موازنه خط تولید در کارخانجات تولید پوشاک با استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری و تبدیل مسائل NP-Hard Problem به روش برنامه ریزی عدد صحیح

محمد خباز ، کتایون کاتوزیان

این مقاله در قالب یک کار تحقیقاتی تیمی در دپارتمان برنامه ریزی گروه کارخانجات سرزمین شاد (هپی لند) صورت پذیرفته است.

زمستان ۱۳۹۴

چکیده:

همواره موازنه خطوط تولیدی در کارخانجات تولید پوشاک که علی الخصوص از تنوع مدل بالایی نیز برخوردارند از مسایل بسیار پیچیده بوده ودر زمره مسایل NP-Hard Problem قرار می گیرد.

استفاده بهینه از ظرفیت های تولیدی دغدغه اساسی مدیران این صنعت می باشد. که با روشهای کلاسیک بالانس خط مونتاژ مانند SALB جواب قانع کننده ای برای آن نمی توان یافت . بزرگترین مانعی که در مجموعه های تولید پوشاک مطرح است یافتن ترکیب مناسبی از تسهیم ظرفیت بین مدلهای در دست تولید می باشد بنحوی که با استفاده حداکثری از ظرفیت خط تولید ، بیشترین تعداد تولید یک محصول در یک روز یا شیفت کاری را داشته باشیم.

در این مقاله با استفاده از یک مدل فرا ابتکاری و تجزیه و تحلیل نمودار فرآیند تولید (تولید در مرحله دوخت در صنعت پوشاک) و تبدیل مدل به یک برنامه ریزی عدد صحیح برای تولید همزمان چند محصول ، امکان دستیابی به پاسخ بهینه ای که شاخص تعداد تولید در یک روز بیشینه و زمان بیکاری ایستگاهها کمینه شده باشد را میسر می گرداند.

واژگان کلیدی:

موازنه خط تولید صنایع پوشاک، برنامه ریزی عدد صحیح ، زمان بیکاری ایستگاهها ، تولید همزمان چند محصول

مقدمـــــــه :

انتقـال شـیوه تولیـد (دوخـت) پوشـاک از حالـت کارگـاهی و دوخـت تکمیلـی بـه خـط پیوسـته و یـا بعبـارتی زنجیـره ، لـزوم بهـره گیـری از روش چیـدمان صـحیح و موازنـه خـط تولیـد را صـد چنـدان مـی نمایـد، وجـود گلوگـاه در خطـوط تولیـد بـه معنـای عـدم اسـتفاده کامـل از منـابع و ظرفیـت موجـود میباشـد. در صـنعت پوشـاک نـه تنهـا تنـوع فراینـد هـا و محصـولات بسـیار بالاسـت بلکـه تـوان متفـاوت اپراتورهـا نیـز بایـد در مسـاله موازنـه خـط تولیـد در نظـر گرفتـه شـود. در صـورت عـدم بـالانس مناسـب خـط تولیـد بـا افـزایش زمـان بیکـاری اپراتـور و کـاهش راندمان مواجـه خـواهیم شـد. از آنجـا کـه بـالانس خـط تولیـد بـه روشـهای سـنتی و تجربـی دارای خطـا و گـاهی بسـیار زمـان بـر خواهـد بـود بنـابراین نیـاز بـه اسـتفاده از روشـهای علمـی کـه ارائـه دهنـده ی جـواب بهینـه در مـدت زمان کوتاه تری میباشند احساس می شود.

بالانس خط تولید (دوخت پوشاک) :

بـالانس خـط تولیـد (دوخـت) پیوسـته یـا زنجیـره پوشـاک متـاثر از ۲ تفـاوت اصـلی سـایر رشـته هـا و زمینـه هـای مونتـاژی از قبیـل لـوازم خـانگی و قطعـات خـودرویی و .... ایـن نـوع تولیـد بـا بـالانس خطوط مونتاژ صنعتی در دارد که این تفاوتها شامل:

۱- تنوع بالا :

تنـوع بـالا محصـولات از طرفـی و از سـوی دیگـر تنـوع بسـیار زیـاد فرآینـدهای دوخـت و دوز باعث می گردد حجم محاسبات به شدت افزایش یابد.

