طراحی چیدمان تجهیزات در سیستم‌های ساخت و تولید انعطاف‌پذیر (FMSs)

بختیار استادی[i]; سید حسام‌الدین ذگردی[ii]; محمد اقدسی[iii]

چکیده

مساله چیدمان تجیزات[1] (FLP) سیستم ساخت و تولید انعطاف‌پذیر[2] (FMS) تثبیت موقعیت سلول‌ها در یک فضای معلوم را بمنظور حداقل نمودن هزینه جریان مواد بین سلول‌ها را شامل می‌شود. طراحی FLP شامل مشخص کردن مختصات فضایی برای هر سلول، جهت‌گیری هر سلول در هر یک از وضعیت‌های افقی و عمودی، و وضعیت هر کدام از نقاط برداشت و گذاشت در سلول‌ها می‌شود. مساله طراحی چیدمان هم از نقطه‌نظر تاکتیکی و هم از نقطه‌نظر راهبردی اهمیت داشته و در تعیین کارایی و انعطاف‌پذیری سیستم نقش مهمی را ایفا می‌کند. از آنجا که بایستی محدودیت‌های اضافی برای شکل و موقعیت سلول و نیز مکان نقاط برداشت و گذاشت آنها تعیین شوند مساله چیدمان FMS از مسائل سنتی چیدمان متفاوت می‌باشد. در سال ۱۹۹۳ یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح توسط داس برای FLP ارائه شد. با توجه به ماهیت NP-hard بودن فضای جواب، یک الگوریتم ابتکاری با استفاده از شبکه کوهنن برای حل مسئله چیدمان سیستم‌های ساخت و تولید انعطاف‌پذیر توسعه و پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی

سیستم ساخت و تولید انعطاف‌پذیر – چیدمان تجهیزات – الگوریتم ابتکاری – شبکه عصبی – شبکه کوهنن

Facility Layout Design in Flexible Manufacturing Systems

B. Ostadi; S.H. Zegordi and M. Aghdasi

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Abstract

The flexible manufacturing system (FMS) facility layout problem (FLP) involves the positioning of cells within a given area so as to minimize the material flow costs between cells. The FLP design includes specifying the spatial coordinates of each cell, the orientation of each cell in either a horizontal or vertical position, and the position of each cell' s pickup and drop off points. The layout design problem is both tactically and strategically important since the layout plays a large role in determining the efficiency and flexibility of the system. The FMS layout problem differs from traditional layout problems in that there are additional constraints on a cell' s shape and orientation and the location of the pickup / drop off points must be determined. A mixed integer programming formulation for the FLP developed by Das (1993) is adapted and heuristically solved in this paper. Because of the NP-hard nature of the solution space, a heuristic algorithm using Kohonen Network is developed and proposed for solving FLP with FMS approach.

[i] – دانشجوی دکترای مهندسی صنایع دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، bostadi@modares.ac.ir

[ii] – دانشیار بخش مهندسی صنایع دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، zegordi@modares.ac.ir

[iii] – دانشیار بخش مهندسی صنایع دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، aghdasim@modares.ac.ir

KEYWORDS
Flexible manufacturing system, facility layout, heuristic algorithm, neural network, Kohonen Network.

۱- مقدمه

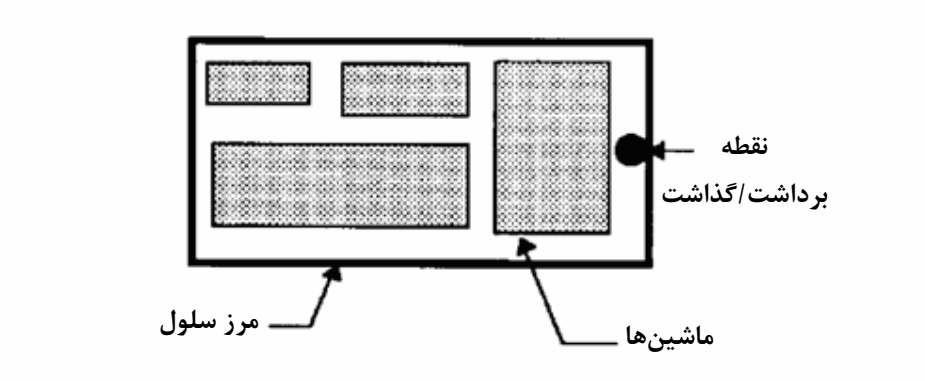
سیستم‌های ساخت و تولید انعطاف‌پذیر در دهه‌های اخیر بعنوان پاسخی به تقاضاهای بازار با افزایش تنوع تولید، دوره‌های زمانی کوتاه محصولات و تقاضاهای نامعلوم بوجود آمده‌اند.

