JSST
Journal of Space Science & Technology

10.22034/JSST.2021.1238

Vol. 14 / Issue.1/ 2021 (No.46)
pp. 43-54

Research Paper

A New Approach to Engineering Change Management for Space Projects

M. Zakeri[1*], M. Nosratollahi[2], M.R. Sabeti[3], H.R. Moghadas Najafabad[4], and H. Maleki[5]

1, 2. Department of University Complex of Mechanical and Aerospace Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

3. Department of Mechanics and Aerospace, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

4. Department of Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran, Tehran, Iran

5. Department of Aerospace Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

***zakeri@mut.ac.ir**

This research presents a new and effective approach to managing change control in the design process of complex engineering products. This approach involves using design constraints to combine two DSM matrix structures and a systematic process for controlling changes. The system process involves using a systemic code to evaluate changes, how to create a transfer model, and a management change assessment request. The process presented in this article, in addition to using similar activities in this field, has provided a systematic approach to using the knowledge of designers of a project to guide the control of changes to major engineering projects, including decision-making on controlling changes and how to identify the best The path to the change control process.

Keywords: Change Control, Change Evaluation Code, Trade Off, Transform Model, DesignMatrix

1. PhD (Corresponding Author)
2. Associate Professor
3. M. Sc.
4. PhD Student
5. M.Sc.

Received: 2019.10.13/ Accepted: 2020.05.04/ Publish Online: 2021.01.21/ Online ISSN: 2423-4516 / Print ISSN: 2008-4560

JSST
فصلنامهٔ علمی - پژوهشی علوم و فناوری فضایی
10.22034/JSST.2021.1238
دوره ۱۴ / شمارهٔ ۱ / بهار ۱۴۰۰ (شماره پیاپی ۴۶)
ص. ص. ۵۴- ۴۳

مقاله علمی– پژوهشی

ارائه رویکردی نوین در مدیریت کنترل تغییرات پروژه‌های فضایی

مصطفی ذاکری[۱*]، مهران نصرت الهی[۲]، محمدرضا ثابتی[۳]، حمیدرضا مقدس نجف آباد[۴]، حمید ملکی[۵]

۱، ۲- مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

۳- گروه مهندسی مکانیک و هوافضا دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴ - گروه هوافضا، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

۵ - دانشکدهٔ مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

***zakeri@mut.ac.ir**

در این تحقیق، رویکردی نوین و کارا برای مدیریت کنترل تغییرات در فرآیند طراحی محصولات پیچیده فضایی ارائه شده است. این رویکرد شامل استفاده از سطوح قیدگذاری طراحی در ترکیب دو ساختار ماتریس‌های DSM و روندی سیستمی برای کنترل تغییرات است. روند سیستمی، شامل استفاده از کد ارزیابی سیستمی تغییرات، نحوه ایجاد مدل انتقال و ارزیابی مدیریتی تغییر درخواست شده است. روند ارائه شده در این مقاله، علاوه بر استفاده از فعالیت های مشابه در این زمینه، رویکردی سیستمی برای استفاده از دانش طراحان یک پروژه فضایی در جهت هدایت کنترل تغییرات پروژه های بزرگ مهندسی ارائه کرده است که شامل تصمیم‌گیری مدیریتی کنترل تغییرات و نحوه شناسایی بهترین مسیر فرآیند کنترل تغییرات است. در انتها مدارگرد فضایی برای پیاده‌سازی مختصر یک مورد مطالعاتی انتخاب شده است.

واژه‌های کلیدی: کنترل تغییرات، کد ارزیابی تغییرات، سبک سنگین‌کردن، مدل انتقال، ماتریس طراحی

علائم و اختصارات

ماتریس ساختار طراحی	DSM
کد ارزیابی تغییرات مهندسی	CEC
ماتریس فعالیت های اجزای	Components Activity- Design Structure Matrix (CA-DSM)
عدد احتمال اثر	PE
عدد اثر منابع مصرفی	CT
جزء آغازکننده تغییر	Originating change component (OCC)
مسیرهای رشد تغییرات	Change Propagation Path (CPP)
درخواست تغییر	Change Requirement (CR)
مدل وابستگی	Dependency Model (DM)

۱. دکتری (نویسنده مخاطب)
۲. دانشیار
۳. کارشناس ارشد
۴. کارشناس ارشد
۵. کارشناس ارشد

مقدمه

تغییر مهندسی یک فعالیت عمده و قابل توجه در پروژه‌های صنعتی است. تغییر مهندسی از زمان تبیین مفاهیم تا فرایند طراحی و تحقق و تا ساخت و بهره‌برداری و حتی در خدمات پس از فروش نیز وجود دارد [۱]. فازهای مختلف چرخه عمر یک محصول هوافضایی در مرجع [۲] تشریح شده ولی تمام هنر و علم مهندسی سیستم‌ها باید در فازهای طراحی به کار رود چراکه تغییرات در فازهای بعدی تا ۱۰۰ برابر بیشتر اعمال هزینه می‌کند. همچنین حدود ۹۰ درصد هزینه چرخه عمر محصول متاثر از واریانتی است که در پایان فاز طراحی اولیه نهایی می‌شود [۳]. از طرفی تحقیقات مختلف بیان می‌کنند که "تغییرات طراحی"، یک سوم ۱/۳ ظرفیت طراحی مهندسی را تشکیل می‌دهد [۴, ۵ و ۶]. مدیریت جامع محصول کلید موفقیت در مدیریت کسب و کار است و مدیریت تغییرات، هسته

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۲۱ / پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۵ / چاپ الکترونیکی: ۱۴۰۰/۰۱/۰۱ / شاپای الکترونیکی: ۴۵۱۶-۲۴۲۳ / شاپای چاپی: ۴۵۱۶-۲۰۰۸

اصلی مدیریت جامع محصول است. یک محصول مهندسی از تعداد زیادی اجزاء، زیرسیستم‌ها و روابط بین آنها تشکیل شده و ایجاد یک تغییر در یک جزء یا زیرسیستم، زنجیره‌ای از تغییرات را در محصول ایجاد می‌کند. به هر حال موقعیت معمول طراحی و تولید محصولات نشان می‌دهد که هسته اصلی تغییرات مهندسی به صورت عمده بر ردیابی و ذخیره‌سازی تغییرات مهندسی متمرکز است و نقصان تحلیل کمی و ارزیابی این تغییرات، مشاهده می‌شود [۷]. در بین فعالیت‌های طراحی محصول، این "تغییرات مهندسی" هستند که می‌توانند به شکل قابل ملاحظه‌ای رشد کنند و تأثیرات قابل‌توجهی بر توسعه محصول بگذارند. [۸].