۲- وابستگی به مهارت نیروی انسانی :

از طرفـی در حـل مسـایل بـالانس خـط تولیـد آنچـه مرسـوم مـی باشـد اسـتفاده از داده هـای زمانسـنجی مـی باشـد کـه بـه نـوعی بیـانگر ظرفیـت ایسـتگاههای تولیـدی (ماشـین مربوطـه) مـی باشـد. ولـی در خطـوط تولیـد پوشـاک (دوخـت) زمـان انجـام کـار بـه مهـارت و تسـلط اپراتور به روش های دوخت سریع و همچنین سایر فاکتورهای انسانی بستگی دارد.

آنچـه در تولیـدی هـای پوشـاک مرسـوم اسـت درجـه بنـدی چرخکـاران بـر اسـاس کیفیـت دوخـت ، تسـلط یـر دوخـت مـدل هـای مختلـف و سـرعت دوخـت مـی باشـد. بنحـوی کـه چرخکـار درجـه یـک بـه کسـی گفتـه مـی شـود کـه توانـایی دوخـت تمـامی مـدلها در زمـان

استاندارد را دارد. چرخکار درجه ۲ نیز توان دوخت تمامی مدلها را در زمان بیشتر (فرضا ۱۵٪ بالاتر) داراست. تنها مسئله ای که این روش دارد و از قضا اشکال کوچکی نیز نمی باشد اینست که این افزایش زمان دوخت بطور میانگین بوده و عمدتا هر چرخکاری در دوخت قسمتی از کار به مهارت بالا می رسد. بطور مثال ممکن است حتی یک چرخکار درجه دو با مهارتی که در انجام یک کار، کسب نموده است، آن کار را از چرخکار درجه ۱ در زمان کوتاهتری انجام دهد.

مدلسازی ریاضی بالانس خطوط مونتاژ چند محصولی

مسئله مورد توجه این مقاله از دسته مسایل بالاتس خط مونتاژ چندمحصولی است.

مشخصات مدل پیشنهادی شامل هدف و محدودیتهایی به شرح ذیل است:

اهداف:

۱- بیشینه نمودن خروجی تولید محصولات مختلف در کل ظرفیت در دسترس

۲- کمینه نمودن بیکاری ایستگاههای کل ظرفیت در دسترس

محدودیت ها:

۱- تقدم و تأخرعملیات و روابط پیشنیازی.

۲- ظرفیت موجود ثابت بوده و قابل افزایش نمی باشد.

۳- تولید چند محصول (تا سقف مشخص) بطور همزمان امکانپذیر است.

۴- مجموعه از عملیات در یک ایستگاه کاری می تواند تعریف شود.

۵- اختصاص عملیات یا مجموعه ای از چند عملیات با زمانی بالاتر از سیکل تولید هدف به یک ایستگاه کاری امکانپذیر است.

۶- امکان استفاده از ایستگاههای موازی

۷- هر محصول تیراژ مخصوص به خود را داراست.

مدلسازی:

تعریف پارامترها :

$i = 1, \ldots\ldots, n_m$ مشخصه محصول

$j = 1, \ldots\ldots, m_t$ مشخصه عملیات

$k = 1, \ldots\ldots, p$ مشخصه ایستگاه

$Z =$ خروجی روزانه

$X_i =$ تعداد محصول i ام

$S_i =$ زمان استاندارد تولید محصول i ام

$X_{ij} =$ تعدادخروجی عملیات ت j محصول i ام

$X_{ijk} =$ تعداد خروجی عملیات j از محصول i ام در ایستگاه k

$S_{ijk} =$ زمان انجام عملیات j از محصول i ام روی ایستگاه k

$H_{ijk} =$ اگر عملیات j محصول i در ایستگاه k انجام شود یک و در غیر اینصورت صفر خواهد بود.

