

## تخمین سرمایه‌گذاری ثابت در صنایع فرایندی و اهمیت آن

محمدرضا شعبانی\*

مسئول پروژه و عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

دریافت: ۹۲/۶/۱۰ پذیرش: ۹۲/۹/۲۳

### چکیده

انتخاب روش تخمین قیمت یک پروژه به میزان پیشرفت در طراحی و مهندسی آن پروژه بستگی دارد. روش‌های اصلی تخمین قیمت در صنایع فرایندی و اجزای سرمایه‌گذاری ثابت در این مقاله معرفی می‌شوند. روش‌های مورد بررسی شامل روش اعمال ضریب بر روی ظرفیت، اعمال ضریب بر روی تجهیزات، مدل‌های پارامتری، روش نیمه‌تفصیلی و روش تفصیلی است. در این مقاله به چگونگی استفاده از روش‌های تخمین قیمت در مراحل مختلف طراحی یک پروژه اشاره می‌شود.

**کلمات کلیدی:** تخمین قیمت، سرمایه‌گذاری ثابت، صنایع فرایندی

### مقدمه

پروژه بیشتر باشد، تخمین قیمت آن نیز دقیق‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر است. در مراحل پایانی پروژه، یعنی وقتی که طراحی تفصیلی انجام شده باشد، کلیه اجزای آن کارخانه یا پروژه معین و مشخص‌اند؛ لذا می‌توان با استعلام از سازندگان یا مراجعه به بانک‌های اطلاعاتی خاص قیمت دقیق احداث پروژه را تعیین کرد. اما در مراحل اولیه بعد از تعریف پروژه که هنوز اطلاعات طراحی کامل نیست و تنها با استفاده از روش‌های پیش‌بینی و تخمین می‌توان قیمت نهایی احداث کارخانه را حدس زد، روش‌های مختلفی برای این منظور وجود دارند که تقریباً در همه‌ی آن‌ها از فاکتورهای استفاده می‌شود که با استفاده از آن‌ها قیمت تجهیزات مختلف در شرایط مختلف و در نهایت قیمت کارخانه تخمین زده می‌شود.

یکی از اجزای مهم در بررسی فنی و اقتصادی پروژه‌ها تخمین قیمت است که شامل تخمین سرمایه‌گذاری ثابت و تخمین هزینه‌های تولید می‌شود. هرچه دقت و صحت قیمت‌های تخمینی بالاتر باشد، یقیناً اعتبار بررسی اقتصادی انجام‌شده بالاتر خواهد بود. بالعکس چنانچه تخمین قیمت به‌خوبی صورت نگیرد، چه بسا فرصت‌های مناسب سرمایه‌گذاری از بین برود یا باعث صرف وقت و هزینه بر روی پروژه‌های غیراقتصادی شود. دانستن قیمت احداث یک کارخانه به منظور تخصیص بودجه یا تصمیم‌گیری مدیریت برای ادامه یا ختم یک پروژه از اهمیت بسیار زیادی در مباحث امکان‌سنجی فنی و اقتصادی پروژه‌ها برخوردار است. هرچه درصد پیشرفت مهندسی یک

\* shabanimr@ripi.ir

## ۱. سرمایه‌گذاری ثابت

صحبتی نخواهد شد.

وقتی از قیمت احداث یک واحد شیمیایی صحبت می‌شود، منظور سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای سرپا کردن آن واحد است که همان سرمایه‌گذاری ثابت است. هزینه‌های دیگری هم هستند که بعد از راه‌اندازی واحد، وارد عرصه می‌شوند؛ این هزینه‌ها همان هزینه‌های عملیاتی است که در این مقاله از آن‌ها

محور اصلی بحث در این مقاله چگونگی پیش‌بینی سرمایه‌گذاری ثابت با استفاده از قیمت ادوات اصلی فرایندی است. در جدول (۱)، اجزای سرمایه‌گذاری ثابت نشان داده شده است.

