کاربرد روش DEA برای تعیین و ارزیابی جواب بهینه مساله بالانس خط تولید

فریبرز جولای [۱]
دانشکده فنی دانشگاه تهران – گروه مهندسی صنایع
fjolai@ut.ac.ir
مصطفی جهانگشای رضایی*
دانشکده فنی دانشگاه تهران – گروه مهندسی صنایع
Jahangoshai@yahoo.com
اصغر وظیفه [۲]
دانشکده فنی دانشگاه تهران – گروه مهندسی صنایع
A_vazifeh@yahoo.com

چکیده

مساله بالانس خط تولید، جزو مسایلی بوده است که طی دهه های اخیر مطالعات گسترده ای روی آن صورت گرفته است. بیشتر این مطالعات بر روی مدلهای SALBP [۳] می باشد. ساده‌ترین نوع بالانس خط، تخصیص یک سری از فعالیتهای کاری به ایستگاههای متوالی است.

هدف بالانس خط، دست یافتن به بالاترین کارایی است. ولی کارایی یک خط تولید مربوط به سختی و پیچیدگی مساله بالانس خط و همچنین مقادیر جوابهای مربوط به بالانس خط می‌باشد. در این تحقیق، شاخصهایی برای جوابهای بالانس خط معرفی خواهند شد و سپس با استفاده از این شاخصها یک مدل خط تولید با استفاده از روش COMSOAL [۴] حل شده و جوابهایی با ترکیبی مختلف از ایستگاههای کار و سیکل زمانی برای ارزیابی کاراترین مدل بالانس خط انتخاب می شوند. شاخصهای استاندارد در رابطه با بالانس خط تولید، می تواند مدیریت را یاری رساند. هدف از این تحقیق، تعیین بهترین جواب برای تعیین کاراترین تعداد ایستگاههای کار و سیکل زمانی مناسب می باشد. همچنین روشهای DEA [۵] برای ارزیابی جوابهای بدست آمده از روش COMSOAL مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

واژه های کلیدی: بالانس خط تولید – ارزیابی – تحلیل پوششی داده ها – COMSOAL

مقدمه

---

* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع – دانشکده فنی دانشگاه تهران
۱- استادیار گروه مهندسی صنایع – دانشکده فنی دانشگاه تهران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع – دانشکده فنی دانشگاه تهران
3- Simple Assembly Line Balancing Problem
4- Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines
5- Data Envelopment Analysis

مساله بالانس خط تولید، از زمانی مورد توجه قرار گرفت که خط تولید انبوه بعنوان یک روش جدید تولید مورد استفاده قرار گرفت. در این زمینه، باید کارهای مورد نیاز هر فرآیند، به نحوی به کارگران یا ماشینها، تخصیص یابد که تعداد کارگران یا ایستگاههای کار را ضمن حفظ آهنگ تولید مشخص، می نیمم کند. مدلهای بالانس خط، بطور عمده شامل دو نوع زیر است.
الف) در مسائل نوع اول، سیکل زمانی، وظایف و زمان فعالیتهای مورد نیاز هر فرآیند و اولویت فعالیتها تعیین شده است و هدف مینیمم کردن تعداد ایستگاههای کار است.
ب) در مسائل نوع دوم، تعداد ایستگاههای کار و یا اندازه تولید ثابت است و هدف، مینیمم کردن سیکل زمانی یا ماکزیمم کردن کارایی خط تولید است. نوع دوم مسائل، زمانی رخ می دهد که یک واحد تولیدی بخواهد که مقدار تولیدات خود را با تعداد ثابتی از ایستگاههای کار بهینه کند.