مسئله طراحی و توسعه سیستم‌های ساخت و تولید انعطاف‌پذیر شامل بطور کلی شامل سه مرحله مجزا می‌باشد:

۱) انتخاب و گروه‌بندی تجهیزات تولید و جابجایی مواد درون سلول‌ها،
۲) تخصیص سلول‌های ماشین به فضای داخل کارگاه (چیدمان تجهیزات)،
۳) جزئیات چیدمان ماشین‌ها در هر سلول (چیدمان ماشین[۳])

اولین مسئله در این سلسله مراتب طراحی یعنی گروه‌بندی سلول‌ها توسط محققان زیادی در گذشته مورد بررسی قرار گرفته شده است.

نظر به اینکه در مسئله چیدمان یک FMS خصوصیات اضافی وجود دارند که به مدل‌سازی صریح نیازمندند لذا مسئله چیدمان برای یک FMS با مسائل سنتی چیدمان تجهیزات متفاوت می‌باشد. سلول‌ها در یک FMS می‌توانند بوسیله بلوک‌های مستطیلی نمایش داده می‌شوند. مکان نقاط برداشت و گذاشت[۴] برای هر سلول معمولاً بر روی یکی از محورهای سلول (اظلاع مستطیل) قرار می‌گیرند [۵] . از اینجا به بعد یک طراحی FLP شامل مشخص کردن مختصات هر سلول، جهت هر سلول در هر کدام از موقعیت‌های افقی یا عمودی، و ... مکان نقاط برداشت / گذاشت در هر سلول در نظر می‌گیریم. شکل (۱) ساختار مفهومی یک سلول را مطابق آنچه گفتیم نمایش می‌دهد.



شکل (۱): ساختار سلول FLP

مسئله عمومی چیدمان تجهیزات، فضای سلول‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد نه شکل آنرا، و در گذشته نیز با روش‌های متعددی مدل‌سازی شده است از قبیل [۱۰] :

- مسئله تخصیص درجه دوم[۵] (QAP)،
- مسئله مجموعه پوشای درجه دوم[۶] (QSCP)،
- مسئله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح،
- مسئله تئوری گراف

در مقایسه، مسئله عمومی چیدمان ماشین (MLP) نیز هندسه سلول را بررسی می‌کند، و QAP و سایر مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح برای تعیین چیدمان ماشین پیشنهاد می‌شوند. روش‌های فوق برای حل مسئله چیدمان FMS کافی نمی‌باشند زیرا این روش‌ها محدودیت‌های اضافی روی جهت سلول و نقاط برداشت / گذاشت را نادیده می‌گیرند [۵] . ثابت شده است که مسائل چیدمان تجهیز در رده مسائل NP- کامل می‌باشد [۱۰] . نظر به اینکه مسئله چیدمان در یک FMS حداقل به مشکلی مسائل عمومی چیدمان تجهیزات است لذا این نوع مسائل نیز به رده مسائل NP - کامل تعلق دارند. بدین‌گونه یک روش کارای محاسباتی برای حل بهینه FLP وجود ندارد. در نتیجه نیاز به توسعه الگوریتم‌های ابتکاری کارا برای حل FLP وجود داشته که هم از لحاظ تاکتیکی و هم از لحاظ راهبردی برای استقرار موفق FMS اساس می‌باشند.

چارچوب‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی عدد صحیح[۷] (MIP) در این اواخر برای مدل کردن مسائل چیدمان تجهیزات استفاده شده است. مدل‌های MIP قادر هستند که تمامی موضوعات FLP را پوشش دهند، اما این مدل‌ها برای حل با استفاده از رویکردهای شاخه و کران[۸] بسیار مشکل هستند. در تحقیقات دیگر که در سال ۱۹۹۸ صورت گرفت، راجاسکاران با اقتباس مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مرکب برای FLP که توسط داس در سال ۱۹۹۳ توسعه داده شده بود آن را با استفاده از الگوریتم ژنتیک[۹] (GA) بر اساس استراتژی تجزیه حل نمود که برای جستجوی جواب‌های شدنی خوب از کارایی بالایی برخوردار بود [۱۳] . مدل MIP داس که در سال ۱۹۹۳ ارائه شده بود برای تهیه یک پایه برای مقایسه عملکرد روش جستجوی ژنتیک پیشنهادی در بخش‌های راه‌حل‌های کیفی و زمانی محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش از نظر محاسباتی کاراتر و قابل‌تر برای حل مسائل بزرگ نسبت به روش پیشنهاد شده در سال ۱۹۹۳ توسط داس بود.