$m_t =$ تعداد کل عملیات

$n_m =$ تعداد مدل

$k_t =$ حداکثر تعداد عملیاتی که به یک ایستگاه می توان تخصیص داده شود

$Pr_j =$ پیش نیاز عملیات j ام

$C_k =$ ظرفیت (زمان در دسترس) ایستگاه k در طول شیفت کاری

$D_k =$ زمان بیکاری ایستگاه k

$T_k =$ زمان فعالیت ایستگاه K

تعریف ریاضی مدل:

$$Max\ Z=\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=m} H_{ijk}.X_{ijk}.S_{ijk}-\sum_{k=1}^{p} D_k$$

$s.t$

$C_k \geq T_k$

$i=1,2,\ldots\ldots, n$

$j=1,2,\ldots\ldots, m$

$k=1,2,\ldots\ldots, p$

$T_k=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k} S_{ijk}.X_{ijk}$

$D_k = C_k - T_k$

$n, m, p \geq 0$

$X=1, 2, \ldots\ldots \infty$

$S=1, 2, \ldots\ldots \infty$

$H_{ijk} \in \{0, 1\}$

نتایج آزمایش :

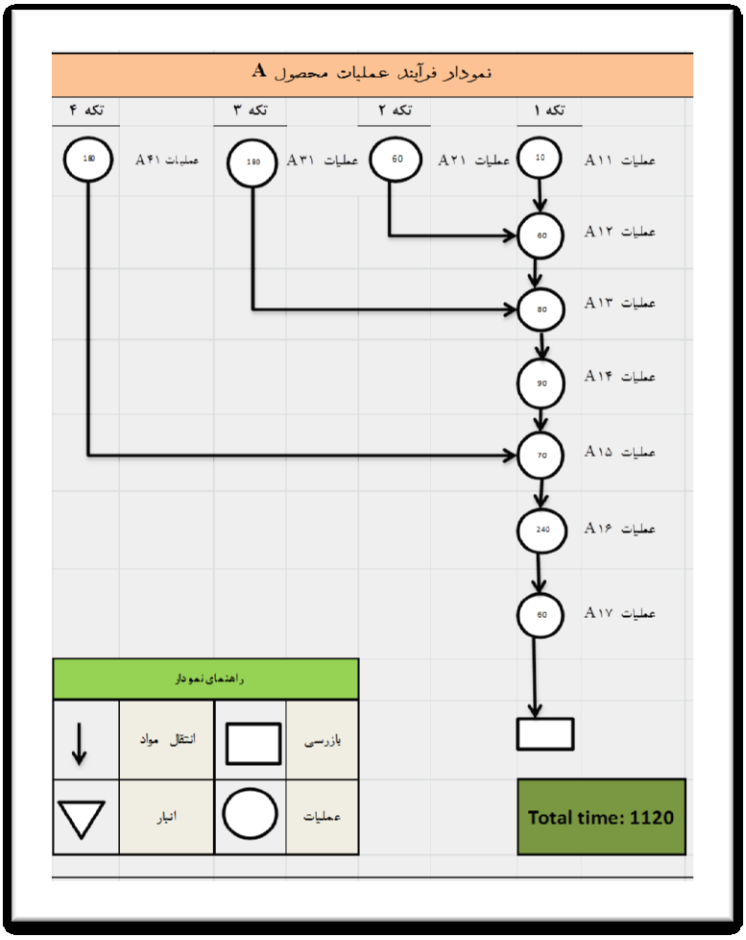
مثال های نمونه:

برای نشان دادن نحوه عملکرد مدل پیشنهادی، مثال های نمونـه برگزیده شده اند:

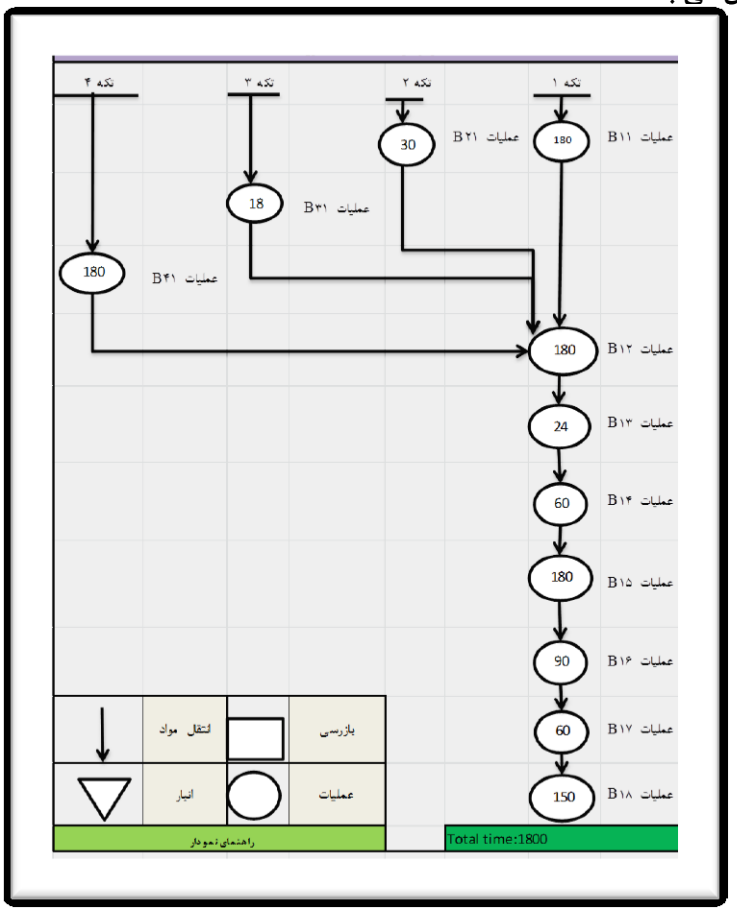
محصـــول A شـــامل ۱۰ عملیـــات بـــا زمـــان اســـتاندارد ۱۱۲۰ ثانیـــه و محصـــول B شـــامل ۱۱ عملیـــات بـــا زمـــان اســـتاندارد ۱۸۰۰ ثانیـــه ، در یـــک خـــط تولیـــد شـــامل ۱۰۰ ایســـتگاه تولیـــدی طـــی یـــک شـــیفت بـــا ۸ ساعت زمان خالص کاری دارای الویت یکسان برای تولید می باشند.
یـــافتن ترکیبـــی از تولیـــد ۲ محصـــول (پوشـــاک) هـــر کـــدام بـــا تیـــراژ ۱۰۰۰۰ ثـــوب ، کـــه بیشـــترین خروجـــی را از خـــط تولیـــد مـــذکور داشـــته باشـــیم و بـــا دســـتیابی بـــه کمتـــرین زمـــان بیکـــاری ایســـتگاههای ایـــن خط تولید تابع هدف بیشینه گردد.

نمودار تقدم تاخر عملیات به شرح ذیل خواهد بود:

۱- تولید محصول A که دارای مراحل عملیات ذیل می باشد :



۲- تولید محصول B که دارای نمودار عملیات ذیل می باشد :



جدول زمانبندی عملیات و روابط پیشنیازی به شرح ذیل است:

نمودار عملیات						
ردیف	محصول A			محصول B		
	نام عملیات	زمان	پیش نیاز	نام عملیات	زمان	پیش نیاز
1	A41	180	-	B41	180	-
2	A31	180	-	B31	180	-
3	A21	60	-	B21	300	-
4	A11	100	-	B11	180	-
5	A12	60	A11,A21	B12	180	B41,B31,B21,B11
6	A13	80	A12,A31	B13	240	B12
7	A14	90	A13	B14	60	B13
8	A15	70	A14,A41	B15	180	B14
9	A16	240	A15	B16	90	B15
10	A17	60	A16	B17	60	B16
11				B18	150	B17

پس از حل مساله در مدل فوق نتایج ذیل حاصل گردید:

همانطور که گفته شده ۱۰۰ ایستگاه تولیدی طی یک شیفت کاری با ۸ ساعت زمان خالص کاری (۲۸۸۰۰ ثانیه) جهت تولید محصول A با ۱۰ عملیات با جمع زمان استاندارد ۱۱۲۰ ثانیه و محصول B با ۱۱ ایستگاه و جمع زمان استاندارد ۱۸۰۰ ثانیه که بدین معناست در بهترین حالت و با بالانس ۱۰۰٪ تعداد ۹۸۶ ثوب از هر محصول قابل تولید می باشد. ولی در صورت چیدمان خطی بدون بالانس ، تولید به ۵۰۵ واحد از هر محصول کاهش خواهد یافت.