جدول ۱: اجزای سرمایه‌گذاری ثابت

| ردیف | اجزا   | شرح   |
|------|--|---|
| ۱    | هزینه‌های مستقیم                                 |   |
| ۱.۱  | قیمت فوب دستگاه                                  | قیمت خریداری شده دستگاه در سایت سازنده (فوب)  |
| ۱.۲  | مواد مورد نیاز برای نصب                          | شامل لوله‌کشی، ایزولاسیون و فونداسیون، ابزار دقیق و برق و رنگ کاری تجهیزات  |
| ۱.۳  | نیروی انسانی مورد نیاز برای نصب دستگاه‌ها و مواد | شامل کلیه‌ی نیروی انسانی مورد نیاز برای نصب دستگاه‌ها و مواد ذکر شده در بند الف و ب فوق   |
| ۲    | هزینه‌های غیرمستقیم                              |   |
| ۲.۱  | حمل، بیمه و مالیات                               | شامل کلیه هزینه‌های مربوط به حمل دستگاه‌ها و مواد به محل کارخانه، کلیه هزینه‌های بیمه روی اقلام حمل شده و هرگونه مالیات در خرید این ادوات   |
| ۲.۲  | سربار ساخت                                       | شامل کلیه هزینه‌های حاشیه‌ای نظیر تعطیلات، مرخصی‌های استعلاجی، سربارهای مربوط به تأمین اجتماعی و بیمه بیکاری پرسنل و حقوق و سربار پرسنل ناظر در محل ساخت پروژه  |
| ۲.۳  | هزینه‌های مهندس پیمانکار                         | شامل حقوق و سربار برای پرسنل مهندسی، نقشه‌کشی و مدیریت پروژه که در پروژه مشغول به کار هستند   |
| ۳    | هزینه‌های پیش‌بینی نشده                          |   |
| ۳.۱  | هزینه‌های پیش‌بینی نشده                          | هزینه‌هایی است برای پوشش موارد دیده نشده که می‌تواند شامل تأخیر زمانی به دلیل شرایط جوی، تغییرات جزئی در طراحی و افزایش قیمت‌های پیش‌بینی نشده باشد   |
| ۳.۲  | هزینه پیمانکار                                   | شامل کلیه هزینه‌های مربوط به پیمانکار به غیر از مهندسی  |
| ۴    | تسهیلات جانبی                                    |   |
| ۴.۱  | توسعه سایت                                       | شامل خرید زمین، آماده‌سازی آن، نصب سیستم‌های برق، گاز، آب، فاضلاب و ساخت کلیه مسیرها و جاده‌های داخلی و پارکینگ   |
| ۴.۲  | ساختمان‌های جانبی                                | شامل دفاتر مدیریت، کارگاه تعمیرات و اتاق کنترل، انبار کالا و ساختمان‌های سرویس، مانند رستوران، بهداشتی و...   |
| ۴.۳  | سرویس‌های جانبی                                  | شامل ذخیره مواد اولیه و محصول نهایی، تسهیلات تخلیه و بارگیری، کلیه تجهیزات مورد نیاز برای تولید سرویس‌های جانبی فرایندی نظیر آب خنک، تولید بخار، سیستم توزیع سوخت و... تسهیلات کنترل محیط زیست مرکزی، نظیر تسویه پساب، دودکش‌ها و... و همچنین سیستم‌های اطفای حریق. |

### ۱.۱. روش اعمال ضریب بر روی ظرفیت

در کلاس ۵، میزان تعریف پروژه حدود (۲-۰) درصد است که در واقع، مرحله انتخاب یک یا چند طرح از میان طرح‌های موجود اولیه است؛ بدین صورت که با غربال کردن با استفاده از روش توان ۰/۶ یا مدل‌های پارامتری، طرح‌های نامناسب کنار گذاشته می‌شود و طرح‌های مناسب‌تر برای بررسی بیشتر وارد مراحل بعدی می‌شوند. در این روش به علت تقریب نسبتاً بالای تخمین، میزان خطا بالاست.

رابطه معروف توان ۰/۶ یا روش CFE<sup>۲</sup> به صورت زیر است:

$$\frac{\$B}{\$A} = \left( \frac{Cap_B}{Cap_A} \right)^{0.6} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، \$B معرف قیمت واحد با ظرفیت \$A و \$A

معرف قیمت واحد با ظرفیت \$A است. برای استفاده از این

همان‌طور که از محتویات جدول فوق پیداست، برای تخمین دقیق سرمایه‌گذاری ثابت به اطلاعات ریز و زیادی نیاز است که اکثر آن‌ها فقط در مراحل طراحی تفصیلی پروژه مشخص خواهند شد. اما در شرایطی که پروژه مراحل آغازین خود را می‌گذراند و تنها طراحی اولیه صورت گرفته است، از این اطلاعات ریز خبری نیست و فقط ساینز تقریبی دستگاه‌ها براساس ظرفیت تولید مشخص می‌شوند. در چنین شرایطی، برای تخمین میزان سرمایه‌گذاری ثابت روش‌هایی وجود دارد که در ادامه به آن‌ها خواهیم پرداخت. طبق تعریف انجمن مهندسين هزینه آمریکا (AACE)<sup>۱</sup> در جدول (۲)، روش‌های مختلف تخمین قیمت در پنج کلاس براساس میزان پیشرفت پروژه نشان داده شده است [۱] که در این جا به اختصار به آن‌ها اشاره می‌شود:

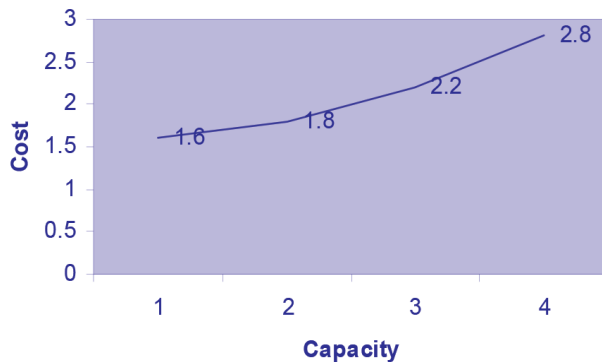
جدول ۲: کلاس‌های تخمین قیمت

| شماره کلاس | مشخصات اولیه                              | هدف از تخمین   | روش تخمین   | محدوده صحت مورد انتظار (حد بالا و پایین)     | مقایسه هزینه تهیه بر آورد قیمت (نسبت به حداقل ضریب هزینه برابر با ۱) |
|------------|---|--|---|--|--|
| کلاس ۵     | سطح تعریف پروژه (بر حسب درصد تکمیل پروژه) | غربال فرایندها در مرحله طراحی مفهومی                       | اعمال ضریب بر روی ظرفیت، مدل‌های پارامتری، مقایسه   | حد پایین: ۲۰٪ تا ۵۰٪<br>حد بالا: ۳۰٪ تا ۱۰۰٪ | ۱  |
| کلاس ۴     | ۱٪ تا ۱۵٪                                 | امکان‌سنجی   | اعمال ضریب بر روی ادوات یا مدل‌های پارامتری         | حد پایین: ۱۵٪ تا ۳۰٪<br>حد بالا: ۲۰٪ تا ۵۰٪  | ۱ تا ۴   |
| کلاس ۳     | ۱۰٪ تا ۴۰٪                                | صدور اجازه تأمین بودجه                                     | تخمین قیمت نیمه تفصیلی براساس قیمت واحدهای فرایندی  | حد پایین: ۱۰٪ تا ۲۰٪<br>حد بالا: ۱۰٪ تا ۳۰٪  | ۳ تا ۱۰  |
| کلاس ۲     | ۳۰٪ تا ۷۰٪                                | کنترل هزینه در خلال اجرای پروژه یا ارائه پیشنهاد یا مناقصه | تخمین قیمت تفصیلی سریع (با تعیین حدودی کالا و مواد) | حد پایین: ۵٪ تا ۱۵٪<br>حد بالا: ۵٪ تا ۲۰٪    | ۲۰ تا ۴  |
| کلاس ۱     | ۵۰٪ تا ۱۰۰٪                               | بررسی تخمین برای ارائه پیشنهاد یا مناقصه                   | تخمین قیمت تفصیلی با تعیین ریز کالا و مواد          | حد پایین: ۳٪ تا ۱۰٪<br>حد بالا: ۳٪ تا ۱۵٪    | ۵ تا ۱۰۰   |

1. American Association of Cost Engineering

2. Capacity Factored Estimation

### Capacity Factored Relationship



شکل ۱: رابطه قیمت و ظرفیت

صورت نموداری داده شده است.

#### ۱.۲. روش اعمال ضریب بر روی قیمت ادوات

کلاس ۴ که در واقع درصد پیشرفت پروژه (۱-۱۵) است، مربوط به وقتی است که در مرحله مطالعات امکان‌سنجی قرار داریم. در این کلاس روش مورد استفاده برای تخمین قیمت، روش اعمال فاکتور بر روی ادوات (EFE) یا مدل‌های پارامتری است. میزان خطا در این کلاس نسبت به کلاس پنجم کمتر است، به طوری که حد پایین خطای آن تا ۳۰- درصد و حد بالای آن تا ۵۰+ درصد می‌رسد. در صورت مثبت بودن نتیجه امکان‌سنجی در این مرحله، اجازه داده می‌شود تا طراحی و مهندسی برای تخمین کلاس (۳) انجام شود. در بخش بعدی، در مورد تخمین قیمت پارامتری و اهمیت آن بیشتر بحث خواهد شد.