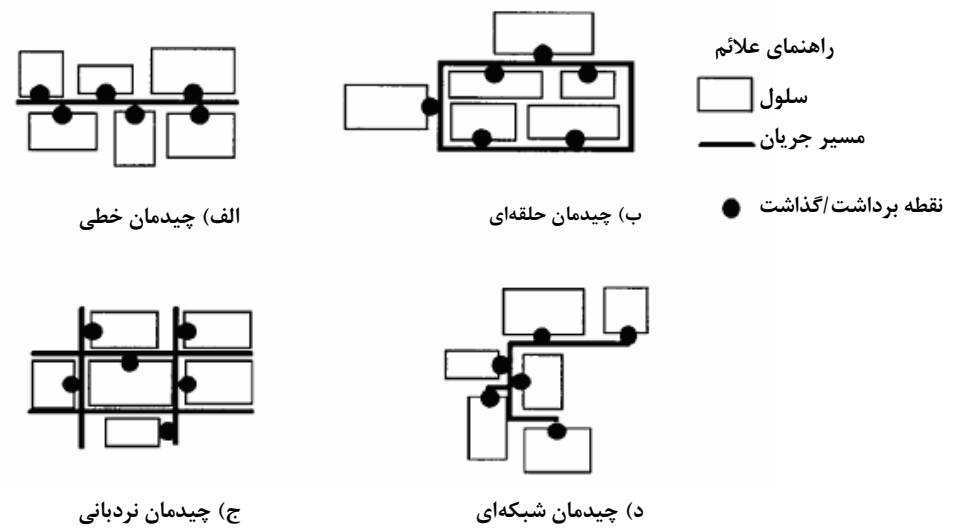
۲- مرور ادبیات

مرحله اول در طراحی FMS گروه‌بندی ماشین در سلول‌ها است. این مرحله می‌تواند به روش‌های گوناگون شامل الگوریتم‌های مبتنی بر تکنولوژی گروهی از قبیل الگوریتم‌های چان و میلنر در سال ۱۹۸۲ [۴] یا لی و گارسیا- دیاز در سال ۱۹۹۳ [۱۱] انجام داد. برای تعیین چیدمان هر سلول با اتکاء به ویژگی‌های خاص مسئله روش‌های متعددی می‌تواند استفاده شود. در حقیقت، روش حل FLP می‌تواند درباره طراحی چیدمان ماشین در یک سلول FMS صادق باشد، نظر به اینکه مساله طراحی چیدمان ماشین یک بخش کوچکتری از مساله طراحی چیدمان FMS می‌باشد. هیراگو و کوسیاک [۷، ۸] اطلاعات بیشتری را در مورد مساله چیدمان ماشین‌ها ارائه دادند. مسائل سنتی طراحی چیدمان بطور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، اما این روش‌ها در حل FLP ناتوان هستند به دلیل ناکافی بودن اطلاعات طراحی برای شکل و موقعیت‌های نقاط برداشت / گذاشت یک سلول. برای مطالعه بیشتر در زمینه روش‌های سنتی چیدمان به مراجع کوسیاک و هیراگو [۱۰] ، فرانسیس و همکارانش [۱] و میلیر و کاو [۱۲] رجوع کنید.

بیشتر روش‌های عمومی طراحی چیدمان ماشین محدودیت‌های شکل سلول را با توجه به پیکربندی‌های طراحی از قبل تعیین شده مدنظر قرار می‌دهند. لاگن در سال ۱۹۹۱ پیکربندی‌های متعدد و متداولی را برای بکارگیری در طراحی چیدمان FMS بصورت زیر معرفی کرده است [۳] :

- چیدمان خطی (Spine)
- چیدمان حلقه‌ای (Circular)
- چیدمان نردبانی (Ladder)
- چیدمان شبکه‌ای (Open – Field)

در شکل (۲) ساختار این چهار پیکربندی را ملاحظه می‌نمائید.



شکل (۲): پیکربندی‌های FLP

البته بایستی چیدمان ربات در مرکز را نیز به انواع چیدمان‌های مطرح شده در فوق نیز اضافه نمود. با توجه به اینکه چیدمان نوع شبکه‌ای دارای الگوی چیدمان از پیش تعیین شده‌ای نمی‌باشد و حل آن نیز مشکل است لذا مورد توجه بسیاری از مطالعات در زمینه طراحی یک FMS می‌باشد. برای مطالعه جزئیات بیشتر به مراجع هیراگو و کوسیاک [۷] ، حسن [۶] و میلیر و کاو [۱۲] رجوع کنید.

هیراگو و کوسیاک در سال ۱۹۹۰ یک ساختار نوع شبکه‌ای برای مساله طراحی چیدمان ماشین‌ها با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح فرموله کردند. حل این مدل با توجه به گزارشات هیراگو و کوسیاک از لحاظ محاسباتی ناکارا بود، لذا آنها یک رویکرد سیستم خبره را برای حل مساله چیدمان ماشین‌ها توسعه دادند.

وقتی که روش‌های حل چیدمان ماشین‌ها برای FLP استفاده شده، آنها به دلیل عدم اطلاعات از موقعیت‌های نقاط برداشت / گذاشت تنها بخشی از حل را می‌دادند. مشکل دیگری که برای بیشتر روش‌های چیدمان ماشین‌ها وجود داشت این بود که آنها به شکل هندسی سایت‌ها نیازمند بودند [۷، ۹] .

