

# روش ابتکاری برای حل برنامه ریزی توالی از طریق روش CAM جهت برنامه ریزی و کنترل در صنایع بزرگ

حمید داودپور

استادیار

دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## چکیده

علیرغم وجود ماشین آلات پیشرفته در بخش های مختلف تولیدی و خدماتی در ایران، به علت عدم آشنایی و بکارگیری روش های مناسب برنامه ریزی، بخش های فوق دارای کارایی نازل و بهره وری پائین در استفاده از امکانات تولیدی می باشند. روش های توالی یکی از روش های ناشناخته در برنامه ریزی تولید در صنایع ایران است. در این مقاله با استفاده از تئوری توالی یک روش ابتکاری با هدف حداقل کردن مدت زمان انجام کل کار (Fmax) با استفاده از روش Combinational Approach Method (CAM) طراحی و ارائه شده است. از آنجائیکه روش حل الگوریتم پیشنهادی مستقل از تعداد ماشین آلات موجود می باشد. این روش برای برنامه ریزی در صنایع بزرگ با تعداد ماشین آلات زیاد مناسب است. روش پیشنهادی بطور گسترده ای از ابعاد مختلف مورد بررسی قرار گرفته و کارایی آن به اثبات رسیده است.

## کلمات کلیدی

توالی عملیات، روش ترکیبی

## A New Heuristic for Sequencing Planning on The Base of CAM in Large Industries

Hamid Davoud Pour

Assistant Professor

Department of Industrial Engineering,  
Amirkabir University of Technology

## Abstract

*This paper describes a new algorithm for solving the flow-shopscheduling problem to minimize maximum flow time on the base of combinational approach method. A set of randomly produced problems of different sizes was solved and compared with three well-known heuristics. The result reveals that the new algorithm improves the best heuristics in performance measures by a significant percentage. Also, since the number of necessary operations for solving problems in this algorithm is independent of the number of machines involved, it is apt for systems with large number of machines.*

## Keywords

*flow-shop, heuristics, CDS Algorithm, NEH Algorithm, Palmer Algorithm, efficiency index, relative error index.*

در دنیای کنونی مقوله تولید کالا و خدمات مساله عمده‌ای است که هیچ جامعه‌ای خود را جدا از آن نمی‌بیند. این مساله در اغلب کشورها نقش تعیین کننده داشته و بقای آنها در گرو استفاده بهینه از شرایط و امکانات موجود جهت ارائه مناسب تولید و خدمات مورد نیاز است. روش برنامه‌ریزی و کنترل تولید در سیستم‌های تولیدی و خدماتی یکی از عوامل اساسی در دسترسی به این مهم و افزایش بهره‌وری در آنها است. مسائل برنامه‌ریزی تولید از گستردگی و پیچیدگی خاصی حتی در حالات ظاهراً ساده برخوردار است.

روش‌های متعددی برای حل مسائل برنامه‌ریزی تولید وجود دارد که از آن میان می‌توان به روش «توالی» یا Sequencing اشاره کرد. روش‌های برنامه‌ریزی توالی دارای کاربردی یکسان در بخش‌های خدمات و تولیدی بوده و یکی از جالب‌ترین و کاربردی‌ترین زمینه‌ها در تحقیق در عملیات است. جالب بدان خاطر که علیرغم ظاهر ساده مسائل، حل آنها با دشواری‌های فراوانی مواجه است.

Miller/ Maxwell/conway (۱۹۶۷) سه تن از پیشگامان این رشته که دارای تحقیقات بسیاری در این زمینه می‌باشند مشخصات روش‌های برنامه‌ریزی توالی را چنین توصیف می‌نمایند.

«بیان تجسم نیازها ساده به نظر می‌رسد. ولی یافتن راه حل برای آنها فوق العاده مشکل است. تعداد زیادی از افراد متخصص در این مورد تلاش فراوان نموده اند ولی همه آنها بعد از مدتی دست خالی بازگشته اند. از آنجائیکه اینگونه شکست‌ها در جایی گزارش نمی‌شود. هنوز محققین بسیاری بسوی حل اینگونه مسائل جذب می‌شوند. زیرا کسی نمی‌تواند باور کند مسئله‌ای با ساختاری چنین ساده اینگونه در حل، مشکل باشد. مگر خود آنرا بیازماید.» [۱]

برنامه‌ریزی ماشین آلات بطور کلی تعیین ترتیب (رتبه، الویت و نظایر آن) برای یک مجموعه از کارها (فرایند، امکانات، عملیات و امثالهم) از یک ماشین به ماشین دیگر می‌باشد. [۲]

در اینجا لازم به ذکر است که باید بین برنامه‌ریزی Scheduling و برنامه‌ریزی sequencing تفاوت قائل شد. زیرا در حقیقت برنامه‌ریزی توالی به «تعیین ترتیب مناسب برای یک مجموعه از کارها که توسط یک گروه از ماشین آلات بر روی آنها عمل می‌گردد»، گفته می‌شود. [۳]

در حالی که مغربی scheduling را چنین توصیف می‌نماید: «تعیین دقیق نقطه‌ای از زمان که یک رویداد خاص بوقوع می‌پیوندد.» [۲]

نهایتاً تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی توالی بر نحوه قرار گرفتن رویدادها و تصمیم‌گیری در scheduling بر روی زمان‌بندی رویدادها متمرکز است.

امروز بخاطر تنوع استفاده از این روش در مجلات و کتب جدید بجای واژه توالی ماشین آلات (machine sequencing) از واژه‌هایی نظیر توالی فرایند (process sequencing) و برنامه‌ریزی فرایند (process scheduling) و امثالهم استفاده می‌شود. زیرا روش توالی برای تخصیص هر نوع کار بر روی هر فرایندی قابل استفاده می‌باشد از این روش در موارد زیر استفاده شده است:

- ۱- در برنامه‌ریزی‌های نظامی و انتظامی
  - ۲- در بیمارستان‌ها: تخصیص بیماران به امکانات آزمایشگاهی و اطاق عمل
  - ۳- در بخش‌های خدماتی
  - ۴- در سخت افزار کامپیوتر برای تعیین ترتیب بهینه فرایند عملیات
- همانگونه که ملاحظه می‌شود کاربرد این روش بسیار متنوع و وسیع تر از تنها زمینه‌های تولیدی است.