در این مقاله، الزامات با بسیاری از اجزاء در ارتباط است و هر یک از این اجزاء می‌توانند یک جزء آغازکننده تغییر باشند، به نحوی که الزامات یا تغییرات آنها را برآورده سازند. یک جزء آغازکننده تغییر با "مسیرهای رشد تغییرات" متعددی در ارتباط است [۹]. این مقاله روش جستجوی مسیرهای رشد تغییرات بهینه برای "درخواست تغییر " را توسعه می‌دهد. با مرور مقالات انجام شده از سال ۱۹۸۱ تاکنون، در جدول (۱) لیست مقالات عمده که از روش‌های فوق جهت کنترل تغییرات استفاده کرده‌اند، ارائه می‌شود:

جدول ۱- مقایسه روش های مختلف کنترل تغییرات مهندسی

ردیف	نام مقاله	روش تغییر مشخصات			روش دقیق سازی			روش نمایش رشد تغییرات		
		احتمال	بررسی تاثیرات کیفی	بررسی تاثیرات کمی	ماتریس پایه	مدل پایه	الگوریتم پایه	درخت رشد تغییرات	شبکه رشد تغییرات	شاخص های رشد تغییرات
1	Cheng and Chu (2012)[11]			*	*				*	*
2	Chua and Hossain (2012) [12]		*		*	*				
3	Clarkson et al. (2004) [13]	*		*	*		*	*		
4	Cohen et al. (2000) [14]		*		*	*	*		*	
5	Flanagan et al. (2003) [15]		*		*				*	
6	Giffin et al. (2009) [16]	*			*			*	*	*
7	Hamraz et al. (2013a) [17]	*		*	*		*	*		
8	Hamraz et al. (2013c) [18]	*		*	*	*				
9	Keller et al. (2005) [19]	*		*	*			*	*	
10	Kim et al. (2013) [20]	*		*	*			*	*	*
11	Kusiak and Wang (1995) [21]		*	*			*		*	
12	Li and Zhao (2014) [22]	*		*		*			*	
13	Li et al. (2016) [23]	*		*		*			*	
14	Oduncuoglu (2011) [24]	*			*	*				
15	Rutka et al. (2006) [25]	*	*		*			*		
16	Steward (1981) [26]				*					
17	Yang and Duan (2012) [27]			*					*	*
جمع مقالات استفاده کننده از روش		10	5	10	13	6	4	6	15	4
مقاله حاضر		*	*	*	*	*	*			*

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد روش "ماتریس-پایه" بیشترین استفاده و روش "مدل-پایه" از کمترین استفاده ها را در مدیریت تغییرات مهندسی داشته است. مدل تئوری همیشه قابل دستیابی نیست یا همیشه کامل نیست و لذا لازم است تا به نوعی مدل وابستگی ها استخراج شود [16]. این مدل بسیار ساده تر از مدل تئوری است که بر جنبه های مشخصی از محصول یا سیستم متمرکز می‌شود. این مدل نیازی به معادلات دقیق و قوانین منطقی بین پارامترها ندارد اما در عین حال به ما اجازه می‌دهد تا به ۱- جهت تغییرات و ۲- پیش بینی مقادر جدید، دست یابیم.

در روش مدل- پایه خالص، مدل های موجود به منظور مشخص‌کردن مقادیر جدید و همچنین جهت تغییرات به کار گرفته می‌شوند. در حالی که در مدل وابستگی های خالص،

نمی‌توان مقادیر قطعی جدید را تعیین کرد ولی با جستجوی جهت تغییرات می‌توان این مقادیر را پیش بینی کرد و مسیر پایان رشد تغییرات را تعیین و پیش بینی نمود[۱۰]. در این مقاله سعی شده به کمک روش ها و تکنیک هایی، فازهای تاثیرگذار طراحی مورد توجه جدی قرار گیرد و این از وجوه تمایز این تحقیق با موارد مشابه است.

همانطور که در جدول(۱) ملاحظه شد، در کنار تکنیک‌های متنوع توسعه داده شده در مطالعه تغییرات مهندسی، ماتریس‌های ساختاری طراحی به طور گسترده‌ای مورد استقبال قرار گرفته‌اند تا ارتباط بین پارامترها را ذخیره کنند. DSM ابزار خوبی جهت نگاشت جریان اطلاعات و ذخیره تاثیرات آنها در محصول است [۱].

نقاط قوت این تحقیق در مقایسه با تحقیقات مشابه بررسی شده:

۱. در اکثر کارهای انجام شده کمتر به کنترل و مدیریت تغییرات مهندسی در فازهای پراهمیت طراحی پرداخته شده است، حال آنکه در تحقیق جاری تمرکز بر فاز طراحی است.
۲. ترکیب ماتریس محصولی و فعالیت‌ها و ایجاد ماتریس ترکیبی CA-DSM که با ترکیب فعالیت‌ها[۶] و عناصر محصول، ماتریس های حساسیت سنجی را ایجاد می‌کند. این ماتریس‌ها به سرطراح در پیش‌بینی رشد تغییرات کمک شایانی می‌نماید.
۳. استفاده ترکیبی از اکثر روش‌های مندرج در جدول (۱) انجام گرفته است.
۴. تکیه بر دانش سرطراح به موازات نرم‌افزار کنترل تغییرات در کنترل رشد تغییرات و رسیدن به بهینه ترین مسیر تغییر
۵. انعطاف پذیری پیاده‌سازی در پروژه‌های مهندسی[۷]
۶. تعریف چند شاخص[۸] جهت کمی‌کردن کنترل رشد تغییرات و انتخاب بهینه ترین مسیر تغییر در زمینه های: احتمال اثر، منابع مصرفی، زمان، بهبود الزامات و گلوگاه
۷. تأکید بر نقش "مرکز کنترل پیکربندی" به‌عنوان مرکز فرماندهی کنترل تغییرات در یک محیط صنعتی

طرح مسئله

مدیریت تغییرات مهندسی[۹] یک امر حیاتی در توسعه و تحقق محصول است[۴]. در این مقاله طرح‌ریزی مدیریت کنترل تغییرات برای سیستم‌های پیچیده ارائه شده است. بسیاری از مقالات انجام شده در زمینه پیش بینی فرآیند کنترل تغییرات به این نکته اشاره کرده‌اند که فعالیت آنها راه حل مناسبی برای یک سیستم پیچیده نمی‌باشد و فقط برای محصولاتی با حجم ارتباطی کم قابل پیاده‌سازی است. تفاوت کنترل تغییرات در سیستم‌های پیچیده مانند محصولات هوافضایی در موارد زیر خلاصه شده است:

- تنوع بسیار بالای پارامترهای سیستمی
- حجم ارتباط بسیار زیاد بین اجزاء مختلف
- دانش گسترده ارتباط بین اجزاء
- ارتباط تو در تو پارامترها با یکدیگر
- محدودیت‌های زیاد طراحی و ساخت

موارد بالا فرآیند پیش بینی کنترل تغییرات را پیچیده کرده است. در صورت انجام کنترل تغییرات طبق مدل های معمول، با زنجیره تغییرات بسیار زیاد و بدون نقطه اتمام برخورد خواهیم کرد. لذا کارکرد این فعالیت در موارد زیر خلاصه می‌گردد:

- توسعه طراحی مفهومی (رشد تغییرات در طراحی)
- کنترل‌پذیری چرخه عمر محصولات
- کنترل مدیریتی تغییرات در فرایندهای طراحی
- ارتباط ملموس بین کلیه زیربخش‌های درگیر در فعالیت‌های پروژه
- کنترل تغییر در محصولات با ارتباطات بالا و پیچیده

متدولوژی حل مسئله

در این مقاله، ساختار ارائه طرح‌ریزی کنترل تغییرات برای سیستم‌های پیچیده از شش قسمت تشکیل شده است.