داس در سال ۱۹۹۳ یک هیورستیک چهار مرحله‌ای برای حل FLP ارائه کرد. این هیورستیک یک کران بالا برای مقدار جواب بدست می‌داد و سپس تقریب آزادی از محدودیت‌های همپوشانی سلول برای حل قسمتی از مسئله استفاده می‌کرد. این مقادیر ثابت در نظر گرفته و به مراحل بعدی برای حل بقیه مسئله ارسال می‌گردید. این هیورستیک چهار مرحله از لحاظ محاسباتی وقتی که اندازه مسئله بزرگ می‌شد ناکارا می‌بود [۵] .

در سال ۲۰۰۷ نیز توکلی و همکارانش یک مدل ریاضی جدید را برای حل مسائل چیدمان تجهیزات در سیستم‌های ساخت و تولید سلولی[۱۰] (CMSs) با تقاضای احتمالی ارائه نمودند. هدف آن حداقل نمودن هزینه کل در حرکات درون سلولی یا بین سلولی در هر دو ماشین و مسائل چیدمان سلول بطو ر همزمان بود. این مدل به گرایش تصمیم گیرنده در مقابل با شرایط عدم قطعیت بود [۱۶] . همچنین رضائی و استادی نیز در سال ۲۰۰۷ برای یک سیستم ساخت و تولید انعطاف‌پذیر مدلی ریاضی ارائه نمودند که در آن با توجه به نوع چیدمان انتخاب شده برای سلول‌ها تصمیم‌گیری‌های استراتژیک بمنظور انتخاب مولفه‌های هر سلول گرفته می‌شود بطوریکه هم از لحاظ هزینه و هم از لحاظ پاسخگویی به تقاضاهای رسیده به سیستم بیشترین کارآیی را داشته باشد. در این مدل بیشتر استقرار مرحله‌ای و انتخاب بهینه تجهیزات در یک FMS مدنظر بوده است ضمن اینکه محدودیت‌های مربوط به چیدمان تجهیزات نیز در آن دخیل بوده‌اند [۱۴] .

۳- مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح FLP

در این مقاله به توسعه یک الگوریتم ابتکاری کارا برای حل FLP تمرکز می‌شود. در این مدل‌سازی فرض می شود که هر سلول شکل مستطیلی دارد و اینکه نقاط برداشت و گذاشت داده شده و براساس هر محور سلول موقعیت آنها محدود شده است. متغیر تصمیم مختصات مراکز سلول در هر شکل کارگاه، جهت هر سلول، و وضعیت موقعیت نقاط برداشت / گذاشت برای هر سلول می‌باشند. محدودیت‌های اضافه نیز برای حصول اطمینان از اینکه بین سلول همپوشانی وجود ندارد اضافه می‌شوند. فاصله بین نقاط برداشت و گذاشت سلول با استفاده از فاصله متعامد محاسبه می‌شوند.

۳-۱- مدل FLP

مدل FLP توسعه داده شده مدل داس در سال ۱۹۹۳ می‌باشد. برای مطالعه بیشتر این مدل به مقاله داس در سال ۱۹۹۳ مراجعه نمائید [۵] .
در ابتدا مجموعه پارامترها و متغیرهایی را که در مدل MIP استفاده می‌شوند را بصورت زیر تعریف می‌کنیم:

N = تعداد کل سلول‌ها در یک چیدمان

i, j = اندیس مربوط به سلول‌ها که $i, j = 1, \ldots, N$

u_{ij} = چگالی جریان جهت‌دار از سلول i به سلول j

ϵ_{ij} = هزینه بر واحد مسافت برای هر واحد از جریان از سلول i به سلول j

M = یک عدد بسیار بزرگ

w_i = عرض سلول i

v_i = ارتفاع سلول i $(w_i \quad v_i)$

O_i = مرکز نقاط برداشت/گذاشت از مرکز سلول i

W = عرض فضای گارگاه

H = ارتفاع فضای کارگاه

Z_i = متغیر صفر و یک

مقدار ۱ برای حالتی که سلول i در موقعیت عمودی قرار دارد (یعنی ضلع کوتاه‌تر آن پایین قرار دارد)

مقدار ۰ برای حالتی که سلول i در موقعیت افقی قرار دارد (یعنی ضلع بلندتر آن پایین قرار دارد)

(x_i , x_j) = مختصات فاصله‌ای از مرکز سلول i

(px_i , px_j) = مختصات فاصله‌ای از نقطه برداشت / گذاشت سلول i

λ_{1i} = مقدار ۱ را دارد چنانچه نقطه برداشت/گذاشت سلول i در سمت راست مرکز سلول قرار داشته باشد و برای سایر حالت‌ها ۰ می‌باشد.

λ_{2i} = مقدار ۱ را دارد چنانچه نقطه برداشت/گذاشت سلول i در زیر مرکز سلول قرار داشته باشد و برای سایر حالت‌ها ۰ می‌باشد.