تخصیص عملیات و عناصر کاری به ایستگاههای کار، موضوع پژوهش و تحقیق ۵۰ سال اخیر محققان بوده است. ساده‌ترین نوع بالانس خط، تخصیص یک سری از فعالیتهای کاری به ایستگاههای متوالی است. در این مورد، سرعتی از خط مونتاژ و طول زمانی معین شده برای هر اپراتور، بصورت سیکل زمانی مشخص می‌شود. به عبارت دیگر هدف از بالانس خط تخصیص عناصری به ایستگاهها برای دست یافتن به بالاترین کارایی واحد تولیدی است. بالانس خط در واحدهای صنعتی شامل حالتهای مختلف از جمله، تغییرات منابع، ایستگاههای موازی، منابع تخصیصی ثابت و خط تولید با طول ثابت را می‌توان ذکر کرد. همچنین حالتهای برنامه ریزی چند مدله و یا برنامه ریزی احتمالی را به موارد بالا می‌توان اضافه کرد.

همانطور که ذکر شد، هدف بالانس خط دست یافتن به بالاترین کارایی است ولی کارایی یک خط تولید مربوط به سختی و پیچیدگی مساله بالانس خط و همچنین مقادیر جواب مربوط به بالانس خط می‌باشد. در این تحقیق، شاخصهایی برای تعیین سختی مساله بالانس خط، بکار می‌روند و همچنین جوابهایی که برای طراحی بالانس خط بکار می‌رود، معرفی خواهند شد و سپس با استفاده از این شاخصها یک مدل خط تولید با استفاده از نرم افزار Flexible Line Balancing حل شده و جوابهایی با ترکیبی مختلف از ایستگاههای کار و سیکل زمانی برای ارزیابی کاراترین مدل بالانس خط انتخاب می شوند.

روش تحلیل پوششی داده ها (DEA)

روش DEA که تکنیک برنامه ریزی خطی را بکار می برد از جمله روشهای ناپارامتریک توابع هم مقداری تولید یا توابع تولید یکسان می باشد. بطور کلی تخمین توابع تولید یکسان مورد نیاز روش DEA می باشد. اولین مدل DEA، CCR می باشد. مدل CCR [1] در سال 1978 به این علت مشهور گشت که توانست مشکل محاسبه ضرایب را برطرف کند، ضرایب بدست آمده در این روش، بیانگر همان قیمتهای سایه ای می باشد. مدل CCR پس از تعیین منحنی مرزی کارا، مشخص می کند که واحد های تصمیم گیرنده در کجای این مرز قرار دارند و برای رسیدن به مرز کارا چه ترکیبی از ورودیها وخروجیها را می بایست انتخاب کنند. ولی این روش قابلیت رتبه بندی واحدها را دارا نمی باشد. لذا با حذف DMU مورد ارزیابی از مجموعه محدودیتها، می توان این مشکل را برطرف کرد[2,3]. فرض کنید n تا DMU وجود داشته باشد، هر DMU_j (j=1,2,...,n)، با استفاده از m ورودی X_{ij} (i=1,2,...,m) و S خروجی Y_{rj} (r=1,2,...,s) را تولید می کند. در اینصورت برای رزیابی هر واحد خواهیم داشت:

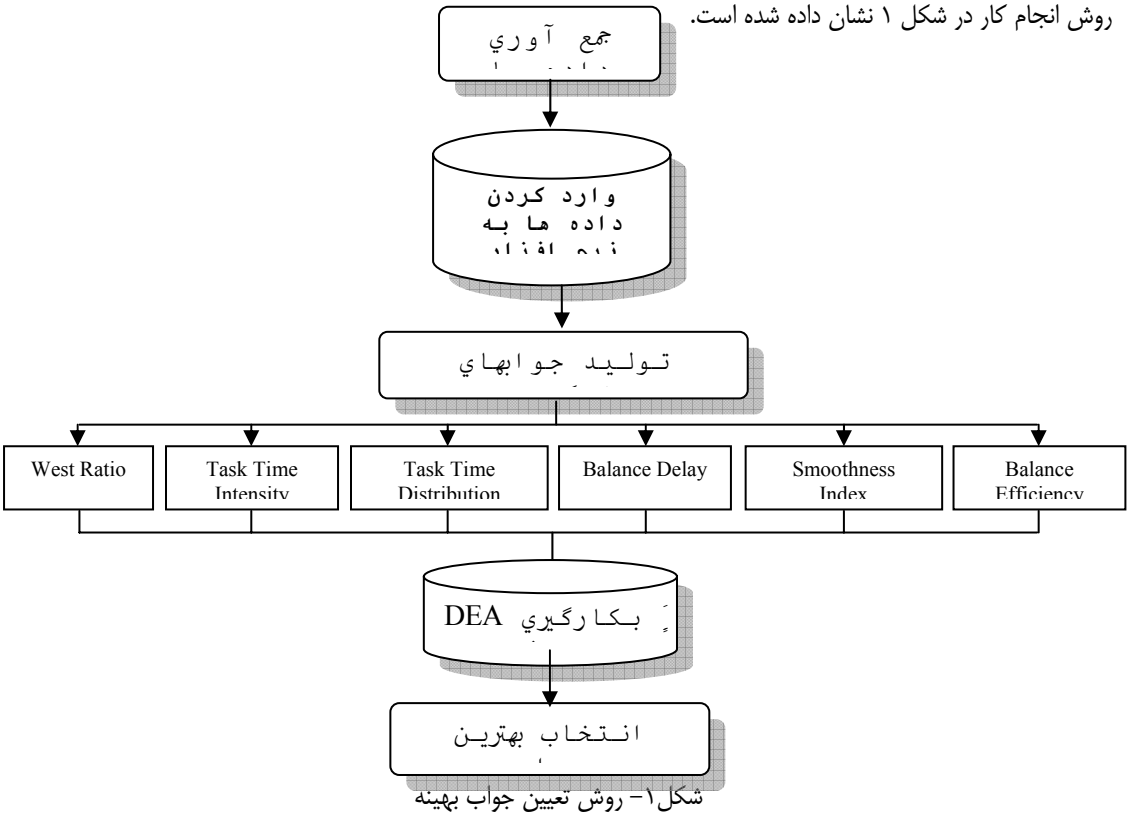
$$
\begin{aligned}
&\theta^{*} = \min \ \theta_0 \\
&S.T. \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \le \theta \ x_{io} \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{ij} \ge y_{io} \\
&\lambda_j \ge 0, \ j \ne o
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

آنگاه مقادیر بهینه مدل فوق می تواند کوچکتر، بزرگتر و یا مساوی یک باشد. اکنون قادر خواهیم بود تا DMU ها را بر طبق نسبت مجموع خروجی ها به ورودی ها که با θ^* ارائه شده رتبه بندی کنیم. λ یک بردار N*1 شامل اعداد ثابت می باشد، که وزنهای مجموعه مرجع آن را نشان می دهد. مقادیر اسکالر بدست آمده برای θ_o کارائی بنگاهها خواهد بود. مدل برنامه ریزی خطی لازم است N بار وهرمرتبه برای یکی از بنگاهها حل شود. در نتیجه میزان کارائی (θ_o) برای هر بنگاه بدست خواهد آمد.

متدلوژی پیشنهادی

COMSOAL یک روش کامپیوتری برای بدست آوردن جواب بالانس خط می‌باشد. این روش می‌تواند برای مسائل مختلفی مانند تخصیص منابع، برنامه ریزی منابع و... که در مسائل بالانس خط نقش اساسی دارند، بکار برده شود. روش COMSOAL برای اولین بار توسط Arcus [4] در سال ۱۹۹۶ مطرح شد و سپس در حل مسائل مختلفی در زمینه بالانس خط مورد استفاده قرار گرفته است [5, 6, 7, 8].