- ماتریس CA-DSM (ارتباطات بین پارامترها)
- سطوح قیدگذاری پارامترها در طراحی
- کد ارزیابی تغییرات مهندسی (برآورد حجم ارتباطی بین پارامترهای ماتریس CA-DSM و شناسایی محدوده حساسیت کلیه پارامترها)
- مدل انتقال در بین پارامترها
- سنجش تغییر از نگاه مرکز کنترل تغییرات
- الگوریتم جامع کنترل تغییرات

ماتریس فعالیت‌های اجزاء (CA-DSM)

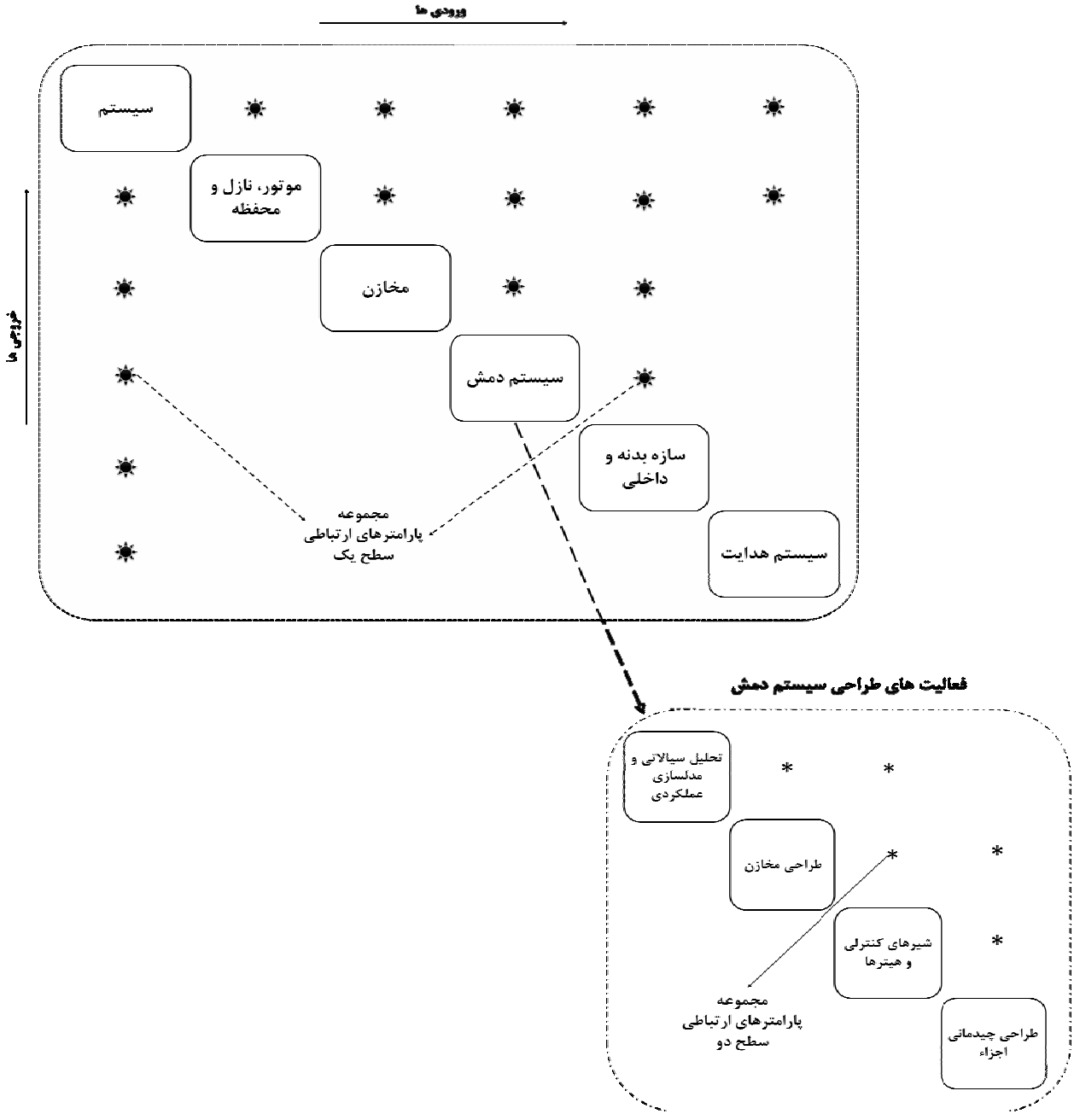
روش DSM (استفاده از ماتریس های ساختاری طراحی) یک مدل تبادل اطلاعات است که با چرخش اطلاعات این امکان را به طراح می‌دهد تا ارتباط بین پارامترهای سیستمی را مشخص کنند. [۲۵].

احتمالات و تاثیرات تغییرات بین اجزاء سیستم در DSM ذخیره می‌شوند تا تغییرپذیری سیستم‌های مهندسی پیچیده را تعیین و تشخیص دهد [۲۶ و ۲۷].

---

۶ "فعالیت‌ها" از فرایندهای طراحی استخراج می شوند
7Large Engineering Projects(LEP)
8 Index
9 Engineering Change Management (ECM)

در این مقاله، دو مدل از ماتریس‌های DSM به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گرفته است. دلیل استفاده از یک ماتریس ترکیبی، کنترل ساده تر تغییرات برای محصولات پیچیده است. ارتباط بین اجزاء در فرمت DSM محصولی و ارتباط بین فعالیت‌ها در فرمت DSM فعالیت‌ها تبیین می‌گردد. ماتریس دربردارنده این دو ویژگی به نام ماتریس ساختار طراحی فعالیت‌های محصولی (CA-DSM) در شکل (۱) به نمایش در آمده است.



شکل ۱- ماتریس ساختار طراحی فعالیت های محصولی (CA-DSM) مدارگرد فضایی

پارامترهای سطح یک شامل پارامترهای ارتباط‌دهنده بین زیرسیستم‌ها یا اجزای مشخص در قطر ماتریس بزرگ هستند و پارامترهای سطح دو شامل پارامترهای ارتباط‌دهنده بین فعالیت‌های مختلف داخل ماتریس‌های کوچک برای هر یک از اجزای ماتریس بزرگ می‌باشند. طراحی هر یک از اجزای در یک زیرسیستم می‌تواند نتیجه فعالیت چندین متخصص باشد ولی یک فعالیت حاصل یک تیم یا یک نفر به صورت فعالیت موازی است.