در روش اعمال فاکتور روی ادوات، قیمت ادوات اصلی باید مشخص باشد و سپس با اعمال ضرایبی بر روی آن‌ها می‌توان به قیمت کل پلنت دست یافت.

ساده‌ترین روش اعمال فاکتور بر روی ادوات (EFE) روش ضریب لنگ<sup>۲</sup> است که از رابطه زیر تبعیت می‌کند:

$$TPC = (TEC) \cdot (E.F) \quad (۳)$$

در رابطه فوق، TPC معرف قیمت کل پلنت، TEC قیمت کل ادوات و E.F فاکتور مربوط به نوع فرایند است که به صورت

رابطه، باید قیمت پلنت در یک ظرفیت مشخص (پایه) موجود باشد تا بتوان قیمت پلنت را با ظرفیت جدید به دست آورد. یکی از ویژگی‌های این روش خطی بودن آن است؛ وقتی از طرفین رابطه لگاریتم بگیریم، خواهیم داشت:

$$\ln(\$B) - \ln(\$A) = e[\ln(Cap_B) - \ln(Cap_A)] \quad (۲)$$

در رابطه فوق (e) شیب خطی را نشان می‌دهد که محور عمودی آن قیمت واحد و محور افقی آن ظرفیت واحد مورد نظر در مقیاس لگاریتمی است؛ البته اول به نظر می‌آید که مقدار آن باید ثابت باشد، ولی همان‌طوری که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، با افزایش ظرفیت واحد، مقدار (e) نیز افزایش می‌یابد. این منحنی در محدوده‌هایی که (e) ثابت است، خطی است؛ بنابراین، برای استفاده از یک مقدار (e) محدود ظرفیت مهم است. معمولاً توصیه می‌شود برای مقدار مشخص توان (e) نسبت ظرفیت‌های جدید و قدیم نباید از ۲ بیشتر باشد.

ظرفیت‌های بالا که مقدار (e) به عدد یک نزدیک می‌شود، وقتی است که واحد به اندازه کافی بزرگ است. در چنین شرایطی، ساخت دو واحد کوچک‌تر اقتصادی‌تر از ساخت یک واحد بزرگ است.

در استفاده از روش ضریب ۰/۶ لازم است دو خط (واحد) تولید با یکدیگر مشابهت داشته باشند؛ مثلاً هر دو پیوسته یا هر دو ناپیوسته باشند. همچنین ضرورتاً لازم نیست محصولات عین هم باشند و تشابه نسبی کافی است. برای مثال، نمی‌تواند محصول یکی مایع باشد و محصول دیگری جامد باشد.

قیمت به دست آمده با این روش معمولاً قیمت محدود فرایندی است (B.L). لازم به توضیح است با استفاده از روش توان ۰/۶ قیمت ادوات را نیز می‌توان به دست آورد. در برخی مراجع [۲] مقدار توان (e) برای این تجهیزات داده شده‌اند. برای ادوات، عبارت ظرفیت بسته به نوع آن دستگاه متفاوت است؛ به عنوان مثال، برای مبدل‌های حرارتی، معادل سطح حرارتی و برای پمپ‌ها، معادل دبی حجمی خروجی است. در برخی مراجع [۳] قیمت ادوات فرایندی بر اساس ظرفیت آن‌ها به

1. Battery Limit

2. Lang Factor

زیر تعریف می‌شود:

- برای فرایندهایی که شامل مواد جامد هستند برابر با ۳/۱ است.

- برای فرایندهایی که هم شامل سیالات هم شامل مواد جامد هستند برابر با ۳/۶۳ است.

- برای فرایندهایی که فقط شامل سیال هستند برابر با ۴/۷۴ است.

مقادیر فوق نشان می‌دهد که هرچه طی فرایند، مواد حالت سیال (گاز- مایع) بیشتری داشته باشند، هزینه‌ی احداث آن بیشتر است.

یکی دیگر از روش‌های اعمال فاکتور بر روی ادوات (EFE) روش هند<sup>۱</sup> است که در آن برای هر دستگاه، فاکتورهای اختصاصی در هر دیسپلین لحاظ می‌شود؛ برای مثال، برای مبدل‌های حرارتی فاکتورهای مربوطه به شرح جدول (۳) است.

