

## زمانبندی دو معیاره در محیط جریان کاری ترکیبی با ماشینهای غیر یکسان

رضا برادران کاظم زاده<sup>۱\*</sup>، سید حسام‌الدین ذگردی<sup>۲</sup> و محمد علی بهشتی‌نیا<sup>۳</sup>  
<sup>۱</sup>استادیار بخش مهندسی صنایع - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس  
<sup>۲</sup>دانشیار بخش مهندسی صنایع - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس  
<sup>۳</sup>دانشجوی دکتری بخش مهندسی صنایع - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس  
( / / / / / )

### چکیده

(Hybrid flow shop)

H2 H1 Cluster

Cluster

EDD SPT

H2 H1

Cluster

واژه های کلیدی:

مقدمه

EDD SPT

Cluster

[ ]

مرور مراجع

[ ]

H2 H1 Cluster

H2 H1

[ ]

k

[ ]

( $k \geq 3$ )

Greedy

[ ]

[ ]

[ ]

[ ]

RKGA

[ ]

[ ]

[ ]

[ ]

[ ]

[ ]

---

[ ]

[ ]

[ ]

[ ]

[ ]

[15]

H2 H1

EDD SPT

$$\begin{aligned}
 & i=1,2,\dots,n \\
 & j=1,2,\dots,m \\
 & \forall j, k=1,2,\dots,l_j \\
 & \quad j \quad k \\
 & \quad j \quad i \\
 & \quad k \quad i \quad j \\
 & \quad l \quad i \\
 & \quad i \\
 & \quad i \\
 & \quad \max\{C_{mi} - d_i, 0\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & n \\
 & m \\
 & i \\
 & j \\
 & l_j \\
 & k \\
 & v_{jk} \\
 & p_{ij} \\
 & C_{ji} \\
 & x_{jki} \\
 & y_{il} \\
 & d_i \\
 & T_i
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & m \\
 & n \\
 & j \\
 & l_j \\
 & j \\
 & k \\
 & i \\
 & :
 \end{aligned}$$

تعريف مساله

$$p_{ijk} = \frac{p_{ij}}{v_{jk}} \quad \forall i=1,2,\dots,n$$

$$\begin{aligned}
 & k \\
 & v_{jk} \\
 & j \\
 & i \\
 & p_{ij} \\
 & j
 \end{aligned}$$

$$\text{Min } Z = W \times \sum_{i=1}^n \frac{C_{mi}}{n} + (1-W) \times \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{n}$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^{l_j} x_{jki} = 1 \quad \forall i, j, k \quad (1)$$

$$C_{ji} \geq C_{(j-1)i} + \frac{p_{ji}}{v_{jk}} - M^*(1-x_{jki}) \quad \forall i, j, k \quad (2)$$

$$C_{0,i} = 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$C_{ji} + M^*(2 + y_{il} - x_{jki} - x_{jkl}) \geq C_{jl} + \frac{p_{ji}}{v_{jk}} \quad j = 1, \dots, m, k = 1, 2, \dots, l_j \quad (4)$$

$$\forall i, l \mid i < l$$

$$C_{jl} + M^*(3 - y_{il} - x_{jki} - x_{jkl}) \geq C_{ji} + \frac{p_{jl}}{v_{jk}} \quad (5)$$

$$C_{mi} - d_i \leq T_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$x_{jki}, y_{il} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k, l \quad (7)$$

$$C_{ji}, T_i \geq 0 \quad \forall i, j \quad (8)$$

زیر مساله تخصیص کارها به ماشین ها ( )

$$( ) \quad ( )$$

$$( ) \quad ( )$$

$$( ) \quad ( )$$

$$( ) \quad ( )$$

زیر مساله تعیین توالی کارها

$$T_i \quad ( )$$

$$( )$$

$$x_{jki}$$

روشهای حل مساله

الگوریتم Cluster

Cluster

H2 H1 Cluster

$$\tilde{p}_i$$

Cluster

$$\tilde{p}_i = \sum_{j=1}^m \frac{p_{ij}}{\rho(j)}, \forall i \quad ( )$$

H1

EDD SPT

H2

$$\rho(j) = \sum_{k=1}^{l_j} \frac{v_{jk}}{l_j}, \forall j$$

$$\tilde{p}_i \quad \rho(j) \quad j$$

Seq 2-Mean  
 level Cluster  
 .( )