به همین دلیل انتخاب چنین ماتریسی کمک شایانی به تسریع و ساده‌کردن روابط جهت کنترل تغییرات می‌کند.

در ماتریس CA-DSM این دو ویژگی عبارتند از:

- ماتریس اصلی دربردارنده ارتباط پارامترهای سطح ۱ است که از منطق DSM محصولی استفاده شده است.
- ماتریس هر یک از زیربخش ها که شامل ارتباط بین فعالیت های آن زیرسیستم است و دربردارنده ارتباط بین پارامترهای سطح ۲ است.

نقطه قوت بهره‌گیری از ماتریس ترکیبی CA-DSM امکان همزمان سوئیچ‌کردن بین فعالیت‌ها – فرایندهای کاری و عناصر محصول در سطح زیرسیستم و کل سامانه است.

قیدگذاری در ماتریس فعالیت‌های اجزا

نحوه رشد طراحی در هر یک از فازهای طراحی (مفهومی، اولیه، تفصیلی) شامل چندین بخش عمده است [۲۸ و ۲۹] که هر یک از این بخش ها مجموعه ای از پارامترهای سیستمی را شامل می‌شوند. به طور مثال می‌توان سطوح قید گذاری را به گونه ای تعریف کرد که در ابتدا شامل قیود ابعاد اصلی، سپس قیود هندسی، سپس مقادیر و نهایتا تلرانس گذاری باشد [۱۰]. بخش های زیر برای سطوح قیدگذاری محصولات فضایی پیشنهاد شده است:

- پارامترهای ابعادی
- پارامترهای محیطی
- پارامترهای عملکردی و دینامیکی
- پارامترهای سازه و تقویت‌کننده‌ها
- پارامترهای توزیع جرمی و چیدمانی
- پارامترهای کنترل و الکترونیک
- تلرانس‌گذاری

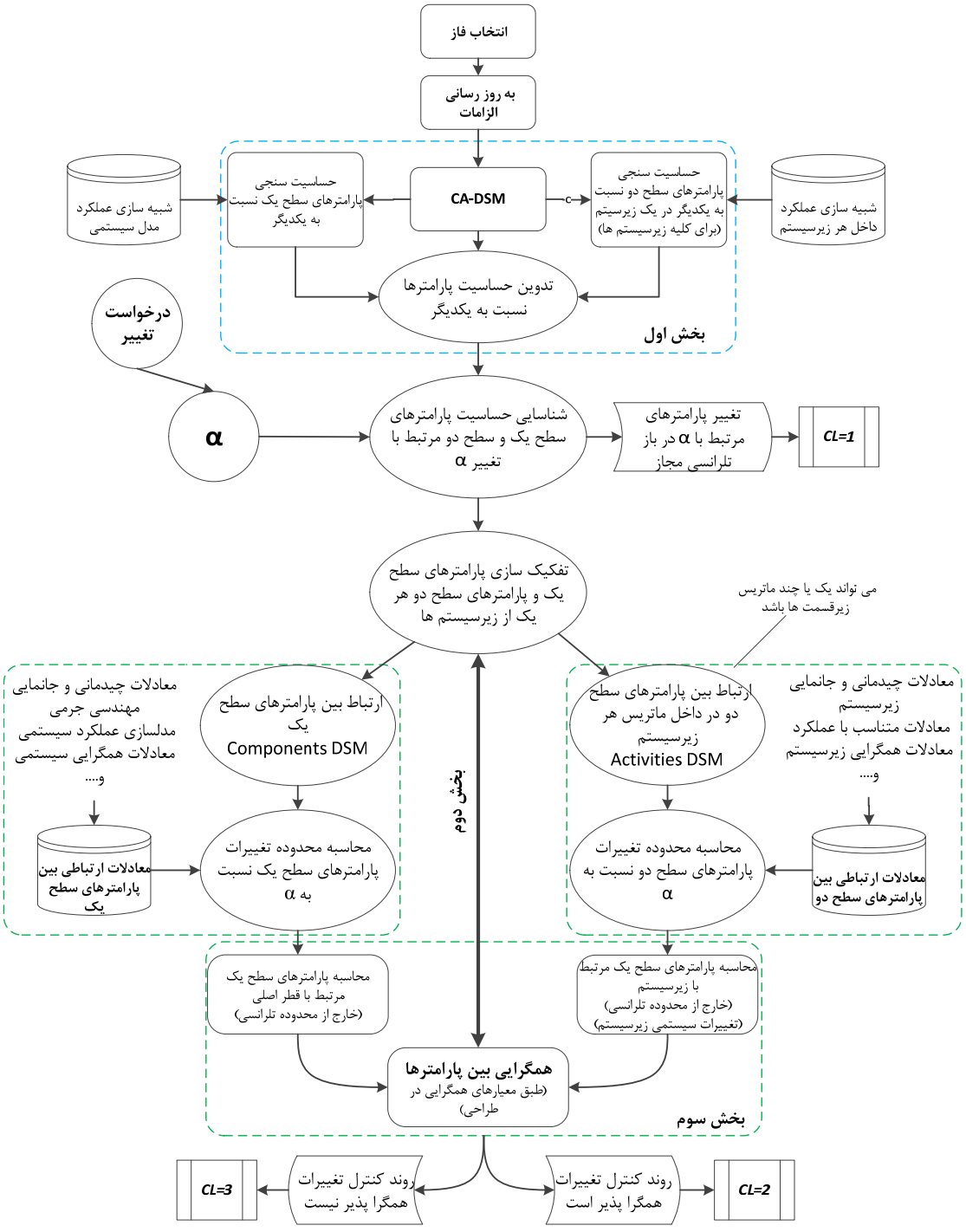
کد ارزیابی تغییرات مهندسی (CEC)

حساسیت‌سنجی تغییرات طراحی، می‌بایست به موازات فرایند طراحی توسعه یابد [۳۰]. همانطور که فرایند طراحی در حال حرکت به جلوست، فرایند حساسیت‌سنجی تغییرات نیز بر فعالیت‌های متأثر می‌بایست پیش برود. عدم تحقق این مهم به بسته نشدن حلقه تغییرات منجر می‌شود که نهایت آن به افزایش زمان و هزینه و حتی شکست پروژه منتهی می‌شود.

تغییر در هر یک از پارامترهای سطح ۱ می‌تواند منجر به تغییر در پارامترهای دیگر سطح ۱ و همچنین پارامترهای سطح ۲ متناسب با پارامترهای سطح۱ گردد. همزمان می‌توان با لحاظ کردن قیود، به توسعه کدی مبادرت ورزید که همه الزامات تغییرات را همگرا کند. البته در توسعه این مدل، کار سرطراح مشکل است و به دانش بالای سرطراح نیاز است. اگر چنین دانشی وجود نداشته باشد، این مدل بسیار زمان‌بر و پرهزینه خواهد بود. در شکل (۴) الگوریتم نرم‌افزار CEC به نمایش گذاشته شده است.