در حل مسائل بالانس خط با استفاده از COMSOAL، این روش، جوابهای شدنی را تولید می‌کند و از بین این جوابهای شدنی بهترین جواب را انتخاب می‌کند. بدین علت، جوابهایی که از روش COMSOAL بدست می‌آید جوابهای تقریبی می‌باشند. روش COMSOAL یک روش تکراری را برای تخصیص فعالیتها به واحدها بکار می برد بطوریکه هر فعالیت تخصیص یافته پیش نیازهای موجود در سیستم را برآورده کند، سپس از تمام حالتهای ممکن که برای مساله پیدا می‌کند، بهترین آنرا انتخاب کرده و به عنوان جواب مساله ارائه می‌دهد. مساله بالانس خط یک مساله کلاسیک بهینه کردن زمان کل انجام فعالیتها و یا می‌نیمم کردن تعداد ایستگاههای کاری است. در مدل بالانس خط، هدف اصلی مساله، اختصاص بهینه فعالیتها به ایستگاههای کار و یا کارگران است. علاوه بر موارد فوق، یافتن جوابهایی که بتواند کارایی سیستم را با ترکیبی از سیکل زمانی و تعداد ایستگاههای کار، ماکزیمم کند نیز مهم می‌باشد. در این مقاله، شاخصهایی را برای ارزیابی بالانس خط بر اساس میزان سیکل زمانی و تعداد ایستگاههای کار تعریف کرده و کاراترین ترکیب آنها را برای بررسی انتخاب می‌کنیم. روش انجام کار در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل۱- روش تعیین جواب بهینه

در این تحقیق برای ارزیابی جوابهایی مختلفی که از روش COMSOAL بدست می‌آوریم، معیارهای زیر را تعریف می‌کنیم.

West Ratio : نشان دهنده تعداد متوسط فعالیتها در هر ایستگاه است. مقدار WR، وابسته به تعداد ایستگاهها در هر جواب می‌باشد. [5]

$$WR = \frac{n}{m} \qquad (۲)$$

Task Time in Tensity : نمایشگر رابط بین متوسط زمان انجام هر فعالیت و سیکل زمانی است و هر چقدر این میزان بیشتر باشد، نشانگر سختی و پیچیدگی مساله است. [9]

$$T_i = \frac{t_{av}}{CT} \times 100 \qquad (۳)$$

Task Time Distribution: هنگامی که متوسط زمان فعالیت به سیکل زمانی نزدیک باشد تعداد فعالیتهای کار را می‌توانند در یک ایستگاه دسته‌بندی گردند را مشخص می‌کند. [9]

$$T_d = \left(1 - \frac{2t_{sd}}{CT}\right) \times 100 \qquad (۴)$$

Balance Delay : نمایشگر ناکارایی خط می‌باشد و عبارت است از: [9]

$$BD = \left(1 - \frac{\sum t_i}{m \times CT}\right) \times 100 \qquad (۵)$$

Smoothness Index : شاخص ناهمواری برای فعالیتها در هر ایستگاه می‌باشد و عبارت است از مجموع فاصله‌ها بین سیکل زمانی و زمان فعالیت هر ایستگاه است. هر چقدر این شاخص بیشتر باشد میزان توزیع ناهمگون وظایف و فعالیتها در ایستگاهها می‌باشد. [10]

$$SI = \left(\sum_{j=1}^{m} (CT - S_j)^2\right)^{1/2} \qquad (۶)$$

Balance Efficiency : نمایشگر توزیع کارها و فعالیتها با افزایش رضایتمندی پرسنل در هر ایستگاه همراه با افزایش میزان خروجی می‌باشد. [9]