λ_{3i} = مقدار ۱ را دارد چنانچه نقطه برداشت/گذاشت سلول i در سمت چپ مرکز سلول قرار داشته باشد و برای سایر حالت‌ها ۰ می‌باشد.

λ_{4i} = مقدار ۱ را دارد چنانچه نقطه برداشت/گذاشت سلول i در بالای مرکز سلول قرار داشته باشد و برای سایر حالت‌ها ۰ می‌باشد.

α_{ij} = مقدار ۱ را دارد اگر x_i x_j (بعبارتی دیگر مرکز سلول i در سمت "راست" مرکز سلول j است) و مقدار ۰ برای سایر موارد

β_{ij} = مقدار ۱ را دارد اگر y_i y_j (بعبارتی دیگر مرکز سلول i در "بالای" مرکز سلول j است) و مقدار ۰ برای سایر موارد

θ_{ij} = متغیر باینری برای نشان دادن cell interference

$E_{ij}(F_{ij})$ = جزء مثبت (منفی) $x_i - x_j$

$G_{ij}(H_{ij})$ = جزء مثبت (منفی) $y_i - y_j$

$P_{ij}(Q_{ij})$ = جزء مثبت (منفی) $px_i - px_j$

$R_{ij}(S_{ij})$ = جزء مثبت (منفی) $py_i - py_j$

برای سادگی مدل‌سازی، مجموعه‌های زیر را تعریف می‌کنیم:

$$\Lambda = \{(i, j) | i = 1,..., N; j = i + 1,.., N\}$$

$\Pi_1(\Pi_2)$ = {مجموعه سلول‌هایی که نقاط برداشت/گذاشت آنها برروی ضلع بلند (کوتاه) قرار دارد}

با این تعاریف مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مرکب FLP بصورت زیر می‌باشد:

$$\textit{Minimize} \quad \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} \varepsilon_{ij} u_{ij} \left(P_{ij} + Q_{ij} + R_{ij} + S_{ij}\right) \qquad (1)$$

Subject to

$$x_i - x_j = E_{ij} - F_{ij} \quad (i,j) \in \Lambda \quad (2)$$

$$y_i - y_j = G_{ij} - H_{ij} \quad (i,j) \in \Lambda \quad (3)$$

$$E_{ij} \le \alpha_{ij} M \quad (i,j) \in \Lambda \quad (4)$$

$$F_{ij} \le (1 - \alpha_{ij}) M \quad (i,j) \in \Lambda \quad (5)$$

$$G_{ij} \le \beta_{ij} M \quad (i,j) \in \Lambda \quad (6)$$

$$H_{ij} \le (1 - \beta_{ij}) M \quad (i,j) \in \Lambda \quad (7)$$

$$E_{ij} + F_{ij} - \frac{1 - Z_i}{2} w_i - \frac{Z_i}{2} v_i - \frac{1 - Z_j}{2} w_j - \frac{Z_j}{2} v_j \ge - M\theta_{ij} \quad (i,j) \in \Lambda \quad (8)$$

$$G_{ij} + H_{ij} - \frac{1 - Z_i}{2} v_i - \frac{Z_i}{2} w_i - \frac{1 - Z_j}{2} v_j - \frac{Z_j}{2} w_j \ge - M(1 - \theta_{ij}) \quad (i,j) \in \Lambda \quad (9)$$

$$px_i = x_i + (O_i\lambda 1_i) - (O_i\lambda 3_i) \qquad i = 1,\ldots,N \qquad (10)$$

$$py_i = y_i + (O_i\lambda 4_i) - (O_i\lambda 2_i) \qquad i = 1,\ldots,N \qquad (11)$$

$$\lambda 1_i + \lambda 3_i = Z_i \qquad i \in \Pi_1 \qquad (12)$$

$$\lambda 2_i + \lambda 4_i = 1 - Z_i \qquad i \in \Pi_1 \qquad (13)$$

$$\lambda 1_i + \lambda 3_i = 1 - Z_i \qquad i \in \Pi_2 \qquad (14)$$

$$\lambda 2_i + \lambda 4_i = Z_i \qquad i \in \Pi_2 \qquad (15)$$

$$px_i - px_j = P_{ij} - Q_{ij} \qquad (i,j) \in \Lambda \qquad (16)$$

$$py_i - py_j = R_{ij} - S_{ij} \qquad (i,j) \in \Lambda \qquad (17)$$

$$\left.\begin{array}{l} Z_i, \alpha_{ij}, \beta_{ij}, \theta_{ij}, \lambda 1_i, \lambda 2_i \in \{0,1\} \\ 0 \le x_i, dx_i, px_i, E_{ij}, F_{ij}, P_{ij}, Q_{ij} \le W \\ 0 \le y_i, dy_i, py_i, G_{ij}, H_{ij}, R_{ij}, S_{ij} \le H \end{array}\right\} \quad i = 1,\ldots,N \text{ and } (i,j) \in \Lambda \qquad (18)$$