$S_{level,4}$   $S_{level,3}$   $S_{level,2}$   $S_{level,1}$

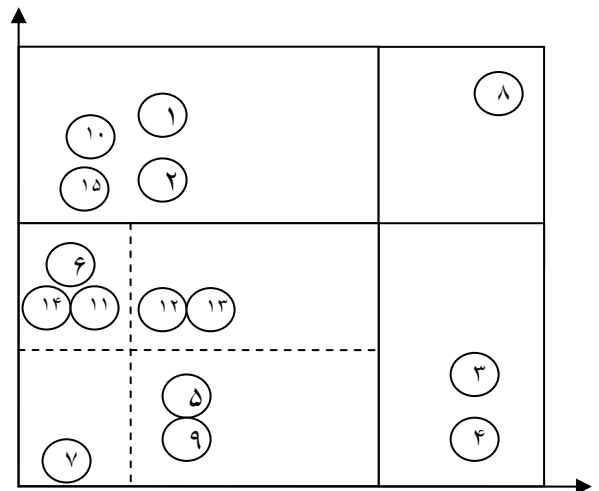
$n_4$   $n_3$   $n_2$   $n_1$

level

)  
 (Seq

Seq

$ACT_{level,k}$   
 ( $k=1, 2, 3, 4$ )  $S_{level,k}$



level

Cluster

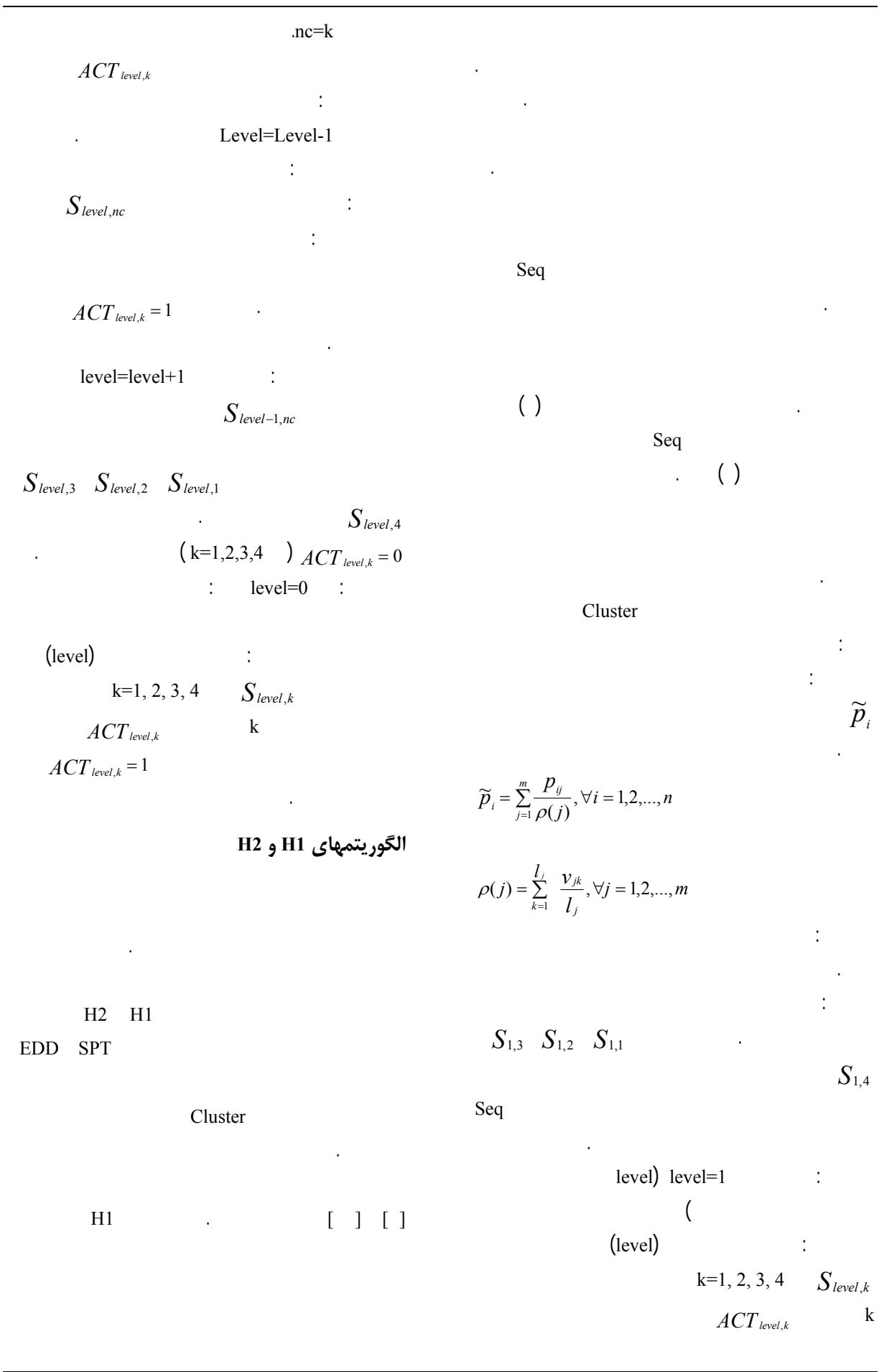
شکل ۱: تشکیل ۴ دسته از کارها.