جدول ۳: فاکتورهای مربوط به مبدل‌های حرارتی

| ردیف | قیمت مبدل                       | ۱    |
|------|---------------------------------|------|
| ۱    | نیروی انسانی مورد نیاز برای نصب | ۰/۰۵ |
| ۲    | اسکلت فلزی                      | ۰/۱۱ |
| ۳    | لوله‌کشی                        | ۱/۱۸ |
| ۴    | برق                             | ۰/۰۵ |
| ۵    | ابزار دقیق                      | ۰/۲۴ |
| ۶    | رنگ                             | ۰/۰۱ |
| ۷    | بتن‌ریزی                        | ۰/۱۱ |
| ۸    | عایق کاری                       | ۰/۱۱ |
|      | جمع                             | ۲/۸۶ |

یعنی اگر قیمت خرید یک مبدل ۱،۰۰۰،۰۰۰ ریال باشد، مجموع هزینه‌های مستقیم<sup>۲</sup> (DFC) برای نصب آن برابر با ۸۶۰،۲،۰۰۰ ریال است.

حدود مقدار این فاکتور کل در روش هند به صورت زیر است:

- با در نظر گرفتن ابزار دقیق: ۴/۳ - ۲/۴

- بدون لحاظ کردن ابزار دقیق: ۳/۵ - ۲

در این روش، بعد از آن که هزینه‌های مستقیم هر دستگاه به دست آمد، مقدار کل هزینه‌های مستقیم کارخانه از جمع هزینه‌های مستقیم مربوط به تک تک دستگاه‌ها به دست می‌آید و قیمت کل کارخانه نیز از جدول (۴) به دست خواهد آمد.

جدول ۴: قیمت کل کارخانه

| ردیف | شرح   |
|------|---|
| ۱    | DFL = ۰/۲۵ * (DFC) <sup>*</sup>                   |
| ۲    | IFC <sup>†</sup> = ۱/۱۵ * (DFL) <sup>*</sup>      |
| ۳    | TFC = DFC + IFC <sup>‡</sup>                      |
| ۴    | HOC <sup>§</sup> = ۰/۳ * DFC                      |
| ۵    | OTC <sup>¶</sup> = ۰/۳ * DFC + ۱/۱۵ * (TFC + HOC) |
| ۶    | TPC <sup>  </sup> = OTC + TFC + HOC               |

از ویژگی‌های این روش این است که می‌توان قیمت هر دیسپلین را جداگانه حساب کرد و برای پروژه‌های مختلف مقادیر آن را با هم مقایسه کرد.

یکی از روش‌های بسیار مهم اعمال فاکتور بر قیمت ادوات روش ماژول فاکتور<sup>۹</sup> است که اولین بار گودری [۴] آن را معرفی کرد، ولی بعدها نیز با تصحیحات صورت گرفته کاربردهای زیادی پیدا کرد.

رابطه اصلی در این روش به صورت زیر است:

$$C_{BM} = C_p * F_{BM} \quad (۴)$$

که در آن،

$C_{BM}$  = قیمت ماژول دستگاه (مجموع هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم دستگاه)

$C_p$  = قیمت دستگاه در حالت پایه (جنس کربن استیل و فشار اتمسفریک)

$F_{BM}$  = فاکتور ماژول (ضریبی که در آن کلیه هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم نهفته است).

1. Hand Method
2. Direct Field Cost
3. Direct Field Labor Cost
4. Indirect Field Cost
5. Total Field Cost

6. Home- Office Cost
7. Other Project Cost
8. Total Project Cost
9. Module Costing Method

در رابطه فوق A پارامتر مشخصه دستگاه است. البته برای ضریب تصحیح فشار نیز رابطه مشابهی به شکل زیر وجود دارد:

$$F_p = C_1 + C_2 \log_{10} P + C_3 (\log_{10} P)^2 \quad (10)$$

که مقدار ضرایب مربوط به روابط فوق برای ادوات مختلف گزارش شده است [۵].

با استفاده از روابط فوق قیمت ماژول کل (هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم) از جمع قیمت ماژول تک تک دستگاه‌ها به دست می‌آید. اما برای به دست آوردن قیمت کل کارخانه لازم است هزینه‌های مربوط به موارد پیش‌بینی نشده و تسهیلات جانبی را نیز لحاظ کرد. برای این منظور، در این روش مقدار ۱۵ درصد قیمت ماژول برای هزینه‌های پیش‌بینی نشده و ۳ درصد آن نیز برای هزینه پیمانکاران و ۳۵ درصد آن نیز برای هزینه‌های مربوط به تسهیلات جانبی لحاظ می‌شود. لذا قیمت کل یک کارخانه جدید از رابطه زیر به دست خواهد آمد.

$$C_{GR} = 1.18 \sum C_{BM,i}^o + 0.35 \sum C_{BM,i} \quad (11)$$

از آن جایی که سرویس جانبی ربطی به فشار یا جنس مواد در محدوده فرایندی ندارد، قیمت آن ۳۵ درصد قیمت ماژول در حالت پایه لحاظ می‌شود.