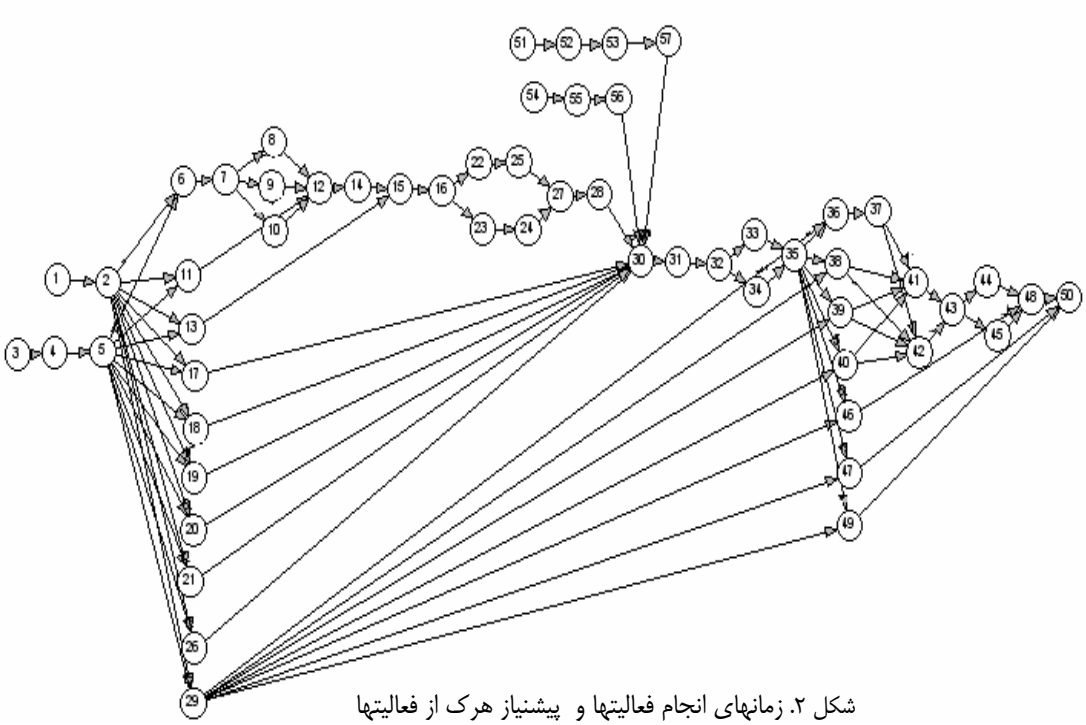
$$BE = \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^{m} \left|S_j - S_{av}\right|}{m \times S_{av}}\right) \times 100 \qquad (۷)$$

پارامترهایی که در شاخصهای بالا در نظر گرفته‌ایم عبارتند از:

m	تعداد ایستگاههای کاری
n	تعداد فعالیتها
t_{av}	متوسط زمان فعالیتها
t_{sd}	انحراف معیار زمان فعالیتها
S_j	زمان فعالیت ایستگاه j ام
S_{av}	متوسط زمان فعالیت ایستگاهها

مثال

دراین بخش، متدولوژی ذکر شده را برای یک خط تولید بکار می بریم. با استفاده از نرم افزار Flexible Line Balancing [11] جوابهایی با مشخصات مختلفی بدست می آوریم. این جوابها در تعداد ایستگاههای کاری و سیکل زمانی متفاوتند. هزینه های افزایش یک ایستگاه با هزینه های افزایش سیکل زمانی متفاوت می باشد، ولی چون در این مثال این هزینه ها معلوم نمی باشند لذا در این مثال، هزینه افزایش یک ایستگاه کار با هزینه های افزایش سیکل زمانی ناشی از کم کردن یک ایستگاه کار برابر فرض شده است. در ادامه، معیارهای ذکر شده را برای این جوابها محاسبه کرده و سپس کاراترین جواب را انتخاب می کنیم. همچنین با تحلیل حساسیت مدل می توان نقاط قوت وضعف هر یک از جوابهای بدست آمده از نرم افزار را با توجه به معیارها مشخص نمود. اطلاعات خط تولید و توالی انجام این عملیاتها در شکل۲ و جدول ۱ آمده است.