تعیین توالی بین خوشه‌ها

Seq

Seq

Seq




شکل ۲: آرایه Seq بعد از تعیین توالی خوشه ها.

جدول ۱: پارامترهای مختلف برای مسائل مختلف.

10	50	100
2	10	20
1	U[1,4]	U[2,8]
U[12,18]		U[8,22]
	U[1,4]	
U[P × (1 - T - L / 2), P × (1 - T + L / 2)]		

H2

P

$$P = \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n p_{ij}}{\sum_{k=1}^L v_{jk}}$$

L

T

نتایج محاسباتی

تولید داده‌های تصادفی برای مساله

( )

)  
( $I_j \approx U[1,4]$ ) j

j

)  
( $I_j \approx U[2,8]$ )

[ ]

$U[P \times (1 - T - L / 2), P \times (1 - T + L / 2)]$

T

P .

( × × × × × )

L





جدول ۳: بررسی اثربخشی تبدیل مساله‌ی اصلی به دو زیر مساله.

W	میانگین جوابها		بالاترین تابع هدف		پایین ترین تابع هدف	
	الگوریتم ابتکاری Cluster	جواب بهینه	الگوریتم ابتکاری Cluster	جواب بهینه	الگوریتم ابتکاری Cluster	جواب بهینه
۰	۲۱,۸۱	۲۱,۷۸	۴۸,۳۸	۴۸,۳۸	۹,۶۰	۹,۶۰
۰,۱	۱۹,۸۵	۱۹,۸۱	۴۴,۰۶	۴۴,۰۶	۸,۷۴	۸,۷۴
۰,۲	۱۷,۸۸	۱۷,۸۵	۳۹,۷۵	۳۹,۷۵	۷,۸۸	۷,۸۸
۰,۳	۱۵,۸۸	۱۵,۸۵	۳۵,۴۴	۳۵,۴۴	۶,۹۶	۶,۹۶
۰,۴	۱۳,۸۷	۱۳,۸۴	۳۱,۱۳	۳۱,۱۳	۵,۹۶	۵,۹۶
۰,۵	۱۱,۸۴	۱۱,۸۱	۲۶,۹۷	۲۶,۹۷	۴,۹۷	۴,۹۷
۰,۶	۹,۷۸	۹,۷۴	۲۳,۴	۲۳,۴	۳,۹۸	۳,۹۸
۰,۷	۷,۷۰	۷,۶۶	۱۹,۸۳	۱۹,۸۳	۲,۹۸	۲,۹۸
۰,۸	۵,۶۱	۵,۵۷	۱۶,۲۶	۱۶,۲۶	۱,۹۹	۱,۹۹
۰,۹	۳,۵۱	۳,۴۷	۱۲,۶۹	۱۲,۶۹	۰,۹۹	۰,۹۹
۱	۱,۴۱	۱,۳۷	۹,۱۳	۹,۱۳	۰	۰

جدول ۴: مقایسه با جواب بهینه برای مسائل با ابعاد کوچک.