همان‌گونه که در روش‌های مختلف اعمال فاکتور بر روی قیمت ادوات مشاهده می‌شود، در همه این روش‌ها قیمت دستگاه‌ها مبناست که در نهایت، در یک فاکتور ضرب می‌شود. البته در روش ماژول برای قیمت ادوات نیز روابطی تهیه شده است که محور عمده بحث این مقاله نیز است و در قسمت تخمین قیمت پارامتری در مورد آن بیشتر بحث خواهد شد.

### ۱.۳ روش نیمه تفصیلی و تفصیلی

کلاس‌های (۱، ۲ و ۳) مربوط به تخمین قیمت تفصیلی اند که به ترتیب، برحسب پیشرفت طراحی و تکمیل اسناد و مدارک تا ۱۰۰ درصد را شامل می‌شوند. در کلاس (۳) که بعد از مطالعه امکان‌سنجی (کلاس ۴) است، بر اساس مدارک موجود (با حدود ۴۰ درصد پیشرفت طراحی) از طریق تخمین قیمت

در این روش هر کدام از اجزای سرمایه‌گذاری ثابت را می‌توان به صورت ضریبی از قیمت دستگاه در نظر گرفت. برای مثال، هزینه مواد مورد نیاز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_M = \alpha_M C_P \quad (5)$$

که در آن  $C_M$  هزینه مواد مورد نیاز و  $\alpha_M$  ضریب مربوط به مواد است؛ بر این اساس، با در نظر گرفتن ضریب مربوطه برای کلیه اجزای سرمایه‌گذاری ثابت فاکتور ماژول به صورت زیر به دست می‌آید:

$$F_{BM} = (1 + \alpha_M)(1 + \alpha_L + \alpha_{FIT} + \alpha_L \alpha_o + \alpha_E) \quad (6)$$

که در آن،

$\alpha_M$ : ضریب مربوط به مواد

$\alpha_L$ : ضریب مربوط به نیروی انسانی

$\alpha_{FIT}$ : ضریب مربوط به حمل و بیمه

$\alpha_o$ : ضریب مربوط به سربار

$\alpha_E$ : ضریب مربوط به مهندسی

لازم به ذکر است که هزینه ماژول فقط شامل هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم است و هزینه‌های پیش‌بینی نشده و سرویس‌های جانبی را شامل نمی‌شود.

برای به دست آوردن قیمت دستگاه در شرایط غیر پایه (جنس غیر از کربن استیل و فشار غیر اتمسفریک) از روابط زیر استفاده می‌کنیم:

$$F_{BM}^o = (B_1 + B_2 F_P F_M) \quad (7)$$

$$C_{BM}^o = C_p * F_{BM}^o \quad (8)$$

که در آن  $F_{BM}^o$  فاکتور ماژول در حالت غیر پایه است،  $F_P$  ضریب تصحیح فشار و  $F_M$  ضریب تصحیح مربوط به جنس است.  $B_1, B_2$  ضرایب مربوطه‌اند. این ضرایب برای هر دستگاه در محدوده مشخص به دست آمده و گزارش شده است [۵].

رابطه (۷) نشان می‌دهد که منحنی  $F_{BM}^o$  برحسب  $F_P F_M$  یک خط راست به عرض از مبدأ  $B_1$  و شیب  $B_2$  است.

معمولاً در این روش قیمت دستگاه را از طریق پارامتری به دست می‌آورند و برای هر دستگاه رابطه‌ای به شکل زیر وجود دارد:

$$\log_{10} C_p = K_1 + K_2 \log_{10} A + K_3 (\log_{10} A)^2 \quad (9)$$



نیمه تفضیلی<sup>۱</sup> واحدها، با خطای حداکثر ۳۰+ درصد و حداقل ۲۰- درصد اجازه تامین بودجه صادر می شود. در کلاس (۲)، که تا ۷۰ درصد طرح کامل می شود با استفاده از روش تفضیلی سریع<sup>۲</sup>، با تخمین قیمت کارخانه در محدوده خطای حداکثر ۲۰+ درصد و حداقل ۱۵- درصد کنترل هزینه در خلال اجرای پروژه یا پیشنهاد مناقصات انجام می پذیرد؛ در نهایت در کلاس (۱) که تا ۱۰۰ درصد طرح کامل می شود با استفاده از روش تفضیلی<sup>۳</sup>، با تخمین قیمت کارخانه در محدوده خطای حداکثر ۱۵+ درصد و حداقل ۱۰- درصد بررسی تخمین برای ارائه پیشنهاد یا مناقصه صورت می پذیرد.