## ۱- روش‌های حل مسائل برنامه‌ریزی توالی

روش‌های حل مسائل برنامه‌ریزی توالی بسیار متنوع بوده و دامنه آنها از روش شمارش کامل complete enumeration تا روش‌های ابتکاری گسترده است.

تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که بسیاری از روش‌های مطرح شده در تحقیق در عملیات بعلاوه طولانی بودن زمان لازم

برای دست یابی به جواب و یا پیچیدگی روش‌های حل از کارائی کمی در عمل برخوردار می باشند.

French در یک تحقیق جامع نشان می‌دهد برای دست یابی به جواب بهینه برای حل مسئله ای بسیار ساده که تنها شامل ۲۰ کار بوده و بوسیله یک فرایند انجام شود در صورتیکه هدف آن حداقل نمودن دیرکرد باشد. (20/1/T) از طریق روش complete enumeration بوسیله کامپیوتری که قادر باشد در هر ثانیه یک میلیون عملیات ریاضی را انجام دهد. زمانی قریب به ده میلیون سال نیاز است. حل همین مسئله با روش برنامه ریزی پویا با همان کامپیوتر فوق الذکر ۱ دقیقه بطول می‌انجامد در صورتیکه در این مسئله تعداد کارها از ۲۰ به ۴۰ تغییر کند برای حل آن بوسیله روش برنامه ریزی پویا به ۴ سال وقت نیاز خواهد بود. [۴] این تجربه نشان می‌دهد که با افزایش تعداد کارها زمان لازم برای حل مسئله بشدت زیاد می‌شود.

چنانچه هرگز نتوانیم مسئله بهینه سازی را در زمانی چند جمله‌ای حل کنیم آنرا NP-hard می‌نامند. کلیه مسائل N/M/F/Fmax (مسئله مورد بررسی) برای مقادیر 3 و m نیز از نوع مسائل NP-hard می‌باشند. [۴]

همانگونه که ملاحظه می‌شود برای حل مسائل NP-hard در حال حاضر هیچ راه حل عملی وجود ندارد. و تنها راه، طراحی الگوریتم‌های مناسب با توجه به روش فرایند عملیاتی و اهداف موردنظر است.

اساس الگوریتم پیشنهادی در این تحقیق بر مبنای روش Smith (۱۹۵۴) معروف به قاعده SPT که برای حل مسائل n کار و یک ماشین ارائه شده است استوار است. در این تحقیق برای دست یابی به حل مسئله n کار و m ماشین از شیوه (CAM) Combinational Approach Method استفاده شده است.

این روش (CAM) بر مبنای جابجائی کارها در توالی انجام آنها تادست یابی به توالی که معیار اندازه گیری مورد نظر را تامین نماید بنا شده است.

در الگوریتم پیشنهادی سعی شده است تا تعداد محاسبات برای دست‌یابی به هدف کم باشد تا الگوریتم قابلیت استفاده در مسائل با اندازه های بزرگ را نیز داشته باشد. و بتواند در کاربردهای عملی مورد استفاده قرار گیرد. از سوی دیگر تلاش شده است تا الگوریتم به گونه‌ای طراحی شود تا جواب حاصله به جواب بهینه در مسائل بزرگ بسیار نزدیک باشد.

لازم به ذکر است که الگوریتم پیشنهادی حاصل تلاش و آزمون دهها روش مختلف بوده که از میان کلیه آنها، روش زیر بخاطر نو بودن، تعداد کم محاسبات مورد نیاز و نزدیکی جواب‌های بدست آمده به هدف بهینه انتخاب شده است.

## ۲ - هدف الگوریتم پیشنهادی

حداقل کردن مدت زمان انجام کار  $F_{max}$

## ۳ - فرضیات اساسی

فرضیات مسئله به سه دسته به ترتیب زیر در نظر گرفته شده است.

- ۱- فرضیات در مورد کارها
- ۲- فرضیات در مورد ماشین آلات
- ۳- فرضیات در مورد عملیات

### ۱ - فرضیات اساسی در مورد کارها

- ۱/۱- n کار در سیستم موجود است.
- ۱/۲- کلیه کارها از یکدیگر مستقل هستند.
- ۱/۳- کلیه کارها و ماشین‌های مورد بررسی بطور همزمان و در زمان صفر ( $r = 0$ ) آماده می‌باشند.
- ۱/۴- هر کار نمی‌تواند در یک لحظه بر روی بیش از یک ماشین قرار گیرد.
- ۱/۵- هر کار به محض شروع تا پایان عملیات مربوطه نمی‌تواند متوقف شود.

۱/۶- توالی عملیات لازم برای هر کار بر روی کلیه ماشین آلات از قبل تعیین شده و انجام کار به شیوه های دیگر مجاز نمی باشد.

۱/۷- هر کار می تواند تا آماده شدن ماشین بعدی برای پذیرش آن متوقف شود و یا بعبارتی انباری در جریان تولید مجاز می باشد.

۱/۸- کلیه کارها دارای مدت زمان تحویل (di) ثابت می باشند.

## ۲- فرضیات اساسی در مورد ماشین آلات

۲/۱- سیستم m ماشین جهت برنامه ریزی موجود است.

۲/۲- کلیه کارها دائماً برای عملیات آماده می باشند. توقف های ناشی از خرابی و تعمیرات و نگهداری در نظر گرفته نشده است.

۲/۳- هر ماشین در هر لحظه فقط می تواند یک کار را انجام دهد.

۲/۴- ماشین آلات به علت آماده نبودن کارها می تواند متوقف و بیکار باشند.

۲/۵- ماشین مستقل از ماشین آلات دیگر بوده و می تواند با حداکثر ظرفیت خود عمل نماید.

## ۳- فرضیات اساسی در مورد عملیات

۳/۱- زمان لازم برای انجام هر کار P مشخص، قطعی و مستقل از ترتیب انجام کارها است.