W	میانگین جوابها		بالاترین تابع هدف		پایین ترین تابع هدف	
	الگوریتم ابتکاری Cluster	جواب بهینه	الگوریتم ابتکاری Cluster	جواب بهینه	الگوریتم ابتکاری Cluster	جواب بهینه
۰	۸۳,۴۲	۸۲,۷۳	۲۵۱,۳۰	۲۴۶,۴۴	۸,۹۷	۸,۹۵
۰,۱	۷۵,۲۵	۷۴,۶۲	۲۲۶,۱۷	۲۲۱,۸۰	۸,۳۸	۸,۳۷
۰,۲	۶۷,۰۷	۶۶,۵۰	۲۰۱,۰۴	۱۹۷,۱۵	۷,۶۸	۷,۶۸
۰,۳	۵۸,۸۷	۵۸,۳۶	۱۷۵,۹۱	۱۷۲,۵۱	۶,۷۷	۶,۷۷
۰,۴	۵۰,۶۵	۵۰,۱۹	۱۵۰,۷۸	۱۴۷,۸۶	۵,۸۶	۵,۸۶
۰,۵	۴۲,۴۳	۴۲,۰۲	۱۲۵,۶۵	۱۲۳,۲۲	۴,۸۹	۴,۸۹
۰,۶	۳۴,۱۸	۳۳,۸۳	۱۰۰,۵۲	۹۸,۵۸	۳,۹۱	۳,۹۱
۰,۷	۲۵,۹۱	۲۵,۶۳	۷۵,۳۹	۷۳,۹۳	۲,۹۳	۲,۹۳
۰,۸	۱۷,۶۴	۱۷,۴۲	۵۰,۲۶	۴۹,۲۹	۱,۹۵	۱,۹۵
۰,۹	۹,۳۵	۹,۲۰	۲۹,۵۸	۲۹,۵۸	۰,۹۸	۰,۹۸
۱	۱,۰۵	۰,۹۷	۲۰,۶۸	۲۰,۶۸	۰	۰

پیشنهادی بطور متوسط ۱,۶۹ درصد با جواب بهینه فاصله دارند.

### نتیجه گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی

نتایج بدست آمده در جدول (۴) نشان می‌دهد که تفاوت زیادی بین جوابهای بدست آمده از الگوریتم Cluster با جواب بهینه وجود ندارد. آزمایشات عددی انجام شده بیانگر این مطلب است که جوابهای الگوریتم پیشنهادی بطور متوسط تنها ۰,۶۳ درصد با جواب بهینه فاصله دارند. همچنین برای مسائل با ابعاد کوچک، جوابهای الگوریتم

---

Cluster

Cluster

Cluster

H2 H1

Cluster

W

W=1

W=1

Cluster

H2

W

Cluster

H2

W

## مراجع

- 1 - Sharma, S. (1996). *Applied multivariate techniques*, chapter 7, John wiley and sons incorporated, New York.
  - 2 - Salvador, M. (1973). "A solution to a special case of flow shop scheduling problems." In: Elmaghraby, S.E. (Ed.), *Symposium on the Theory of Scheduling and its Applications*, Springer, Berlin, PP.83–91.
  - 3 - Linn, R. and Zhang, W. (1999). "Hybrid flow shop scheduling: a survey." *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 37, PP.57-61.
  - 4 - Botta-Genoulaz, V. (2000). "Hybrid flow shop scheduling with precedence constraints and time lags to minimize maximum lateness." *International Journal of Production Economics*, Vol. 64, PP.101-111.
  - 5 - Sawik, T. (2000). "Mixed integer programming for scheduling flexible flow lines with limited intermediate buffers." *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 31, PP.39-52.
  - 6 - Sawik, T. (2002). "An exact approach for batch scheduling in flexible flow lines with limited intermediate buffers." *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 36, PP.461-471.
  - 7 - Kyparisis, G. J. and Koulamas, C. (2001). "A note on weighted completion time minimization in a flexible flow shop." *Operations Research Letters*, Vol. 29, PP.5–11.
  - 8 - Gupta, J., KruK, K., Lau, V., Werner, F. and Sotskov, Y. N. (2002). "Heuristics for hybrid flow shop with controllable processing times and assignable due dates." *Computers and Operations Research*, Vol. 29, PP.1417-1439.
  - 9 - Bertel, S. and Billaut, J. C. (2004). "A genetic algorithm for an industrial multiprocessor flow shop scheduling problem with recirculation." *European Journal of Operational Research*, Vol. 159, PP.651–662.
  - 10 - Kurz, M. and Askin, R. (2003). "Comparing scheduling rules for flexible flow lines." *International Journal of Production Economics*, Vol. 85, PP.371–388.
-