محدودیت‌های (۲) تا (۷) بمنظور حذف قدرمطلق مربوط به فاصله متعامد بین مرکز سلول i با مرکز سلول j استفاده می‌شوند. محدودیت‌های (۸) و (۹) برای حصول اطمینان از اینکه بین هر زوج از سلول‌ها اورلپ[11] وجود ندارد. متغیرهای θ_{ij} سلول‌های i و j را مجبور می‌کند که در جهت عمودی (θ_{ij} = ۱) یا در جهت افقی (θ_{ij} = ۰) اورلپ نداشته باشند. محدودیت‌های (۱۰) و (۱۱) تبدیل فاصله متعامد بین نقاط برداشت/گذاشت سلول i و مرکز آن سلول را در بر می‌گیرند. محدودیت‌های (۱۲) تا (۱۵) موقعیت نقاط برداشت/گذاشت یک سلول را به مرکز آن سلول برای پیکربندی‌های مختلف مرتبط می‌نماید. محدودیت‌های (۱۶) و (۱۷) برای حذف قدرمطلق مربوط به فاصله بین نقاط برداشت/گذاشت سلول i و نقاط برداشت/گذاشت سلول j مورد استفاده واقع می‌شود. محدودیت‌های (۱۸) کران‌های مربوط به هر متغیر را مشخص می‌نمایند.

۴- متدولوژی حل

مدل ارائه شده در بخش قبل دارای $\frac{3}{2}\cdot N(N-1)$ متغیر صفر و یک برای یک مسئله چیدمان با N سلول می‌باشد و حل آن برای مسائل واقعی با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح استاندارد بر اساس رویکردهای شاخه و کران بسیار مشکل است. از این رو در این بخش سعی می‌شود که یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر الگوریتم نگاشت‌های خودسازمانده کوهنن[12] (SOM) برای حل مسئله ارائه نمائیم.

این الگوریتم با جابجائی مراکز بلوک‌ها بطور متناوب با توجه به رابطه بین آنها و در جهت مرکز ثقل بلوک‌های هم رابطه سعی در کاهش هزینه کل دارد. هزینه کل تابعی از فاصله بین بلوک‌ها، حجم جابجایی بین آنها و میزان ظرفیت حمل در هر سفر می‌باشد. پارامتر قابل تغییر فاصله بین بلوک‌ها می باشد. این فواصل به ترتیب زیر تعریف می‌گردند:

۱) $Ixdist_{ij}$: حداکثر فاصله مجاز بین دو ماشین،

۲) $IMdist_{ij}$: حداقل فاصله مجاز بین دو ماشین،

۳) $Realdist_{ij}$: فاصله واقعی بین دو ماشین.

سه پارامتر فوق بعنوان پارامترهای اصلی برای محاسبه بردار الگوی ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مراحل کلی الگوریتم SOM را می‌توان بصورت زیر تعریف نمود:

- وزن‌دهی اولیه به بردارهای اوزان
- تعیین گره برنده
- تعیین بردار الگوی ورودی
- حرکت مختصات گره برنده و همسایه‌های آن (بردار وزن آنها) در سمت بردار ورودی طبق یک همسایگی و نرخ حرکت کاهشی و مشخص.

در این روش شرط توقف رسیدن تکرار به یک مقدار از پیش تعیین شده (t_{max}) می‌باشد و اطلاعات ورودی الگوریتم شامل پارامترهای زیر می باشد:

- تعداد ماشین‌ها و طول و عرض هر کدام
- طول و عرض سلوهای ساخت و تولید
- حداکثر و حداقل فاصله مجاز بین هر دو ماشین

- حجم جابجایی‌های بین ماشین‌ها در یک دوره مشخص
- تعداد قطعات مختلف بین هر دو ماشین
- حجم انتقال قطعات در هر سفر
- مختصات (شماره) ماشین‌آلات ثابت
- حداکثر تعداد تکراهای الگوریتم

مراحل الگوریتم مورد استفاده به صورت زیر می باشد:

مرحله ۱: دریافت اطلاعات لازم

مرحله ۲: کنترل بیشتر نبودن طول و عرض ماشین‌ها از طول و عرض سلول

مرحله ۳: $t = 0$ و مختصات ماشین‌الات را بطور تصادفی انتخاب کن

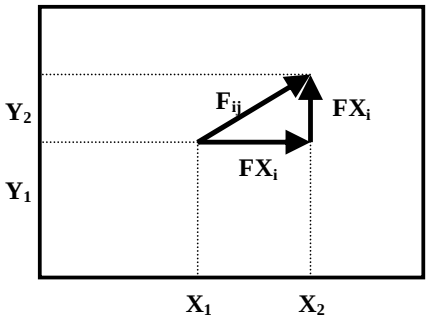
مرحله ۴: انتخاب یک ماشین به تصادف، چنانچه همه ماشین‌ها انتخاب شده‌اند به مرحله ۹ برو

مرحله ۵: بردار V_i را بصورت زیر محاسبه کن:

$$V_i = (Vx_i, Vy_i)$$

$$Vx_i = \frac{Fx_i}{\sqrt{Fx_i^{\,2} + Fy_i^{\,2}}} \qquad Vy_i = \frac{Fy_i}{\sqrt{Fx_i^{\,2} + Fy_i^{\,2}}}$$

با محاسبه بردار V_i جهت انتقال مختصات ماشین منتخب مشخص می‌گردد.