کد مذکور از سه قسمت زیر تشکیل شده است:

- ✓ بخش اول قسمت حساسیت‌سنجی: در این قسمت حساسیت‌سنجی کلیه پارامترهای داخل ماتریس نسبت به یکدیگر انجام می‌گردد.
- ✓ بخش دوم قسمت طراحی: در سیستم‌های پیچیده روابط مشخص و محدودی را می‌توان برای پیکربندی جرمی- ابعادی در اختیار گرفت. در این قسمت استفاده از روابط (معادلات سیستمی) برای ارتباط بین پارامترهای سطح یک و معادلات سیستمی طراحی زیرسیستم ها جهت ارتباط بین پارامترهای زیرسیستم‌هاست. در این قسمت محدوده تغییر کلیه پارامترهای سیستمی در اثر تغییر یک پارامتر محاسبه می‌گردد.
- ✓ بخش سوم قسمت همگراسازی: در این قسمت ارتباط بین کلیه پارامترهای سطح یک و دو، در فرآیند طراحی، همگرا شده و حداقل تغییرات پارامترها نسبت به پارامتر تغییر یافته بدست می‌آید. مهمترین خروجی نرم‌افزار، دستیابی طراح به نتایج حاصل از بررسی تغییرات است.
- ✓ قسمت بررسی مرکز کنترل تغییرات (CMC): در این قسمت به نتایج مورد نظر خود طبق الگوریتم شکل (۲) دست پیدا می‌کند.

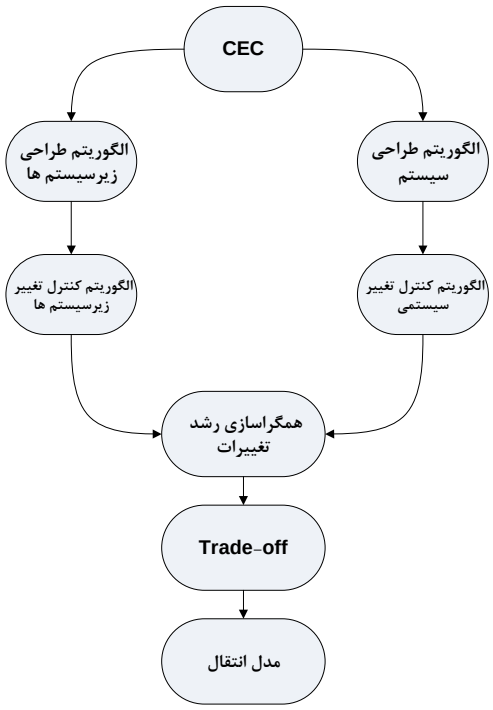


شکل ۲- الگوریتم ارزیابی تغییرات در فرآیند طراحی

مدل انتقال تغییر مهندسی

جستجوی مسیر درست رشد تغییرات در فرآیند کنترل تغییرات محصولاتی با ارتباطات پیچیده بسیار مشکل است[۹]. باید به این نکته توجه کرد که استفاده از یک مدل الگوریتم خطی و سری وار، کنترل و مدیریت تغییرات را در پروژه‌هایی با تنوع پارامترها، عناصر، ارتباطات و شرایط محیطی مختلف، با مشکلات جدی مواجه می‌کند و لازم است به الگوریتمی پرداخته شود تا این نقیصه را برطرف نماید [۳۱]. در این پروژه‌ها می‌بایست به دنبال روش‌ها و الگوریتم‌هایی بود که ضمن قابلیت اجرایی مناسب، انعطاف لازم در مواجهه با تخصص‌ها و زیرسیستم‌های متنوع و

پیچیده را داشته باشد [۳۱]. جهت ایجاد یک مسیر انتقال مناسب در سیستم‌های پیچیده علاوه بر نیاز به دانش سرطراح، به دانش سرطراحان زیرسیستم‌ها و ابزارهای سیستمی نیاز است تا بتوان مدل یکپارچه‌ای از الگوریتم انتقال تغییرات ایجاد کرد. الگوریتم ایجاد یک مدل انتقال برای سیستم‌های پیچیده در شکل (۳) آورده شده است.



شکل ۳- مدل انتقال الگوریتم های پیچیده

طبق الگوریتم شکل (۳)، ایجاد الگوریتم کنترل تغییرات در نتیجه تخصص سر طراح و استفاده از موارد زیر بدست می‌آید:

- ✓ نرم‌افزار CEC جهت محدوده تغییرات ناشی از تغییر
- ✓ الگوریتم همگرایی طراحی جهت ایجاد ارتباطات یکپارچه بین پارامترهای سطح یک
- ✓ ماتریس CA-DSM به عنوان نقشه راه کلیه راه‌های ممکن ارتباطی بین پارامترها

و همچنین دانش کنترل تغییرات زیرسیستم‌ها در نتیجه تخصص سرطراحان زیرسیستم‌ها و استفاده از موارد زیر بدست می‌آید:

- ✓ ماتریس Activities DSM هر یک از زیرسیستم‌ها
- ✓ الگوریتم همگرایی طراحی جهت ایجاد ارتباطات یکپارچه بین پارامترهای سطح دو زیرسیستم‌ها
- ✓ تحلیل تست‌های آزمایشگاهی و مهندسی

برای هر درخواست تغییر، دانش کنترل تغییرات در سطح سیستم و زیرسیستم‌ها به الگوریتم کنترل تغییر سیستمی منجر می‌شود. سبک- سنگین‌کردن راه‌های ممکن توسط این الگوریتم‌ها در کنار یکدیگر و همگرایی بین چرخش اطلاعات، مدل انتقال را ایجاد می‌کند [۲۹ و ۳۲].

مرکز کنترل پیکربندی

در فاز طراحی، نمی‌توان یک فرآیند از قبل تنظیم برای مقدار بار کاری تعریف کرد. لذا برای تعریف هزینه، زمان و بارکاری کلیه تغییرات، مرکز کنترل پیکربندی نیازمند دستیابی به ابعاد مختلف تاثیرگذاری یک تغییر در چرخه عمر محصول می‌باشد [۹]. سوالات و تاثیر هر یک از موارد زیر باید برای مرکز کنترل پیکربندی مشخص گردد:

- ✓ آیا این تغییر در راستای بهبود الزامات است؟
- ✓ آیا این تغییر به خاطر محدودیت‌های طراحی مانند کمبود فضا یا مشکلات مونتاژی است؟
- ✓ آیا این تغییر بخاطر سطح پایین فناوری، هزینه کمتر و یا عدم توانایی خرید بعضی از قطعات است؟
- ✓ آیا این تغییر در اثر تغییرات دیگر در محصول است؟
- ✓ آیا این تغییر یک تغییر گلوگاهی بوده و باید انجام گردد؟

جهت کیفی‌کردن این سوال‌ها از راوابط جدول (۲) استفاده می‌گردد:

جدول ۲- شاخص های عدد اثر

نحوهٔ تولید	نماد و عدد تأثیر	نام ضریب
سرطراح	a (1..4)	بار کاری
مدیر پروژه	b (1..4)	منابع مصرفی
قسمت‌های مرتبط	c (1..4)	زمان
سرطراح، شبیه‌ساز	$if \begin{matrix} + \rightarrow \\ - \rightarrow \end{matrix} \begin{matrix} d\ (0.25..1) \\ d\ (1..4) \end{matrix}$	بهبود الزامات
مدیر پروژه	$if \begin{matrix} + \rightarrow \\ - \rightarrow \end{matrix} \begin{matrix} f\ (0.1..1) \\ f\ (1..2) \end{matrix}$	گلوگاه

نکات زیر در جهت توضیحات جدول (۲) نوشته شده است:

- ✓ انتخاب مقدار عدد تاثیر به صورت کیفی توسط افراد ذی ربط بدست می‌آید.
- ✓ مقادیر بیشتر از ۱، شدت تاثیر بیشتر را نشان می‌دهد و مقادیر کمتر از ۱ منجر به تاثیرات مثبت تغییر است.
- ✓ ضریب بار کاری توسط سرطراح پس از استفاده از CEC بدست می‌آید.
- ✓ ضریب منابع مصرفی پس اعلام نظر قسمت های درگیر، توسط مدیر پروژه مشخص می‌گردد.
- ✓ ضریب زمان پس از اعلام زمان مورد نیاز هر زیرقسمت برای انجام فعالیت خاص خود تعیین می‌گردد.

- ✓ ضریب بهبود الزامات پس از بررسی سرطراح یا فرد مسئول تحلیل عملکرد (شبیه‌ساز) در راستای تاثیر تغییر بر بهبود الزامات طبق نظر مشتری بدست می‌آید.
- ✓ ضریب گلوگاه با توجه به تاثیر اجباری یک تغییر برای رفع گلوگاه یا نبود مواد و قطعات مناسب و یا ... بدست می‌آید.

مقدار احتمال اثر از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$PE = a \times b \times c \times d \times f \quad (۱)$$

$$CT = b \times c \quad (۲)$$

با توجه به مقدار پارامتر احتمال اثر (PE) و زمان و هزینه مصرفی (CT) می‌توان جهت تصمیم‌گیری مدیریتی یک تغییر به صورت کمی اقدام کرد. PE به بررسی کمی تاثیر تغییر درخواست شده در پروژه می‌پردازد و CT کمی شده مقدار زمان و هزینه مصرفی است.

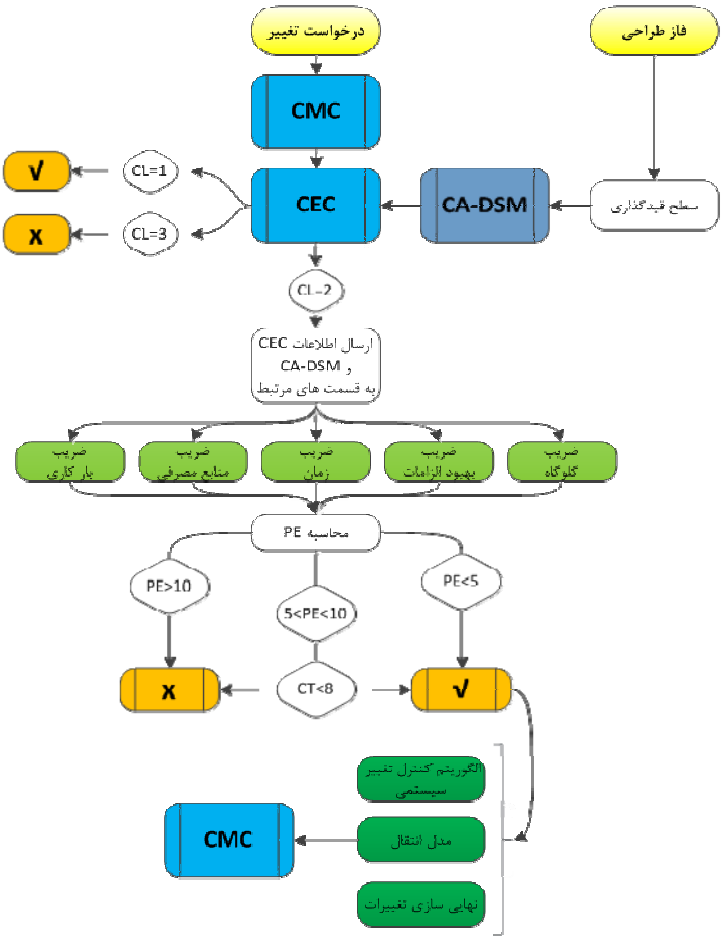
الگوریتم کنترل تغییرات

درخواست تغییر توسط هر یک از زیرسیستم‌ها می‌تواند مطرح گردد. این درخواست به یکی از دلایل زیر ایجاد می‌گردد:

- رشد ساختار شکست در طراحی
- کاهش هزینه
- محدودیت‌های چیدمانی و فضای درگیر
- بهبود الزامات مشتری
- بهینه‌سازی در طراحی

در اولین قدم، درخواست تغییر به مرکز کنترل پیکربندی ارسال شده و این مرکز درخواست تغییر را با توجه به اثرات تغییر بررسی می‌کند. پیگیری و انجام الگوریتم مدیریت کنترل تغییرات شکل (۴)، توسط مرکز کنترل پیکربندی انجام می‌گردد. این الگوریتم در ارتباط با مدیر پروژه، سرطراح سیستمی و پرسنل شاغل در پروژه بر حسب نیاز انجام می‌گردد. الگوریتم جامع مدیریت کنترل تغییرات شامل پنج بخش اصلی است:

۱. پیکربندی و حساسیت‌سنجی کلیه پارامترهای ماتریس نسبت به هم
۲. سطوح قیدگذاری هر بخش از یک فاز طراحی
۳. استفاده از نرم‌افزار CEC
۴. سبک-سنگین‌کردن راه های ممکن (مدل انتقال)
۵. ارزیابی مدیریتی در راستای مدیریت چرخه عمر



شکل ۴- الگوریتم جامع کنترل تغییرات پروژه های جامع مهندسی

مورد مطالعاتی

ماتریس CA-DSM در شکل (۱) برای بلوک انتقال مداری آورده شده است. با استفاده از این ماتریس روند اجرایی برای یک درخواست تغییر جدید، آروده شده است.