- 
- 11 - Kurz, M. E. and Askin, R. (2004). "Scheduling flexible flow lines with sequence-dependent setup times." *European Journal of Operational Research*, Vol. 159, PP.66–82.
  - 12 - Engin, O. and Döyen, A. (2004). "A new approach to solve hybrid flow shop scheduling problems by artificial immune system." *Future Generation Computer Systems*, Vol. 20, PP.1083–1095.
  - 13 - Acero-Dominguez, M. J. and Paternina-Arboleda, C. D. (2004). "Scheduling jobs on a K-stage flexible flow shop using a TOC-based (bottleneck) procedure." *Systems and Information Engineering Design Symposium*, PP.295-298.
  - 14 - Allaoui, H. and Artiba, A. (2004). "Integrating simulation and optimization to schedule a hybrid flow shop with maintenance constraints." *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 47, PP.431–450.
  - 15 - Kyparisis G. J. and Koulamas, C. (2006). "Flexible flow shop scheduling with uniform parallel machines." *European Journal of Operational Research*, Vol. 168, PP.985-997.
  - 16 - Oguz, C., Zinder, Y., Do, V. H., Janiak, A. and Lichtenstein, M. (2004). "Hybrid flow shop scheduling problems with multiprocessor task systems." *European Journal of Operational Research*, Vol. 152, PP.115–131.
  - 17 - Low, C. (2005). "Simulated annealing heuristic for flow shop scheduling problems with unrelated parallel machines." *Computers and Operations Research*, Vol. 32, PP.2013-2025.
  - 18 - Logendran, R., Carson, S. and Hanson, E. (2005). "Group scheduling in flexible flow shop." *International Journal of Production Economics*, Vol. 96, PP.143-155.
  - 19- Xuan, H. and Tang, L. (2007). "Scheduling a hybrid flow shop with batch production at the last stage." *Computers and Operations Research*, Vol. 34, PP.2718- 2733.
  - 20 - Potts, C. N. and Van Wassenhove, L. (1982). "Decomposition algorithm for the single machine total tardiness problem." *Operations Research. Letters*; Vol. 1, PP.77–81.

### واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Hybrid Flow Shop
  - 2 - Flow shop
  - 3 - Parallel machines
  - 4 - Cluster Analysis
  - 5 - Permutation
  - 6 - Flow time
  - 7 -Due date
  - 8 - Branch and Bound
  - 9 - Heuristic
  - 10 - Precedence constraint
  - 11 - Time lag
  - 12 - Mixed integer programming
  - 13 - Flexible flow shop
  - 14 - Maximum of completion times (Cmax)
  - 15 - Worst-case ratio bound
  - 16 - Controllable processing time
  - 17 - Assignable due date
  - 18 - Ready time
  - 19 - Earliness
  - 20 -Tardiness
  - 21 Construction algorithms
  - 22 - Job insertion techniques
  - 23 - Iterative algorithms
  - 24 - Local search
-

- 
- 25 - Recirculation
  - 26 - Genetic algorithm
  - 27 - Sequence dependent
  - 28 - Traveling sales man
  - 29 - Johnson rule
  - 30 - Mixed integer programming
  - 31 - Artificial immune system
  - 32 - Theory of constraint
  - 33 - Approximation algorithm
  - 34 - Tabu search
  - 35 - Simulated annealing
  - 36 - Removal time
  - 37 - Group scheduling
  - 38 - Set up
  - 39 - Meta heuristic
  - 40 - Ready times
  - 41 - Preemption
  - 42 - Run
-