۳/۲- زمان های لازم برای حمل و نقل بین ماشین آلات و زمان آماده سازی ماشین آلات برای پذیرش کار جدید در مدت زمان انجام کار منظور شده است و یا به عبارتی دیگر زمان ها مستقل از ترتیب انجام کارها است.

## ۴- روش حل الگوریتم پیشنهادی

در این الگوریتم ابتدا فرض می شود که هر کار بر روی هر ماشین بطور مستقل و جداگانه ساخته می شود.

آنگاه یک کار (Ji) را بعنوان اولین کار در برنامه فرض می نمایم سپس باقی کارها را بر مبنای کوچکترین تا بزرگترین زمان ساخت بر روی هر ماشین مرتب کرده زمان تکمیل هر کاری را بر روی کلیه ماشین آلات محاسبه می نمایم. آنگاه به غیر از محل کار فرض شده محل باقی کارها را از کوچکترین تا بزرگترین مرتب می نمایم. در مرحله بعد  $F_{max}$  را برای ترتیب یاد شده حساب می کنیم این عمل را برای سایر کارها بعنوان اولین کار در برنامه ریزی حساب کرده آنگاه توالی که دارای کوچکترین  $F_{max}$  را بعنوان مناسب ترین کار برای قرار گرفتن در اولین مرحله از برنامه ریزی انتخاب می نمایم. این عمل برای تعیین محل باقی کارها تکرار می شود.

## مراحل حل الگوریتم بصورت زیر خواهد بود

۱- ابتدا یک کار را انتخاب و فرض می کنیم در برنامه اولین کار باشد.

۲- باقی کارها بر روی هر ماشین از کوچکترین تا بزرگترین  $p_i$  مرتب کرده مقدار flow time آنها را در هر ستون محاسبه می کنیم.

۳- سپس مقادیر مجموعه F هر کار را بر روی کلیه ماشین آلات در هر سطر را محاسبه می کنیم.

۴- کارها را بترتیب کوچکترین مجموعه F تا بزرگترین F برنامه ریزی می کنیم.

۵-  $F_{max}$  را برای توالی بدست آمده در مرحله ۴ محاسبه می کنیم.

۶- مراحل ۵ تا ۱ را برای باقی کارها تکرار می کنیم.

۷- توالی که دارای کوچکترین  $F_{max}$  باشد را بعنوان بهترین محل قرار گرفتن اولین کار انتخاب می کنیم.

۸- این عمل را آنقدر تکرار می کنیم تا محل قرار گرفتن سایر کارها معلوم شود.

## مثال نمونه

مثال زیر را که سه کار  $J_1, J_2, J_3$  باید بر روی سه ماشین به ترتیب  $m_1, m_2, m_3$  فرایند شوند را در نظر بگیرید زمان فرایند هر کار بر روی هر ماشین بصورت ماتریس زیر می باشد.

ماشین کار	M1	M2	M3
J1	۳	۹	۵
J2	۹	۵	۸
J3	۵	۶	۶

## حل

۱- ابتدا کار اول (J1) را به عنوان اولین کار در برنامه ریزی فرض می کنیم:  
J1 , ----- , -----

۲- باقی کارها J2 و J3 را بر مبنای SPT بر روی هر ماشین بطور جداگانه مرتب کرده F آنرا محاسبه می کنیم نتایج آن در جدول زیر دیده می شود.

ماشین کار	M1	M2	M3	
J1	-	-	-	-
J2	۱۴	۵	۱۴	۳۳
J3	۵	۱۱	۶	۲۲

۳- سپس مجموع F های هر کار را بر روی کلیه ماشین آلات محاسبه می کنیم.

$$J2 = (1 + 9 + 5) = 15$$

۴- کارها را بر مبنای کوچکترین مجموعه F تا بزرگترین برنامه ریزی می کنیم. یعنی:  
J1, J3, J2

۵-  $F_{max}$  ترتیب برنامه ریزی شده در مرحله ۴ را محاسبه می کنیم. برای ترتیب توالی J2 و J3 و J1

$$J1, J2, J3 \\ F_{max} = 20$$

۶- مراحل ۵-۱ با فرض آنکه J2 اولین کار در برنامه ریزی باشد را تکرار می کنیم. نتایج جداول حاصله بصورت زیر خواهد بود.

= برای توالی J1 و J3 و J2 مقدار  $F_{max}$  برابر با ۱۵ خواهد شد.

= با فرض آنکه J3 اولین کار باشد توالی و مقدار  $F_{max}$  آن بصورت زیر خواهد بود.

$$J3, J1, J2 = 18$$

با توجه به اطلاعات فوق دیده می شود که اگر J1 اولین کار باشد  $F_{max} = 20$  و در صورتیکه J2 اولین کار  $F_{max} = 15$  و

چنانچه J3 اولین کار باشد  $F_{max} = 18$  خواهد بود.

بنابراین کوچکترین مقدار  $F_{max}$  یعنی زمانیکه J2 اولین کار باشد را انتخاب کرده و در کلیه مراحل بعدی برنامه ریزی J2

را به عنوان اولین کار در نظر می گیریم.

حالا با تعیین اولین کار کلیه مراحل ۵-۱ را برای تعیین دومین کار تکرار می کنیم که محاسبات آن بصورت زیر خواهد بود.

۱- J1 را به عنوان دومین کار فرض می کنیم: توالی و مقدار  $F_{max}$  آن بصورت زیر خواهد بود:

J2, J1, J3 Fmax = ۱۴

۲- در صورتیکه J3 به عنوان دومین کار باشد توالی و مقدار Fmax آن بصورت زیر خواهد بود:

J2, J3, J1 Fmax = ۱۵

تذکر: ملاحظه می شود که بعضی از محاسبات قبلاً انجام شده و احتیاج به محاسبه مجدد ندارد مانند محاسبه فوق که در مرحله ۵ در صفحه قبل انجام شده بود.

۳- با توجه به اطلاعات فوق بهترین کار برای مرحله دوم برنامه ریزی J1 می باشد.