درخواست تغییر α: افزایش ۱۰ درصدی طول نازل بدلیل ایجاد دقت مناسب در چرخش نازل طبق الزام عملگر متصل به نازل (پاس شدن الزام سیستمی)

طبق الگوریتم شکل (۴)، پس ازدریافت درخواست تغییر توسط مرکز کنترل پیکربندی، فعالیت های فوق به ترتیب انجام می‌گردد:

۱. تدوین ماتریس CA-DSM شکل (۱)

فاز طراحی: طراحی اولیه

سطح قیدگذاری: پارامترهای ابعادی کل

۲. استفاده از برنامه CEC برای بررسی حساسیت سنجی اثرات تغییر و شناسایی پارامترهای سیستمی درگیر

بخش اول CEC: تدوین حساسیت کلیه پارامترها نسبت به یکدیگر توسط شبیه سازی عملکردی زیرسیستم ها که به عنوان نمونه در مراجع [33] و [34] موجود است.

بخش دوم CEC: محاسبه محدوده تغییرات پارامترهای سطح یک نسبت به تغییر α و محاسبه محدوده تغییرات پارامترهای سطح دو نسبت به تغییر α در الگوریتم های زیرسیستم ها [35] و [36]

بخش سوم CEC: همگراسازی تغییرات در فرآیند طراحی با استفاده از معیار ضریب همگراسازی β [36]

(۳)

نتیجه اولیه استفاده از نرم‌افزار CEC برای تغییر α، مقدار CL=2

۳. ارسال اطلاعات CEC و حساسیت سنجی CA-DSM توسط مرکز کنترل پیکربندی به قسمت های مرتبط

۴. محاسبه ضرایب مدیریت پیکربندی طبق بخش ۵:

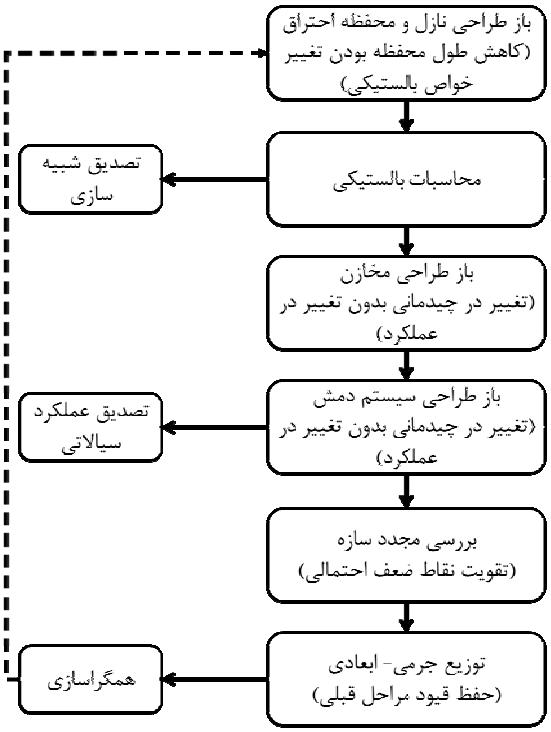
جدول ۳- ضرایب مدیریت پیکربندی

نام ضریب	سطح کیفی	مقداردهی
بار کاری (مجموع فعالیت‌ها + پیچیدگی ارتباطات ماتریسی)	سطح زیرمجموعه =۱ سطح زیر سیستم =۲ سطح همگرا سیستم =۳ سطح ناهمگرا سیستم =۴	a=3
منابع مصرفی (اضافه شدن	کمتر از ۰.۱ درصد=۱	b=2
زمان + هزینه به پروژه)	کمتر از ۱ درصد=۲ کمتر از ۵ درصد=۳ بیش از ۵ درصد=۴	
زمان درگیر قسمت ها (تغییر در زمان گانت پروژه)	عدم تغییر =۱ کمتر از ۰.۱ درصد=۲ کمتر از ۵ درصد=۳ بیش از ۵ درصد=۴	c=2
بهبود الزامات	بدون تاثیر=۱ تاثیر مثبت=کمتر از ۱ تاثیر منفی کم=۲ تاثیر منفی زیاد=۳ تغییر زیاد در یک الزام اصلی=۴	d=0.8
گلوگاه	قابل رفع در محدوده منابع=کمتر از ۱ غیر قابل رفع در محدوده منابع=بیشتر از ۱	f=1

۵. محاسبه مقادیر احتمال اثر و اثر زمان و هزینه

مقدار PE=۶.۴ و CT=۴ می‌گردد و تاییدیه انجام تغییر توسط CMC صادر می‌گردد.

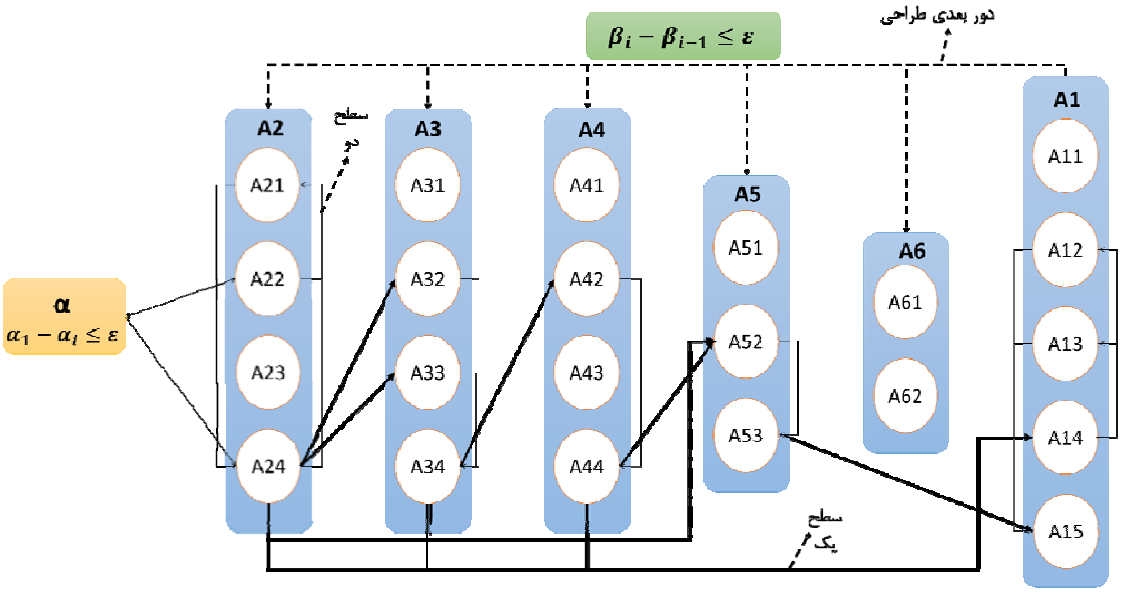
٦. الگوریتم کنترل تغییر سیستمی طبق مدل شکل (۵)، مطابق شکل (۷) بدست می‌آید. این الگوریتم روندی معنادار جهت جلوگیری از زنجیره تغییرات متعدد و واگرا است.



شکل ۵- الگوریتم کنترل تغییر سیستمی درخواست α

۷. مدل انتقال: با استفاده از الگوریتم شکل (۵) و نرم‌افزار CEC، بهترین نحوه انتقال مطابق شکل (۶) بدست می‌آید.