شکل (۳): تسهیم برداری Fy_{ij} و Fx_{ij}

مرحله ۶: مختصات ماشین منتخب و همسایه‌های آن را طبق رابطه زیر جابجا کن

$$X_Z(t+1) = X_Z(t) + R(t,s)(Vx_Z - Vx_Z(t))$$

$$Y_Z(t+1) = Y_Z(t) + R(t,s)(Vx_Z - Vx_Z(t))$$

Z = {ماشین منتخب + ماشین‌های همسایه آن بجز ماشین‌های ثابت شده}

که در آن:

$X_i(t)$: مختصات طول مرکز ماشین

$F_i(t)$: مختصات عرض مرکز ماشین

$R(t,s)$: تابع تطبیق است. (S درجه همسایگی است)

تابع تطبیق که یک تابع کاهشی نسبت به زمان است، هنگام انتقال مختصات ماشین منتخب به صورت یک تابع خطی کاهشی از مقدار ماکزیمم به مینیمم نرخ تطبیق تعیین می شود. معمولاً ماکزیمم نرخ تطبیق برابر ۰،۵ تعریف می شود. اگر مینیمم آن را برابر ۰،۰۰۱ در نظر بگیریم تابع خطی مذکور به صورت:

$$K(t) = -\left(\frac{0.5 - 0.001}{t_{\max} - 0} \times t\right) + 0.5$$

تعریف می‌گردد که در آن:

t_{max} : حداکثر تکرار تعریف شده

t : تکرار جاری (در هر بار استفاده از تابع)

$$R(t,s)=K(t)$$

مرحله ۷: شرط حدود سلول را توسط روابط زیر کنترل کن

$$X_Z(t+1)=FC_x(X_Z(t+1))$$
$$Y_Z(t+1)=FC_y(Y_Z(t+1))$$

مرحله ۸: به مرحله ۴ برو

مرحله ۹: $t = t + 1$ قرار بده

مرحله ۱۰: اگر $t > t_{max}$ توقف کن در غیراینصورت به مرحله ۴ برو.

۶- نتایج عددی

در یک سلول سیستم ساخت و تولید انعطاف‌پذیر ۶ ماشین را برای استقرار در نظر گرفته‌ایم. ابعاد سلول موردنظر $10m \times 8m$ می‌باشد. جدول از - به ماشن‌آلات به ازاء ۱۰۰۰ سفر در یک پریود یک ساله طبق جدول (۱) می‌باشد و همچنین ستون آخر جدول نیز ابعاد ماشن‌ها را نشان می‌دهد. مسئله مذکور دارای محدودیت‌های زیر نیز می‌باشد:

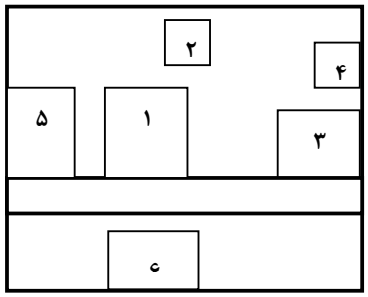
- حداقل فاصله بین رو ماشن ۱،۵ متر باشد،
- ماشین‌های ۳ و ۵ باید حداقل ۵ متر از هم فاصله داشته باشند،
- وجود راهروئی به عرض ۱ متر از مختصات (۲ و ۰) تا (۲ و ۱۰).
- فاصله بین ماشین‌های ۳ و ۴ دقیقاً ۱،۵ متر باشد،

هدف مسئله حداقل نمودن جابجایی‌ها در سیستم ساخت و تولید می‌باشد.

جدول (۱): جدول از – به برای مسئله

از- به	۱	۲	۳	۴	۵	۶	ابعاد (به سانتی‌متر)
۱	۰	۶	۱	۱	۸	۲	۲۰۰ × ۲۰۰
۲	۶	۰	۱	۲	۳	۳	۱۰۰ × ۱۰۰
۳	۱	۱	۰	۵	۲	۳	۱۵۰ × ۱۵۰
۴	۱	۲	۵	۰	۲	۸	۱۰۰ × ۱۰۰
۵	۸	۳	۲	۲	۰	۴	۲۰۰ × ۱۵۰
۶	۲	۳	۳	۸	۴	۰	۲۵۰ × ۱۵۰

با نوشتن کد الگوریتم در محیط مطلب جواب نهائی مسئله برابر مقدار ۱۲۲۸،۹۵ شده است. چیدمان حاصل از حل مسئله با لگوریتم ارائه شده بصورت شکل (۴) می‌باشد.