۴- تعیین کار بعدی احتیاج به محاسبه نداشته زیرا تنها یک کار یعنی J3 باقی مانده است که در مرحله آخر انجام خواهد شد. در نتیجه توالی کار بصورت زیر خواهد بود:

J2, J1, J3

همانطور که دیده می شود مقدار Fmax آن برابر با ۱۴ می باشد.

## تعداد عملیات

تعداد عملیات لازم برای حل الگوریتم پیشنهادی از رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{n(n+1)}{2} - 1$$

n در این رابطه تعداد کارهای مورد بررسی می باشد. یکی از ویژگی های الگوریتم پیشنهادی آنست که تعداد عملیات لازم برای دست یابی به جواب نسبت به روش شمارش صریح بسیار کمتر است. جدول مقایسه ای زیر نشان می دهد که تعداد عملیات لازم بخصوص هرچه اندازه مسئله بزرگتر می شود بطور نسبی کوچکتر می گردد.

تعداد برنامه در الگوریتم پیشنهادی	تعداد برنامه های ممکنه در F باروش شمارش صحیح n	تعداد کارها
۹	۲۴	۴
۲۵	۴۰۳۲۰	۸
۵۴	۳۶۲۸۸۰۰	۱۰
۲۰۹	۲۴۳۲۹۰۲۰۰۸ * ۱۰	۲۰
۴۶۴	۲۶۵۵۲۸۵۹۸ * ۱۰	۳۰
۸۱۹	۸۱۵۹۱۵۲۸۲۸ * ۱۰	۴۰

در این الگوریتم تعداد عملیات مستقل از تعداد ماشین آلات بوده و تنها عامل تعیین کننده در میزان عملیات تعداد کارها است.

سادگی محاسبات و تعداد کم آنها سبب می شود تا علاوه بر سرعت در برنامه ریزی، هزینه های مربوط به زمان لازم برای محاسبات کامپیوتری نیز کاهش یابد.

همانطور که در مثال نمونه دیده شد، بعد از چند مرحله تعدادی از محاسبات انجام شده در مراحل اولیه، در مراحل بعدی تصمیم گیری مورد استفاده قرار می گیرد و این امر خود سبب می شود تا در عمل تعداد محاسبات کمتر از مقداری که بوسیله رابطه فوق تعریف شده است باشد.

## ۵- روش آزمون

به منظور آزمون کارائی الگوریتم های طراحی شده معمولاً از دو روش کلی استفاده می شود.

در این پژوهش روش های معمول در ارزیابی ها مورد بررسی قرار گرفتند و با توجه به محدودیت های هر یک بشرح زیر از آنها استفاده شده است:

## ۱-۵ - جواب بهینه معلوم

در حالاتی که جواب بهینه برای مسائل مورد ارزیابی در اختیار باشد و یا امکان محاسبه آن وجود داشته باشد جواب‌های حاصله از الگوریتم پیشنهادی را با جواب بهینه مقایسه کرده و درجه خطای آنرا به منظور شناسایی میزان انحراف آن از جواب بهینه اندازه‌گیری می‌نمایند.

همانطور که توضیح داده شده مسئله مورد بررسی در زمره مسائل NP-Hard بوده و از این روی دست‌پایی به جواب بهینه برای آن جزء از طریق روش شمارش صریح امکان‌پذیر نمی‌باشد و این امر در مسائل بزرگ حتی با استفاده از کامپیوترهای سریع به سبب گستردگی عملیات تقریباً "غیر ممکن است".

## ۲-۵ - جواب بهینه نامعلوم

در شرایطی که امکان دست‌یابی به جواب بهینه (مانند حالت فوق) میسر نباشد، می‌توان الگوریتم مورد بررسی را با بهترین جواب‌های نزدیک به بهینه مقایسه نمود.

در این حالت به منظور آزمون کارائی مدل ارائه شده اقدام به مقایسه آن با الگوریتم‌هایی که کارائی آنها در آزمون‌های انجام شده قبلی به اثبات رسیده است، می‌شود.

از این روش در اکثر قریب به اتفاق پژوهش‌های به چاپ رسیده استفاده شده است. در پژوهش حاضر از آنجائیکه امکان استفاده از روش اول تقریباً غیرممکن بود، اقدام به استفاده از روش دوم شد. و لذا سه الگوریتم مشهور CDS, NEH, PALMER با توجه به مشخصات و ویژگی‌های آزمون شده آنها در تحقیقات موجود، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت.

لازم به ذکر است که دو الگوریتم CDS و NEH به خاطر دقت فراوان در ارائه جواب مورد بررسی و الگوریتم PALMER به خاطر سرعت و تعداد کم محاسبات لازم برای دست‌یابی به جواب مورد نظر انتخاب شده‌اند.

## مشخصات الگوریتم‌های مورد بررسی

### ۱- الگوریتم CDS

این روش اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط Campell, Dudek and Smith بر مبنای ایده مشهور الگوریتم دو ماشین جانسون برای حل مسائل  $N/M/F/Fmax$  طراحی و ارائه شد. [۵]

ایشان الگوریتم پیشنهادی خود را بطور گسترده‌ای مورد آزمون قرار داده و به این نتیجه رسیدند که «این روش کارآمدترین الگوریتم برای حل مسائل مربوط به Flow time است». [۵]

Baker روش CDS را با مجموعه از روش‌ها مانند الگوریتم‌های palmer و Gupta مقایسه نموده و چنین نتیجه‌گیری می‌کند که: «الگوریتم CDS بطور کلی برای مسائل کوچک و بزرگ بسیار کارآمد می‌باشد». [۶]

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که هیچ روشی قابل مقایسه با روش CDS برای حل مسائل مربوط به Flow time نیست. [۶]

با توجه به مشخصات فوق‌الذکر الگوریتم CDS بعنوان یک الگوریتم کارآمد از نظر جواب Fmax جهت مقایسه با الگوریتم پیشنهادی انتخاب شده است.

### ۲- روش palmer

این روش به منظور دست‌یابی سریع به جواب مسائل  $n/m/F/Fmax$  طراحی شده است. وی از این روش بنام A quick method of obtaining a near optimum یاد می‌کند.

در این روش اولویت به کارهایی داده می‌شود که زمان ساخت آنها از یک ماشین به ماشین بعدی افزایش می‌یابد.