ردیف	محصول A			محصول B		
	نام عملیات	سیکل کاری	تعداد نفرات	نام عملیات	زمان	پیش نیاز
1	A41	60	3	B41	60	3
2	A31	60	3	B31	60	3
3	A21	60	1	B21	60	5
4	A11	50	2	B11	60	3
5	A12	60	1	B12	60	3
6	A13	60	4	B13	60	4
7	A14	60		B14	60	1
8	A15	60		B15	60	3
9	A16	60	4	B16	45	2
10	A17	60	1	B17	60	1
11				B18	50	3
sum			19			31

با صرف ۵۰ نفر از هر محصول در هر دقیقه یک محصول خروجی خواهیم داشت و اگر همین آرایش در ۲ ضرب شود تعداد به دو محصول خواهد رسید که در نتیجه به ۲ محصول در هر دقیقه افزایش خواهد یافت. و این یعنی نعداد ۹۶۰ ثوب از هر محصول A و B خروجی خواهیم داشت و این به معنای ضریب بالانس ۹۷.۳٪ خواهد بود.

$$\frac{960}{986} = 0.973 \sim 97.3\%$$

نتیجه

در این مقاله با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری و با استفاده از تجزیه و تحلیل نمودار فرآیند تولید و با تبدیل یک مساله NP-Hard Problem با روش فراابتکاری به یک مدلسازی ساده تر و حل با روش برنامه ریزی عدد صحیح برای تولید محصولات همزمان در یک ظرفیت محدود به پاسخ بهینه و قابل قبولی دست یافتیم.

. بـا توجــه بــه اینکــه قابلیت و مهارت پرسنل مختلف بوده و طبعا زمان استاندارد تولید بمنزله خروجی ایستگاه نخواهد بود این مساله می تواند سبب ساز تحقیقات آتی جهت حل مساله با زمانهای مختلف و حتی احتمالی صورت پذیرد. امید است در زمان نزدیکی موجبات تحقیقات تکمیلی در این خصوص فراهم گردد.

منابع

۱. علی، فتحی، مسعود. (حل مسئله بالانس خط مونتــاژ بــا اســتفاده از برنامــه ریــزی عدد صحیح و مقایسه آن با یک روش جهان هیوریستیک مبتنی بر مسیر بحرانی، پنجمین کنفــرانس مهندسی صنایع.

2. Anderson E. J, Ferris M. C (2008). Genetic algorithms for combinatorial optimization: The assembly line balancing problem, ORSA Journal on Computing; 6: 161-173.

3. Rubinovitz J, Levitin G (1995). Genetic algorithms for assembly line balancing, International Journal of Production Economics; 41: 343-354.

4. Lapierre S. D, Ruiz A, Soriano P (2004). Balancing assembly lines with tabu search, European Journal of Operational Research; 168(3): 826-837.

5. Scholl A, Voß S (1996). Simple assembly line balancing heuristic approaches, Journal of Heuristic; 2: 217- 244.

6. Scholl A, Klein R (1999). Balancing assembly lines effectively- A computational comparison, European Journal of Operational Research; 114(1): 50-58.

7. Simaria A. S, Vilarinho P. M (2004). A genetic algorithm based approach to the mixed-model assembly line balancing problem of type II, Computers & Industrial Engineering; 47: 391-407.

8. Rekiek B, Dolgui A, Delchambre A, Bratcu A (2002). State of the art of optimization methods for assembly line design, Annual Reviews in Control; 26: 163-174.

9. Wee T. S, Magazine M. J (1982). Assembly line balancing as generalized bin packing, Operations Research Litters; 1: 56-58.

10. Falkenauer E, Delchambre A (1992). A genetic algorithm for bin packing and line balancing, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation: 1186- 1192.

11. Chiang W. C., (1998). The application of a Tabu search meta-heuristic to the assembly line balancing problem, Annals of Operations Research; 77: 209-227.

12. McMullen P. R, Tarasewich P (2009). Using ant techniques to solve assembly line balancing problem. IIE Transaction; 35: 605- 617.

13. Kim Y. J, Kim Y. K, Cho Y (1998). A heuristic- based genetic algorithm for workload smoothing in assembly lines, Computers & Operations Research; 25(2): 99-111.
14. Talbot F. B, Patterson J. H, Cherlein W. V (1986). A comparative evaluation of heuristic line balancing techniques, Management science; 32(4): 430-454.