شکل (۴): چیدمان مسئله موردنظر

۵- نتیجه

نظر به اینکه عملکرد تولیدی یک سیستم ساخت و تولید انعطاف‌پذیر (FMS) بطور معنی‌داری بوسیله چیدمان کارگاه تولیـدی مربـوط بـه آن مورد تاثیر قرار می‌گیرد، بنابراین موضوع اساسی و مورد توجه در استقرار یک FMS طراحی چیدمان تجیهزیات مربوط به آن می‌باشد. چیـدمان در اینگونه سیستم‌ها به شدت هزینه‌های تولید و جابجایی مواد، سطوح موجودی‌های در حین فرآیند تولید[۱۳] (WIP)، و کارآیی کلی سیستم ساخت و تولیدی را مورد تاثیر قرار می‌دهد.

مساله چیدمان FMS از سایر مسائل سنتی چیدمان متفاوت می‌باشد زیرا محدودیت‌های اضافی بر روی شکل هندسی سـلول، جهـت‌گیـری، و موقعیت‌های نقاط برداشت/گذاشت وجود دارند، که مسئله را بیشتر پیچیده و دشوار می‌نمایند. در گردآوری صـورت گرفتـه از کارهـای انجـام شـده ضمن مرور بر روش‌ها و رویکردهای متعدد برای مسائل مشابه، استراتژی‌های هیورستیک و مدل‌های را که نیز برای حل مساله چیدمان یـک FMS مورد استفاده قرار گرفته‌اند. معرفی و مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به ماهیت NP-Hard بودن فضای جواب در اینگونه مسائل، یک الگوریتم بر اساس استراتژی ابتکاری نیز مورد بررسی قرار گرفته و ارائه شده است.

۶- مراجع

[1] Francis, R., McGinnis, L., and White, J.; Facility Layout and Location: An Analytical Approach, 2nd ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992.

[2] Goldberg, D. E.; *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Reading*, MA: Addison Wesley, 1989.

[3] Luggen, W. W.; *Flexible Manufacturing Cells and Systems*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1991.

[4] Chan, H.M., and Milner, D. A.; "*Direct clustering algorithm for group formation in cellular manufacturing*", Journal of Manufacturing Systems, 1, 65-75, 1982.

[5] Das, S.; "*A facility layout method for flexible manufacturing systems*", International Journal of Production Research, 31 (2), 279-297, 1993.

[6] Hassan, M. M. D.; "*Machine layout problem in modern manufacturing facilities*", International Journal of Production Research, 32 (11), 2559-2584, 1994.

[7] Heragu, S.S., and Kusiak, A.; "*Machine layout problem in flexible manufacturing systems*", Operations Research, 36 (2), 258-268, 1988.

[8] Heragu, S.S., and Kusiak,A.; "*Machine layout: an optimization and knowledge- based approach*", International Journal of Production Research, 28 (4), 615-635, 1990.

[9] Jacob, F. R.; "*A layout planning system with multiple criteria and a variable domain representation*", Management Science, 33, 1020-1034, 1987.

[10] Kusiak, A., and Heragu, S. S.; "*The facility layout problem*", European Journal of Operational Research, 29, 229-251, 1987.

[11] Lee, H., and Garcia-Diaz, A.; "*A network flow approach to solve clustering problems in group technology*", International Journal of Production Research, 31 (3), 603-612, 1993.

[12] Meller, R. D., and Gau, K.-Y.; "*The facility layout problem: recent and emerging trends and perspectives*", Journal of Manufacturing Systems, 15 (5), 351-366, 1996.

[13] Rajasekharan, M., et al.; "*A genetic algorithm for facility layout design in flexible manufacturing systems*", Int. J. Prod. Res., Vol. 36, No. 1, 95-110, 1998.

[14] Reazaie, K., Ostadi, B.; "*A mathematical model for optimal and phased implementation of flexible manufacturing systems*", Applied Mathematics and Computation, Volume 184, Issue 2 , Pages 729-736, 15 January 2007.

[15] Schaffer, J. D., Whitley, D., and Eshelman, L. J.; "*Combinations of genetic algorithms and neural networks: a survey of the state of the art*", Proceedings of the International Conference on the Combinations of Genetic Algorithms (San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1992

[16] Tavakkoli-Moghaddam, R., et al.; "*Design of a facility layout problem in cellular manufacturing systems with stochastic demands*", Applied Mathematics and Computation, Volume 184, Issue 2 , Pages 721-728, 15 January 2007.

زیرنویس‌ها

[1] - Facility Layout Problem
[2] - Flexible Manufacturing System
[3] - Machine Layout
[4] - Pickup / Dropoff
[5] - Quadratic Assignment Problem
[6] - Quadratic Set Covering Problem
[7] - Mixed Integer Programming
[8] - Branch and Bound
[9] - Genetic Algorithm
[10] - Cellular Manufacturing Systems
[11] - Overlap
[12] - Self-Organizing Maps
[13] - Work-in-Process