Dannenbring تعداد ۱۲۸۰ مسئله  $m \leq 10$  و  $n \leq 6$  را با روش پالمر حل کرده و نتیجه‌گیری می‌کند که: «در ۳۰ درصد حالات این روش جواب بهینه را در اختیار قرار داده و یکی از سریع‌ترین روش‌ها در حل اینگونه مسائل است.» [۷]. همانطور که ذکر شد این روش بخاطر سرعت و کمی زمان لازم برای محاسبه انتخاب شده است.

### ۳- روش NEH

این روش در سال ۱۹۸۳ توسط NAWS, M. ENSCORE, E. HAM, I. از دانشگاه پنسیلوانیا برای حل مسائل  $n$  کار و  $m$  ماشین در سیستم Flow shop برای حداقل نمودن  $F_{max}$  طراحی شد. پارک شانزده الگوریتم از الگوریتم‌های موجود در Flow shop را مورد مطالعه قرار داده که الگوریتم NEH جزء یکی از این شانزده الگوریتم بود و چنین نتیجه‌گیری می‌نماید. «واضح است که NEH بهترین کار آزمایش شده بر روی مسائل Flow shop در اندازه‌های ۳ تا ۹ کار و ۴ تا ۲۰ ماشین است.» [۸]. در مطالعه دیگری که توسط ستاپورتا (Setiapurta) انجام شده است مجموعاً ۲۷۶۴ مسئله Flow shop در اندازه‌های متنوع از ۴ تا ۲۵ حل شده است. وی نتیجه‌گیری می‌کند که «روش پیشنهادی بی‌نهایت بهتر عمل می‌کند.» [۹]. مبتکرین این روش در مقاله خود چنین نتیجه‌گیری می‌نمایند که الگوریتم از نظر فهم و بکارگیری آن ساده بوده و همچنین جواب‌های محدوده ۴ تا ۲۵ ماشین و ۳ تا ۱۰ کار نسبت به الگوریتم CDS و سایر الگوریتم‌های موجود بسیار بهتر است [۷].

### ۶- تولید داده‌ها

از آنجائیکه جمع‌آوری اطلاعات واقعی در حجم لازم برای آزمون پژوهش حاضر تقریباً غیرممکن بود، لذا با استفاده از روش تولید اعداد تصادفی بشرح زیر اقدام شد:

#### ۶-۱- تعیین اندازه مسئله

برای تعیین اندازه مسئله جهت مقایسه اقدام به تولید اعداد تصادفی با استفاده از کامپیوتر شده و اعدادی بین ۱ تا ۹۹ بطور تصادفی برای تعیین اندازه کارها  $n$  و ماشین‌ها  $m$  شد. بدین طریق ۲۰ عدد برای  $n$  و  $m$  تولید شد که هر یک از این اعداد  $(n, m)$  بیانگر اندازه یک مسئله است.

#### ۶-۲- تولید داده‌های مسئله

بعد از تعیین اندازه مسئله‌ها یعنی مشخص نمودن تعداد کارها  $(n)$  و تعداد ماشین آلات  $(m)$  برای هر مسئله مقدار  $p_{ij}$  با استفاده از مولد اعداد تصادفی بین ۱-۹۹ تولید گردید. سپس برای هر اندازه از مسائل یکصد بار بطور تصادفی مقدار  $p_{ij}$  تولید شد. مسائل بدست آمده در قسمت قبل بطور مستقل با هر چهار الگوریتم باد شده حل شد، بدین ترتیب ۸۰۰ مسئله برای اندازه‌های کوچک، ۶۰۰ مسئله برای اندازه‌های متوسط و ۶۰۰ مسئله برای اندازه‌های بزرگ حل شد. بدین شکل ۲۰۰۰ مسئله با هر چهار الگوریتم فوق‌الذکر بطور جداگانه حل و نتایج حاصله در فایلی در حافظه جانبی کامپیوتر ضبط و نگهداری گردید.

### ۷- پارامترهای مورد بررسی

به منظور ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی چهار پارامتر زیر انتخاب شد.

۱-  $F_{max}$

۲- زمان محاسبه



۳- تعداد عملیات

۴- تعداد تکرارهای انجام شده

این چهار پارامتر برای هر یک از ۲۰۰۰ مسئله و با هر چهار الگوریتم فوق الذکر بطور جداگانه محاسبه و در جداول ضمیمه ثبت گردید.

### ۷-۱ - محاسبه مقدار $F_{max}$

از آنجائیکه هدف اصلی از ارائه الگوریتم دست یابی به جواب  $F_{max}$  مناسب است. این مقدار برای الگوریتم‌های چهارگانه فوق الذکر محاسبه شد.

### ۷-۲ - زمان لازم برای دست یابی به جواب نهایی

سرعت الگوریتم‌ها در حل مسائل یکی دیگر از شاخص‌های عمده ارزیابی است. از این نظر این پارامتر نیز برای هر چهار الگوریتم، محاسبه و در فایل مربوطه نگهداری شد.

### ۷-۳ - تعداد عملیات محاسباتی برای دست یابی به جواب نهایی

یکی دیگر از شاخص‌های ارزیابی یک الگوریتم تعداد و سادگی عملیات ریاضی لازم برای دست یابی به هدف مدل می‌باشد. در این پژوهش، منظور از عملیات محاسباتی، عملیات جمع، تفریق، ضرب، تقسیم و مقایسه است. کلیه این عملیات برای حل هر مسئله بوسیله هر چهار روش اندازه‌گیری و در یک فایل نگهداری شد.

### ۷-۴ - تعداد تکرارهای ایجاد شده

در حل مسائل بوسیله الگوریتم‌های فوق ابتدا تعدادی توالی محاسبه شده سپس از طریق مقایسه بین آنها بهترین جواب بدست می‌آید.

از این نظر تعداد تکرارهای ایجاد شده نیز بعنوان یک شاخص تعیین‌کننده در درجه کارایی مدل در این پژوهش اندازه‌گیری شد.

