Offpsring to the Population

newpop = [newpop

        newsol]; % #ok

end

end

% Merge Populations

pop = [pop

        newpop];

% Sort Population

```

```

[~, SortOrder]=sort([pop.Flow]);

pop = pop(SortOrder);

% Competitive Exclusion (Delete Extra Members)

if numel(pop)>nPop

    pop = pop(1:nPop);

end

% Store Best Solution Ever Found

BestSol = pop(1);

% Store Best Cost History

BestFlows(it) = (BestSol.Flow-365);

time(it) =etime(clock,t0);

end

%% Results

figure;

plot(BestFlows,'LineWidth',2);

xlabel('Iteration');

ylabel('Best Solution');

figure;

plot(time,BestFlows,'LineWidth',2);

xlabel('Computation time(Sec)');

ylabel('Best Solution');

```

```

model:
sets:
operator/1 2/:wi,wit; !i;
job/1 2 3 4/: !j;
period/1 2 3 4 5/: !r;
periodfix/1 2 /:x,l,u; !n;
links0(operator):boredom;
links1(operator,periodfix,job):Ainj;
links11(operator,periodfix,job,job):Ainjj;
links2(operator,period,job):Airj;
links3(operator,periodfix):boredom1,Cin,op;

links5(job,job):Pjk;
endsets

data:
nj=4;
Nb=2;
RI=5;
Cin=1 1
    1 0 ;
Pjk=1 0.20 1 0.46
    0.20 1 0.71 0.08
    1 0.71 1 0.90
    0.46 0.08 0.90 1;
x=1 4 ;
enddata

!min=@sum(operator(i):boredom(i));
min=@max(operator(i):boredom(i));
w=@sum(operator(i):@sum(periodfix(n):cin(i,n)));
@for(operator(i):wi(i)=@sum(periodfix(n):cin(i,n)));
@for(operator(i):wit(i)=wi(i)/w);

@for(links1(i,n,j):@bin(Ainj(i,n,j)));
@for(links2(i,r,j):@bin(Airj(i,r,j)));
@for(periodfix(n):@gin(x(n)));
@for(periodfix(n):x(n)>=1);
@for(job(j):@for(period(r):@sum(operator(i):Airj(i,r,j))=1));
@for(operator(i):@for(period(r):@sum(job(j):Airj(i,r,j))>=1));
@sum(periodfix(n):x(n))=RI;
@for(periodfix(n):l(n)=@sum(periodfix(m)|m#le#n-1:x(m))+1);

```

```

@for(periodfix(n):u(n)=@sum(periodfix(m)|m#le#n:x(m)));
@for(operator(i):@for(job(j):@for(periodfix(n):@sum(period(r)|r#ge#l(n)#and#r#le#u(
n):Airj(i,r,j))=x(n)*Ainj(i,n,j))));
@!for(operator(i):@for(job(j):@for(periodfix(n):@for(period(r)|r#ge#l(n)#and#r#le#u(
n)-1:Airj(i,r,j)=Airj(i,r+1,j))));
@for(operator(i):@for(job(j):@for(periodfix(n)|n#le#Nb-
1:Airj(i,u(n),j)*Airj(i,l(n+1),j)=0)));

```

```

@!for(periodfix(n)|n#le#Nb-1:x(n)>=x(n+1));
@for(operator(i):@for(periodfix(n):@for(job(j):@for(job(jj):Ainj(i,n,j)+Ainj(i,n,jj)<=1
+2*Ainjj(i,n,j,jj))));
@for(operator(i):@for(periodfix(n):@for(job(j):@for(job(jj):Ainj(i,n,j)+Ainj(i,n,jj)>=2
*Ainjj(i,n,j,jj))));
@for(operator(i):@for(periodfix(n):@for(job(j):@for(job(jj):@bin(Ainjj(i,n,j,jj)))));

```

```

@for(periodfix(n):@for(operator(i):boredom1(i,n)=(1-
cin(i,n))*((@sum)job(j):@sum(job(jj):Ainj(i,n,j,jj)*Pjk(j,jj)))/(@sum)job(j):@sum(job(
jj):Ainj(i,n,j,jj)))+cin(i,n)*(1-
(@sum)job(j):@sum(job(jj):Ainj(i,n,j,jj)*Pjk(j,jj)))/(@sum)job(j):@sum(job(jj):Ainj(i,
n,j,jj))));
@for(operator(i):@for(periodfix(n):boredom(i)>=boredom1(i,n)));

```

Developing Job Rotation scheduling model in multi-process handling settings with considering man preferences to reduce boredom

BY

Hamid Gholami

Abstract

In this study, A new mathematical model for job rotation scheduling problem is presented on multi-process guidance environment by taking the concept of boredom according to the operator preferences of similar and dissimilar tasks, that using it can works somehow in the period retention allocation schedule, so that reduce costs boredom. Also preferences operator in similar or dissimilar tasks that lead to more realistic model job rotation scheduling has been considered. In the job rotation with regard to man preferences, any person of any period of rotation to guide multi-task with regard to boredom caused by repeated or cut allocation. Model job rotation proposed scheduling is a multi-period allocation that is formulated as a nonlinear integer model and is one of combinatorial optimization problems. So the decision to schedule problem includes the allocation to work the person in the period orbits, person boredom level function is based on operator preference and during the period of rotation. According to this issue that the proposed model is a computational complexity, the exact methods are not able to solve large-scale problems. In this sense, to overcome the complexity of the algorithm, IWO algorithm suggested to solve the model. For model validation, example using appropriate numerical values for the parameters of the model proposed and by Lingo software and IWO algorithms In the MATLAB is solved. The results show, the preferences of staffing in reducing operator boredom in the getting things done over the course of planning has been effective and has resulted in a more realistic calculations.

Keywords: Scheduling; Job Rotation; Man Preferences; Boredom; Integer Nonlinear Programming, IWO Algorithm



KHATAM University
Non- governmental , Non-profitable

Faculty of management and finance

Department of management

**Developing job rotation scheduling model in multi-
process handling settings with considering man
preferences to reduce boredom**

A thesis submitted to the Graduate Studies Office

In partial fulfillment of the requirements for

The degree of M.A in

Industrial Management(Operation Researches)

Supervisor:

Dr. Ashkan Ayough

By:

Hamid Gholami

September 2019