شکل ۲. زمانهای انجام فعالیتها و پیشنیاز هرک از فعالیتها

همانطور که در جدول مشخص است این خط تولید از ۵۷ عملیات مختلف تشکیل شده است و برخی از این فعالیتها پیش نیاز انجام برخی دیگر می باشند. بعد از حل مدل جوابهای مختلفی که بدست آمده و همچنین ترتیب انجام فعالیتها در هر ایستگاه در جدول ۲ آمده است. این جدول نشانگر ۱۹ جواب جایگزین مختلف می باشد. مقادیر شاخصها و نتایج بررسی این شاخصها در جداول ۳ و ۴ آمده است.

نتیجه گیری

در این تحقیق، هدف تعیین بهترین جواب برای تعیین کاراترین تعداد ایستگاه کار و سیکل زمانی مناسب می باشد. شاخصهای استاندارد در رابطه با بالانس خط تولید، در این زمینه می تواند مدیریت را یاری رساند. در این مقاله، هزینه های

ناشی از افزایش ایستگاه کار با افزایش سیکل زمانی ناشی از کم شدن ایستگاه کار برابر فرض شده است. با این وجود در غیر این صورت می توان با اهمیت دادن به هریک از شاخصهای هزینه ایستگاه کار و سیکل زمانی در مدل DEA و یا استفاده از مدل DEA وزن دار نیز به ارزیابی جوابها پرداخت. این روش می تواند مدیریت را برای برنامه ریزی خط تولید یاری رساند و موجب افزایش کارایی سیستم شود.

Task number	ST	pre
1	7	
2	10	1
3	4	
4	6	3
5	11	4
6	6	2,5
7	7	6
8	10	7
9	8	7
10	3	7
11	15	2,5
12	9	8,9,10,11
13	8	2,5
14	12	12
15	5	13,14
16	14	15
17	6	2,5
18	7	2,5
19	10	2,5
20	8	2,5
21	4	2,5
22	10	16
23	7	16
24	22	23
25	11	22
26	16	2,5
27	6	24,25
28	12	27
29	15	2,5

Task number	ST	Pre
30	9	17,18,19,20,21,26,28,56,57
31	8	30
32	8	31
33	9	32
34	5	32
35	18	33,34
36	7	29,35
37	12	36
38	14	29,35
39	10	29,35
40	5	29,35
41	11	37,38,39,40
42	10	37,38,39,40
43	10	41,42
44	8	43
45	8	43
46	6	29,35
47	15	29,35
48	15	44,45,46
49	7	29,35
50	7	47,48,49
51	8	
52	8	51
53	11	52
54	6	
55	8	54
56	8	55
57	2	53