گروه اول		گروه دوم		گروه سوم	
تعداد ماشین	تعداد کار	تعداد ماشین	تعداد کار	تعداد ماشین	تعداد کار
m	n	m	n	m	n
۲	۲	۱۰	۱۰	۶۰	۴۰
۱۵	۲	۵۰	۱۰	۳۴	۴۴
۱۰	۳	۳	۱۳	۵۷	۴۹
۱۸	۳	۳۰	۲۰	۵۰	۵۰
۲	۴	۱۰	۳۰	۶۴	۵۳
۵	۵	۳۰	۳۰	۶۵	۶۵
۱۶	۵				
۳	۸				

## ۸ - روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

به منظور بررسی کارایی الگوریتم ارائه شده از دو روش تجزیه و تحلیل زیر استفاده شده است:

۱- تجزیه و تحلیل آماری

### ۱-۸ - تجزیه و تحلیل آماری

در تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات بدست آمده و مقایسه الگوریتم پیشنهادی با سایر الگوریتم‌ها از نرم افزار Statgraph نسخه ۳/۱ استفاده شد. در این نرم افزار فایل‌های اطلاعات ایجاد شده با فرمت خاصی تحت شرایط محیط آن ذخیره می‌شوند که در این حالت ابتدا باید فایل‌های ایجاد شده توسط برنامه را با استفاده از امکانات Import قابل استفاده در محیط Statgraph نمود. بعد از انجام این عمل شش مشخصه آماری بشرح زیر توسط نرم افزار مزبور جهت تجزیه تحلیل‌های آماری بعدی محاسبه شد.

۱- min : حداقل اعداد در هر اندازه از مسائل حل شده

۲- max : حداکثر اعداد در هر اندازه از مسائل حل شده

۳- mean : میانگین حسابی اعداد در هر اندازه

۴- Range : دامنه تغییرات اعداد در هر اندازه

۵- std-dev : انحراف معیاری اعداد در هر اندازه

۶- mode : نما اعداد در هر اندازه

مشخصه‌های آماری فوق‌الذکر به ترتیب زیر محاسبه و بدست آمد:

۱- برای هر اندازه از مسائل حل شده

۲- برای هر گروه از مسائل مورد بررسی (گروه‌های کوچک، متوسط و بزرگ)

۳- برای کل مسائل حل شده

همچنین مشخصه‌های آماری فوق‌الذکر برای هر الگوریتم و برای هر پارامترهای مورد بررسی (Fmax, Time, Number of operations, Number of sequence) بطور جداگانه محاسبه شد.

### ۲-۸ - تجزیه و تحلیل شاخص‌های کارائی

در پژوهش حاضر علاوه بر تجزیه و تحلیل مشخصه‌های آماری فوق‌الذکر دو دسته شاخص کارائی بشرح زیر تعریف و اطلاعات بدست آمده از حل مسائل بوسیله این دو شاخص نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

#### الف - شاخص‌های کارائی ( $\beta$ )

این شاخص کارائی نشان دهنده نسبت متوسط بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی به سایر الگوریتم‌ها است. این شاخص بنام شاخص  $\beta$  نام گذاری شده و از رابطه زیر بدست می‌آید.

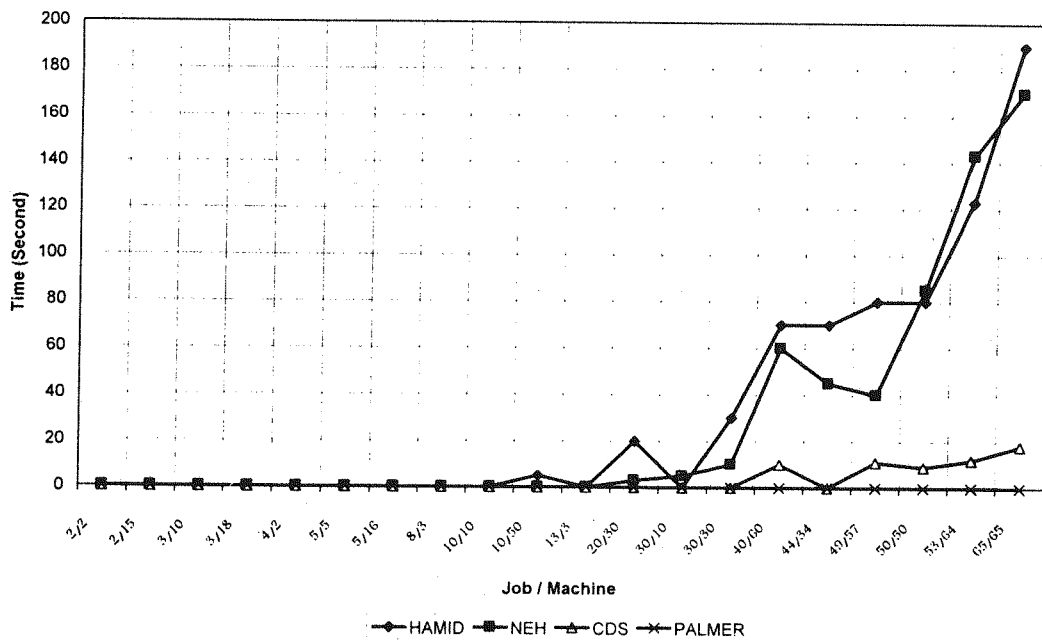
$$\beta = \frac{H}{CDS}$$

هرچه مقدار این شاخص کوچکتر از عدد یک باشد  $\beta < 1$  نشان دهنده آنست که الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم مورد بررسی دارای عملکردی بهتر است.

و در صورتی که مقدار آن برابر با عدد یک باشد،  $\beta = 1$  نشان دهنده آنست که این دو الگوریتم دارای کارائی یکسان می‌باشند و در حالیکه مقدار آن بزرگتر از عدد یک باشد  $\beta > 1$  نشان دهنده آنست که الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم مورد بررسی دارای عملکردی ضعیف‌تر است.

این شاخص به ترتیب برای تعیین درجه کارائی  $F_{max}(\beta)$ ، برای تعیین درجه کارائی زمان (BT) و برای تعیین درجه کارائی تعداد عملیات محاسباتی  $\beta_0$  محاسبه شده است.