## ۲- تخمین قیمت پارامتری ادوات فرایندی

به طور متوسط، قیمت تجهیزات اصلی فرایندی در حدود ۴۰-۲۰ درصد از قیمت کل (سرمایه گذاری ثابت) پروژه را تشکیل می دهد [۱]؛ لذا تعیین یا تخمین صحیح آن بسیار حائز اهمیت است. اهمیت این موضوع وقتی که بخواهیم از روش اعمال فاکتور بر قیمت ادوات (EFE) استفاده کنیم، به مراتب بیشتر خواهد شد؛ چراکه همه اجزای دیگر سرمایه گذاری ثابت در این روش تنها با اعمال یک فاکتور بر روی قیمت ادوات به دست می آیند و در نتیجه، خطا در همه بخش ها توزیع خواهد شد و در نهایت، تخمین نهایی با خطای بالایی صورت خواهد گرفت. یکی از روش های بسیار مفید در تخمین قیمت در مراحل امکان سنجی<sup>۴</sup> روش تخمین قیمت پارامتری است. همان طور که قبلاً اشاره شد، در مرحله امکان سنجی حداکثر ۱۵ درصد مدارک مهندسی طرح تکمیل شده اند، ولی با استفاده از روش تخمین قیمت پارامتری می توان این کار را انجام داد.

مدل پارامتری در واقع یک رابطه ریاضی بین قیمت و پارامترهای کلیدی دستگاه است. در این روش، علاوه بر این که قیمت دستگاه به صورت یک رابطه ریاضی از پارامترهای کلیدی دستگاه به دست می آید، ضرایب تصحیح نظیر فشار، دما یا نوع دستگاه نیز می توانند به صورت روابطی بر حسب

پارامترهای کلیدی در آیند.

برای مثال، در نرم افزار اسپن برای قیمت مخازن افقی از جنس کربن استیل از رابطه زیر استفاده می شود [۶].

(۱۲)

$$\ln(C_b) = 8.411 - 0.16449(\ln W_s) + 0.0433(\ln W_s)^2$$

$$369 \leq W_s \leq 415000(\text{kg})$$

در رابطه فوق،  $W_s$  وزن پوسته مخزن است. بدین ترتیب، در محدوده مشخص شده با مشخص بودن وزن پوسته می توان قیمت مخزن را با حداکثر خطای  $\pm 30\%$  درصد به دست آورد. با استفاده از این روابط در مراحل اولیه طراحی که هنوز اطلاعات کافی از دستگاهها برای ارسال به سازندگان وجود ندارد، می توان قیمت ادوات فرایندی و در نهایت، قیمت کارخانه را با تخمین پذیرفته شده ای پیش بینی کرد.

برای یافتن مدل های پارامتری لازم است تعدادی داده از قیمت دستگاهها در محدوده زمانی مشخص در دسترس باشد تا با استفاده از روش های آماری، بتوان ضرایب مدل های پیشنهادی را به دست آورد و میزان دقت و قابلیت پیش بینی آنها را مورد بررسی قرار داد. بهترین مرجع برای دستیابی به اطلاعات قابل اعتماد، پروژه های خاتمه یافته سازمان مربوطه است. با استفاده از این اطلاعات و با استفاده از روش های رگرسیون<sup>۵</sup> و تست های آماری نظیر  $F$ ،  $t$  و آزمون فاصله اطمینان مدل نهایی پیشنهاد می شود. الگوریتم تعیین مدل که شامل مراحل مختلف است، در فلوجارت شکل (۲) نشان داده شده است [۷].

با استفاده از روابطی نظیر رابطه فوق به سرعت می توان به نتایج درخور پذیرشی دست یافت. البته در بعضی از نرم افزارها (مهندسی) قسمت مربوط به تخمین قیمت نیز وجود دارد که اساس کار آنها استفاده از چنین روابطی است، لیکن مبنای همه این نرم افزارها و روابط براساس قیمت های ارزی (دلاری) است و براساس شرایط ساخت آن کشور تهیه شده اند. اما با تهیه این روابط در داخل کشور می توان به نتایج واقعی تری در تخمین قیمت دست یافت.