جدول۱- زمانهای انجام فعالیتها و پیشنیاز هرک از فعالیتها

DMU1																				CT=26.518
54		4	6																	
2	51	57	21	8	11	13			23			30	34		40		50		45	
1	56	53	17	19	10	12	14	20	16	25		28	32	35	36	47	49	42	44	46
3	55	52	5	7	18	9	29	26	15	22	24	27	31	33	38	37	39	41	43	48
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU2																				CT=27.018
4	57							20												
3	53	5	6			9	7		23		27	21	33		40		35		45	
52	54	56	17	13	8	18	10	29	16		25	30	31	34	50	38	42	37	44	46
51	55	1	2	26	11	19	12	14	15	24	22	28	32	36	47	49	39	41	43	48
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU3																				CT=34.742
20				10																
5	13		21	7	30	15			33		46									
4	1	18	51	6	57	14	23		31	32	29	47	41	43	44					
54	2	26	11	52	53	12	22	24	28	34	50	40	35	39	48					
3	55	19	56	17	8	9	16	25	27	35	49	38	37	42	45					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU4																				CT=35.203
54			21																	
4	5	17	57	10		15			31			40								
2	55	56	53	7	8	14	22		30	33	36	39	41	45	50					
1	52	6	13	26	11	12	23	25	28	34	49	46	42	43	48					
3	51	29	19	20	18	9	16	24	27	32	35	37	38	47	44					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU5																				CT=28.984
1		57	21																	
51	52	53	6	18	10		20	15			27	31	33	46		39	49	44		
3	55	56	17	7	8	11	12	14	23		25	30	34	40	47	37	42	45	50	
54	2	4	5	29	26	19	9	13	16	24	22	28	32	35	38	36	41	43	48	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU6																				CT=29.494
4						20														
55	56	2	21	6	10	57	8	15				31	34	40	37		41	46		
3	1	52	29	11	7	26	9	14	22	25	27	30	33	46	39	38	42	44	50	
54	5	51	19	17	18	53	13	12	16	23	24	28	32	35	36	47	49	43	48	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU7																				CT=27.576
3	57				17															
52	53	1	20	7	11	18		16	25			32			40		49	44	50	
51	55	5	19	29	10	9	14	15	22	27	28	31	34	39	38	47	42	45	48	
54	4	56	2	6	21	8	12	13	23	24	26	30	33	35	36	37	41	43	46	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU8																				CT=29.198
5	3					8														
53	54	1	4	46		10	9	19	15			18	31		49	37	45			
52	56	20	11	40	26	7	14	2	22	27	23	30	34	33	50	36	43	48	38	
51	55	17	21	29	5	6	12	13	16	25	24	28	32	35	47	39	41	44	42	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU9																				CT=29.625
2	55	6		21		8					34									
1	52	5		18	20	9	14	22		28	32		39	36	41	45	50			
3	4	57	29	56	17	10	13	16	24	27	31	35	38	40	37	43	48			
54	51	53	11	19	26	7	12	15	23	25	30	33	46	47	49	42	44			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU10																				CT=29.938
52	55	6		9							34									
51	4	5	17	10	29	18	14	22		28	32		39	46	42	44	50			
3	2	57	56	8	21	11	12	16	24	27	31	35	37	47	38	43	48			
1	54	53	26	7	19	20	13	15	23	25	30	33	36	49	40	41	45			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU11																				CT=30.984
5	56		7	21							34		37							
4	51	57	6	10	19	29	14	22		28	32		36	46		45	50			
3	55	53	13	9	17	18	12	16	24	27	31	35	49	47	41	43	48			
1	54	52	2	26	11	20	8	15	23	25	30	33	40	39	38	42	44			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU12																				CT=29.625
3	21		19	8							34		36							
2	5	6	57	13	55	17	14	22		28	32		40			45				
1	4	29	53	10	54	56	12	16	24	27	31	35	49	38	37	41	44	50		
51	52	20	18	7	26	11	9	15	23	25	30	33	39	46	47	42	43	48		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU13																				CT=28.625
2	54		10	57																
1	6	17	20	53	19	56	18		25		31	34		49	42	44	45			
3	5	52	7	13	8	14	15	16	22	27	30	33	39	38	37	43	46	50		
51	4	11	55	21	9	12	26	29	23	24	28	32	35	40	36	41	47	48		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU14																				CT=29.125
1	57	21	7																	
54	53	5	56	18	10	13	15		25		31	33	40		39	49	45			
52	3	4	6	17	11	19	14	16	23	27	30	34	46	47	37	41	44	50		
51	2	55	20	26	9	8	12	29	22	24	28	32	35	38	36	42	43	48		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU15																				CT=29.756
1	2	6	20																	
52	57	17	55	18	29	12		16		27	31	33	40		37	41	45			
51	54	5	21	11	8	56	26	15	24	25	30	34	46	38	36	49	44	50		
3	53	4	13	7	10	9	14	19	23	22	28	32	35	47	39	42	43	48		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU16																				CT=32.963
52				21																
1	6	53		57			23			34		36								
4	2	7	8	25	56	19	16		28	32	46	49			45	50				
51	5	17	13	9	12	14	18	22	27	31	35	39	37	42	43	48				
3	54	55	29	10	11	20	15	24	25	30	33	40	38	47	41	44				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU17																				CT=32.504
3		21																		
55	52	6	10			15				34										
54	5	57	7	8	17	18	22		28	32	40	36	47	42	44					
51	56	2	11	29	26	14	23	24	27	31	35	49	45	41	45	50				
1	4	53	13	9	19	12	16	25	20	30	33	38	39	37	43	48				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU18																				CT=36.650
3	57				9															
2	4	21		5	8				32	40	46		45							
1	53	17	56	29	10	15	25	27	31	35	36	47	43	50						
54	52	11	26	13	20	14	22	24	30	34	38	42	41	48						
51	55	5	19	18	7	12	16	23	28	33	39	37	49	44						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