همچنین کلیه شاخص‌های فوق‌الذکر برای هر گروه از مسائل حل شده و برای کل مسائل حل شده اندازه‌گیری و مورد



### ب - شاخص درصد بهبود عملکرد ( $\alpha$ )

از رابطه زیر برای محاسبه درصد بهبود عملکرد الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم های مورد سنجش استفاده شده است و از آن بعنوان شاخص  $\alpha$  یاد شده است.

$$\alpha = \frac{F - FH}{FH} \times 100$$

شاخص  $\alpha$  برای پارامترهای مورد بررسی و همچنین برای هر گروه و کل مسائل حل شده محاسبه و تجزیه و تحلیل شده است.

### ۹ - پردازش داده ها

به منظور تهیه و پردازش داده ها از زبان برنامه نویسی Turbopascal نسخه ۵/۵ و نرم افزار آماری Statgraph نسخه ۳/۱ در این پژوهش استفاده شده است. این برنامه بر روی کامپیوترهای pc با حداقل ۶۴۰ کیلوبایت حافظه و ۳۶۰ کیلو بایت حافظه جانبی (دیسکت) قابل اجرا است. لیست برنامه های مورد استفاده در این پژوهش در صورت نیاز موجود است.

### بررسی زمان محاسبات

در بررسی عامل زمان باید به این نکته توجه داشت، که سرعت و مدت زمان لازم برای دستیابی به جواب مسئله وابسته به سرعت کامپیوتر مورد استفاده می باشد. از این نظر هرچه سرعت کامپیوتر مورد استفاده بیشتر باشد، امکان دسترسی سریع تر به جواب میسرتر است.

مقایسه نسبی زمان های لازم در این آزمون و بر روی نمودار شماره ۲ نشان می دهد که متوسط زمان لازم برای حل الگوریتم های چهارگانه فوق الذکر در آزمون های شماره ۱ الی ۱۱ و در حل ۱۱۰۰ مسئله تقریباً یکسان بوده و بر روی یکدیگر قرار دارند و حداکثر زمان مربوط به روش NEH، زمانی برابر با ۰/۸۳ ثانیه است. با افزایش اندازه مسئله، زمان لازم برای

روش‌های CDS و P نسبت به روش‌ها NEH و پیشنهادی به مراتب کمتر است اگرچه این فاصله بر روی نمودار شماره ۲ به نظر زیاد می‌رسد، ولی حداکثر مقدار آن ۱۹۸/۹۳ ثانیه می‌باشد که این مقدار با توجه به بهبود حاصله در جواب Fmax مورد نظر بسیار کم می‌باشد. همانطور که قبلاً نیز توضیح داده شد. در صورت استفاده از کامپیوترهای سریعتر این مقدار به مراتب کاهش خواهد یافت. ولی بهر حال با توجه به حداکثر مدت زمان فوق الذکر و نتایج بدست آمده این فاصله زمانی قابل توجهی می‌باشد.

## بررسی تعداد عملیات محاسباتی

در بررسی تعداد عملیات لازم برای دستیابی به جواب حاصله بعنوان یک شاخص تعیین‌کننده در درجه کارآئی یک مدل نمودار شماره ۳ برای کل مسائل حل شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در بررسی این نمودار ملاحظه می‌شود که تعداد عملیات لازم برای حل مسئله در آزمون‌های شماره ۱ تا ۱۱ تقریباً با یکدیگر برابرند ولی با افزایش اندازه مسئله تعداد عملیات لازم برای دو الگوریتم پیشنهادی و NEH نسبت به الگوریتم‌های P و CDS افزایش می‌یابد.

جدول شاخص عملکرد و درصد بهبود در معیار Fmax.

ردیف	اندازه مسئله	پارامتر مورد بررسی	نسبت به الگوریتم	شاخص عملکرد	درصد بهبود
۱	گروه مسائل کوچک	Fmax	CDS	۰/۹۷	۱/۵
			NEH	۰/۹۸	۲/۹
			P	۰/۹۶	۳/۹
۲	گروه مسائل متوسط	Fmax	CDS	۰/۸۳	۱۹/۹
			NEH	۰/۹۱	۹/۶
			P	۰/۸۴	۱۸/۸
۳	گروه مسائل بزرگ	Fmax	CDS	۰/۸۵	۱۶/۹
			NEH	۰/۹۵	۴/۶
			P	۰/۸۶	۱۵/۹
۴	کل مسائل مورد بررسی	Fmax	CDS	۰/۸۵	۱۶
			NEH	۰/۹۴	۵/۸
			P	۰/۸۶	۱۵/۷

همانطور که بر روی نمودار ذیل مشهود است تعداد عملیات لازم برای روش پیشنهادی همواره کمتر از تعداد آن در روش NEH است. با توجه به اینکه جواب‌های حاصله در روش پیشنهادی نسبت به روش NEH ۵/۸ درصد بهتر می‌باشد (جدول شماره ۱) و همانطور که ملاحظه می‌گردد تعداد عملیات در روش پیشنهادی نیز همواره کمتر می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی از لحاظ جواب بدست آمده و عملیات محاسباتی بهتر از روش NEH عمل می‌نماید.