1. Semi – Detailed Unit Costs

2. Forced Detailed Take - off 3. Direct Field Labor Cost

3. Detailed Take - off

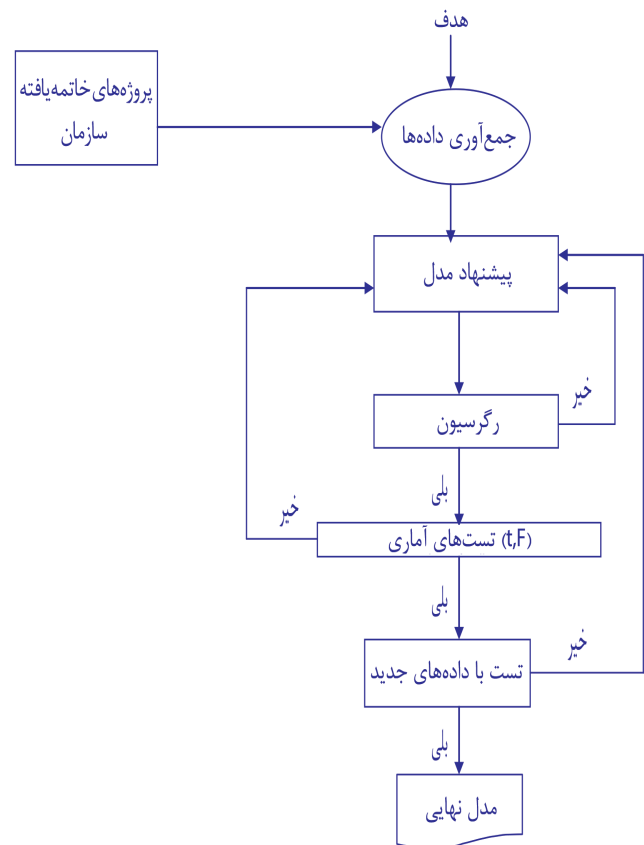
4. Feasibility Study

5. Regression

### نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی بر آن شد تا ضمن معرفی روش‌های مختلف تخمین سرمایه‌گذاری ثابت مورد نیاز برای احداث واحدهای شیمیایی، روش تخمین قیمت پارامتری به منزله یک روش میان‌بر و سریع برای رسیدن به تخمینی درخور پذیرش در مراحل ابتدایی طراحی و زمانی که اطلاعات مهندسی کمی از تجهیزات فرآیندی در دسترس است نیز معرفی شود. روابط تخمین قیمت موجود در نرم‌افزارهای رایج بر اساس شرایط کشورهای خاص است، ولی می‌توان به صورت منطقه‌ای یا در هر کشوری نیز مدل‌های خاص آن را به دست آورد. سازمان‌ها و شرکت‌های مهندسی که معمولاً پروژه‌های بزرگ را در سطح کشور به اجرا درآورده‌اند قطعاً دارای بایگانی قوی از اطلاعات قیمت ادوات مختلف فرآیندی هستند که با صرف حوصله و تنظیم بانک اطلاعاتی مناسب قادر خواهند بود روابط خوبی برای تخمین قیمت به دست آورند.

تخمین واقع‌بینانه از سرمایه‌گذاری ثابت یک طرح باعث تکمیل طرح با حداقل انحراف از برنامه زمان‌بندی اولیه و جلوگیری از اتلاف وقت ناشی از تغییر در بودجه و برنامه زمان‌بندی خواهد شد و از بسیاری از ضرر و زیان‌های ناشی از انحراف در برنامه‌ریزی اولیه خواهد کاست.



شکل ۲: الگوریتم تعیین مدل

### منابع

1. Dysert L.R., Sharpen Your Cost Estimation Skills, Cost Engineering, Vol.45, No.6, June 2003.
2. Baasel W.D., Preliminary Chemical Engineering Plant Design, Second Edition, 1990, ISBN.0-442-23440-6.
3. Page J.S., Conceptual Cost Estimating Manual, 1984, ISBN.0-87201-134-8.
4. Guthrie K.M., Process Plant Estimating Evaluation and Control, 1974, ISBN.0-910460-5-1.
5. Turton R., R.C. Bailie, W.B. Whiting, J.A. Shaeiwitz, Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes, 1998, ISBN.0-13-570565-7.
6. Mulet A., A.B. Corripio, L.B. Evans, Estimate Costs of Pressure Vessels Via Correlations, Chemical Engineering, Oct.5, 1981, page.145.
7. Shabani M.R., et al., Chemical Processes Equipment Cost Estimation Using Parametric Models, Cost Engineering, Vol.48, No.5, June 2006.