DMU19																				CT=38.150
			57																	
5	21		53																	
4	2		10	20					32	40	37		44							
3	51	26	7	17	9	16	25	27	31	35	46	41	45	50						
55	56	19	6	13	8	14	22	24	30	33	36	38	43	47						
54	1	52	18	11	29	12	16	23	28	34	49	39	42	48						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

جدول۲-ترتیب قرار گرفتن فعالیتها در هر یک از جوابهای جایگزین

جدول ۳ : مقادیر کارایی برای جوابهای مختلف

DMU	کارایی	رتبه	تعداد ایستگاه کار
DMU9	1.501	1	18
DMU18	1.072	2	15
DMU2	1.045	3	21
DMU1	1.034	4	21
DMU7	1.024	5	20
DMU3	1.017	6	16
DMU10	1.004	7	18
DMU13	0.997	8	19
DMU4	0.994	9	16
DMU19	0.991	10	15
DMU14	0.983	11	19
DMU17	0.979	12	17
DMU11	0.972	13	18
DMU16	0.972	14	17
DMU15	0.971	15	19
DMU12	0.969	16	18
DMU5	0.960	17	20
DMU8	0.953	18	20
DMU6	0.947	19	20

مراجع

1. Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 2, 429–444.
2. Andersen, P., Petersen, N.C., (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. Management Science 39 (10), 1261–1264.
3. Zhu, J., (1998). Data envelopment analysis vs. principal component analysis: An illustrative study of economic performance of Chinese cities, European Journal of Operational Research, 111, 50-61.
4. Arcus AL. (1966). COMSOAL: a computer method of sequencing operations for assembly lines. Int. J. Production Res. 4, 259–77.
5. Dar-El, E. M. (1975). Solving large single-model assembly line balancing problems– a Comparative study. AIIE Transactions, 7, 302–310.
6. Osman, R., Shing, O. N. (1986). Assembly Line Conference Proceedings, pp. 94–99.
7. Erel, E., Sarin, S.C., (1998). A survey of the assembly line balancing procedures. Production Planning and Control 9, 414–434.
8. Ignall, E.J., (1965). A review of assembly line balancing. Journal of Industrial Engineering 16, 244–254.
9. Scholl, A., (1999). Balancing and sequencing assembly lines, 2nd ed. Physica, Heidelberg.
10. Moodie, C.L., Young, H.H., (1965). A heuristic method of assembly line balancing for assumptions of constant or variable work element times. Journal of Industrial Engineering 16, 23–29.
11. Flexible Line Balancing software (FLB) manual, (2001). LG Electronics Inc.
12. Bryton B., (1954). Balancing of a continuous production line. M.Sc. thesis, North-Western University.
13. Baybars, I., (1986). A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem. Management Science, 32, 909–932.

14. Becker, C., Scholl, A., this issue. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. European Journal of Operational Research. doi: 10.1016/ j.ejor.2004.07.023.
15. Driscoll, J., Thilakawardana, D., (2001). The definition of assembly line balancing difficulty and evaluation of balance solution quality. Robotics and Computer Integrated Manufacturing 17, S81–86.
16. Mastor, A.A., (1970). An experimental investigation and comparative evaluation of production line balancing techniques. Management Science, 16, 728–746.
17. Yang, T., Kuo, C.A., (2003). A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem, European Journal of Operational Research 147, 128–136.