## ۱۰- نتیجه گیری

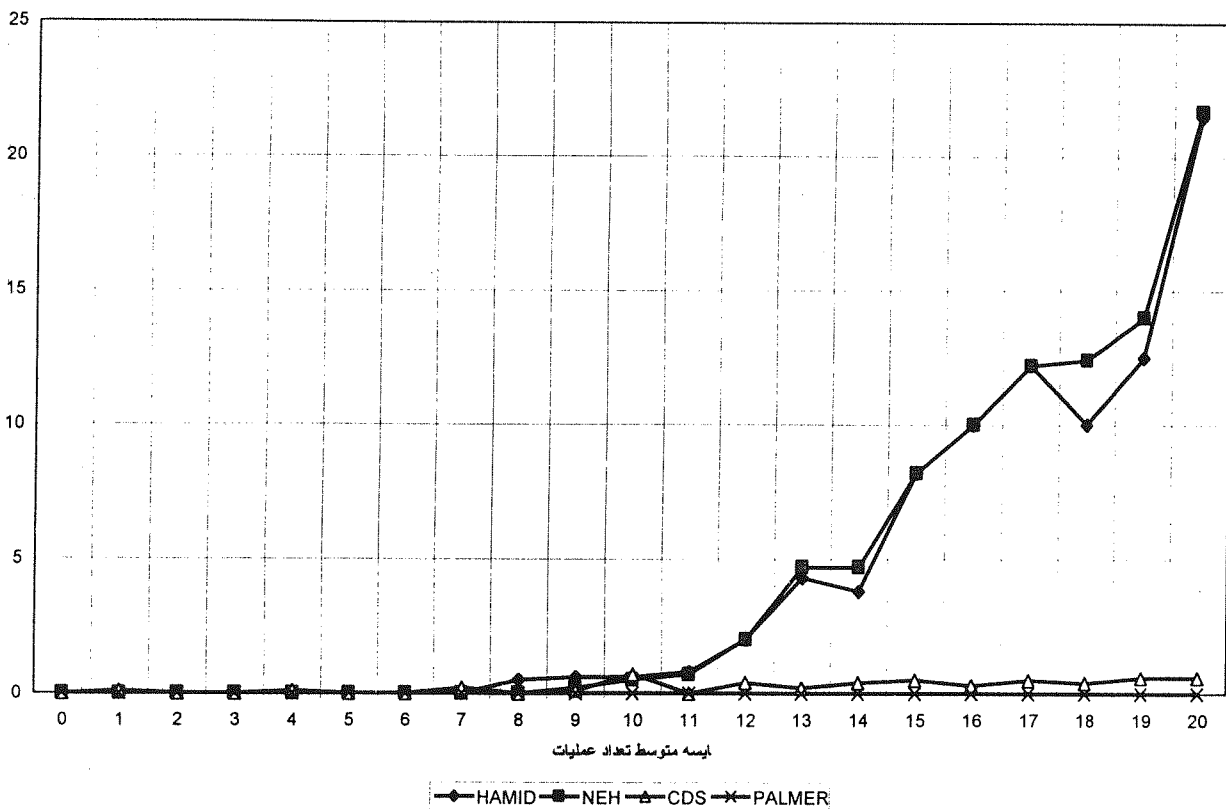
محاسبه و بررسی ۲۰۰۰ مسئله در ۲۰ اندازه متفاوت نتایج زیر را از ابعاد مختلف بدست داده است.

### بررسی شاخص Fmax

تجزیه و تحلیل نمودار شماره ۱ نشان می‌دهد که متوسط جواب‌های بدست آمده از این آزمون در ۹ اندازه اولیه بر یکدیگر منطبق بوده و از آنجائیکه روش CDS در اندازه ۲ ماشین جواب بهینه را در اختیار قرار می‌دهد پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که الگوریتم پیشنهادی نیز در این اندازه جواب بهینه را در اختیار قرار می‌دهد.

از آزمون شماره ۹ به بعد همانطور که بر روی نمودار شماره ۱ دیده می‌شود جوابهای بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی همواره بهبود یافته و هرچه اندازه مسئله بزرگتر می‌گردد کارآئی عملکرد الگوریتم پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های مورد مقایسه بهتر می‌شود.

بررسی شاخص  $\beta F$  در جدول شماره ۱ نشان می‌دهد که در کل شاخص  $\beta F$  برای الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش CDS برابر با  $78.5\%$  و  $\beta F$  نسبت به روش NEH برابر با  $94\%$  و نسبت به روش P برابر  $86.0\%$  است. این امر بیانگر آنست که جوابهای بدست آمده از طریق الگوریتم پیشنهادی به ترتیب بهتر از CDS، P و آنگاه NEH است.



### بررسی شاخص درصد بهبود $\alpha$

همچنین بررسی شاخص درصد بهبود ( $\alpha$ ) در جدول شماره ۱ نشان می‌دهد که عملکرد این الگوریتم در کل نسبت به الگوریتم CDS، ۱۶ درصد و نسبت به الگوریتم P، ۱۵/۷ درصد و نسبت به الگوریتم NEH، ۵/۸ درصد بهتر است. همانطور که در این جدول دیده می‌شود درصد بهبود در اندازه‌های کوچک کم و هرچه اندازه مسئله بزرگتر می‌شود درصد بهبود جواب‌های حاصله از الگوریتم پیشنهادی نیز افزایش می‌یابد.

### مراجع

- [1] Conway, R.W., Maxwell, W.L., and Miller, L.W. "The Theory of scheduling," Addison, Wesley, Mass., 1967.
- [2] Elmaghraby, Salah. "Sequencing Theory, Economics and mathematical system." Spring 1972.
- [3] Campbell, H.G., Dudek, R.A. and Smith, M.L. "A heuristic algorithm for the n.job, m, "machine" Mgmtsc, 1970.

- [1] Conway, R.W., Maxwell, W.L., and Miller, L.W. "The Theory of scheduling," Addison, Wesley, Mass., 1967.
- [2] Elmaghraby, Salah. "Sequencing Theory, Economics and mathematical system." Spring 1972.
- [3] Campbell, H.G., Dudek, R.A. and smith, M.L. "A heuristic algorithm for the n,job, m, "machine" Mgmtsc, 1970.
- [4] French, Simon, "sequencing & scheduling. "Ellis, Horwood. west susser, England 1982.
- [5] Campbell, H.G., Dudek, R.A. and smith, M.L." A heuristic algorithm for the n job; m Machine "Mgmtsc, 1970.
- [6] Baker. Kenneth R. "Introduction to sequencing and scheduling ", New york: John wiley & sons, 1974.
- [7] Nawz M.Enscore, Ham. "A Heuristic Algorithm for the N/M/F/Fmax OMEGA, vol, 11, No.1, 1983.
- [8] Park, R. "Search and selection of flow shop sequencing Rules "Management science 21 No.7 March 1989.
- [9] Setiapurta, W. "An Experimental Investigation and comparative Evaluation of flow shop Heuristics" Industrial Engineering, oct 1989.