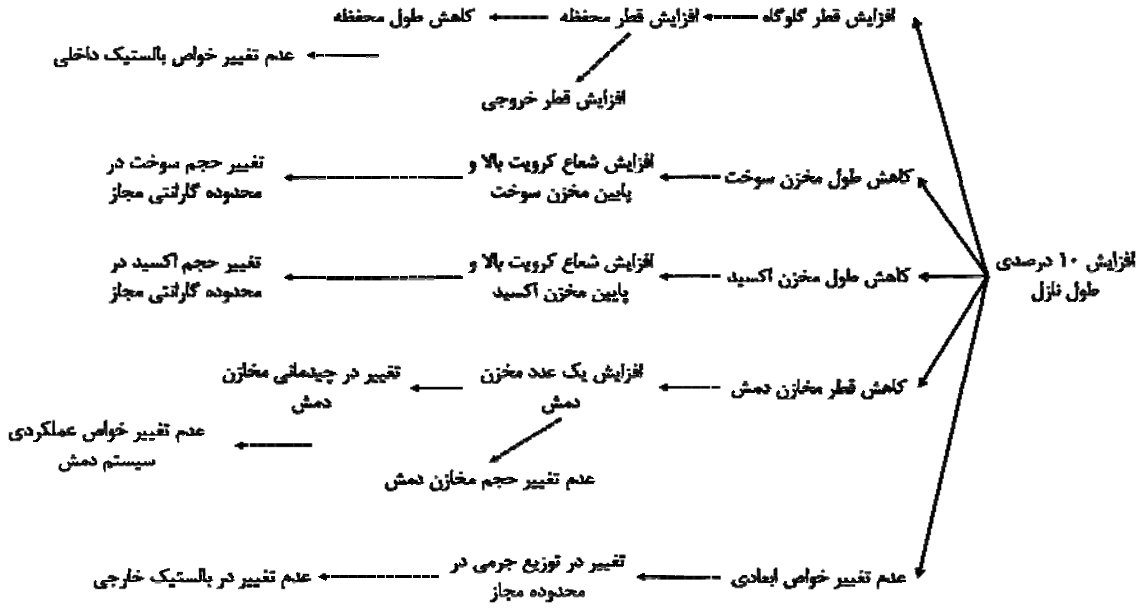
این مدل، حاصل فرایند سبک سنگین‌کردن چرخه پارامترها (Trade-off) در چرخه همگرایی طراحی با معیار حداقل زنجیره تغییرات بدست آمده است.



شکل ۶- مدل انتقال درخواست α

در این شکل، A1= سیستم، A2= موتور، نازل و محفظه، A3= مخازن، A4= سیستم دمش، A5= سازه داخلی و بدنه و A6= سیستم هدایت است و همچنین Aij= زیرفعالیت‌های مربوط به هر یک از زیرسیستم‌ها هستند.

پس از همگرایی در طراحی (ضریب همگرایی β)، کنترل تغییر α انجام می‌گردد و نتایج توازن کنترل تغییرات (تغییرات کلیه پارامترهای جدید) برای درخواست تغییر ۱۰ درصدی طول نازل، مطابق با شکل (۹) بدست می‌آید.



شکل ۹- توازن کنترل تغییرات برای درخواست تغییر α

کنترل تغییرات افزایش درخواست ۱۰ درصدی طول نازل در نهایت منجر به تاثیر ۲ درصدی تغییر ابعادی در زیرسیستم پیشرانش، تاثیر ۵ درصدی تغییر ابعادی مخزن اکسید و تاثیر ۳ درصدی تغییر ابعادی مخزن اکسید شده است. همچنین سایر تغییرات به صورت تغییرات بعدی و در ادامه زنجیره تغییرات، مطابق شکل (۹) تغییر کرده‌اند.

روند تغییر پارامترهای سیستمی که تغییر کرده اند، از وضعیت اولیه به وضعیت پس از تغییر در جدول ۴ به نمایش در آمده است.

جدول ۴- تغییر پارامترهای سیستمی

ردیف	الزام سیستمی	قبل تغییر	پس از تغییر
۱	ضریب همگرایی	۰/۱۲۴۹	۰/۱۲۵۱
۲	جرم نهایی	۳/۳۹۱ton	۳/۳۹۷
۳	جرم کل	۱۶/۶۴ton	۱۶/۶۴۸
۴	نسبت انبساط نازل	۳۸/۷۵	۳۹/۹
۵	طول موتور	۲/۰۴۱ m	۲/۰۸۱۸
۶	تعداد مخازن دمش	۶	۷
۷	شعاع مخازن دمش	۲۵۷/۲ mm	۲۴۴/۳۱
۸	ارتفاع مخزن سوخت	۰/۷۲ m	۰/۶۹
۹	شعاع مخزن سوخت	۱/۱۸ m	۱/۱۹
۱۰	ارتفاع مخزن اکسید	۱/۱۸ m	۱/۱۶
۱۱	شعاع مخزن اکسید	۱/۱۸ m	۱/۱۹

بحث نهایی

محصولات هوافضایی ارتباطات پیچیده‌ای در فرآیندهای طراحی دارند. به همین دلیل فرآیند سیستمی طراحی این محصولات نیازمند تدوین مدیریت پیکربندی مناسب و قابل استفاده است. فرآیند کنترل تغییرات نیز یکی از فعالیت‌های اصلی در راستای رشد و توسعه طراحی محصولات است. در صورت عدم استفاده از یک منطق سیستمی، کنترل هر تغییر می‌تواند پیچیدگی بالایی در روند طراحی وارد کرده و طراحان پروژه دچار سردرگمی شوند. لذا در راستای عدم افزایش زمان و هزینه بالا در روند طراحی پروژه و ایجاد یک منطق سیستمی برای کنترل تغییرات، در این مقاله، رویکردی کارا و جدید ارائه گردید. این رویکرد با استفاده از نظریه مهندسی سیستم‌ها در جهت ارتقای فرآیندهای طراحی تدوین شده است.

مراجع

[14] Tang, D.B., Xu, R.H., Tang, J.C. and et al., "Design structure matrix-based engineering change management for product development," *International Journal of Internet Manufacturing and Services,* Vol. 1, No. 3, 2008, pp. 231–245.

[15] National Aeronautics and Space Administration NASA Headquarters Washington, D.C. 20546, *NASA Systems Engineering Handbook*, NASA/SP-2007-6105 Rev1.

[16] David, M. Anderson, *Design for Manufacturability,* CRC Press, 2014.

[17] Ahmed, S. and Kanike, Y., "Engineering Change During a Product's Lifecycle" *International Conference on Engineering Design* (ICED'07), Paris, 28–31 August 2007.

[18] Fricke, E., Gebhard, B., Negele, H. and et al., "Coping with Changes: Causes, Findings, and Strategies," *System Engineering,* Vol. 3, No. 4, 2000, pp. 169–179.

[19] Maier, A.M. and Langer, S., "Engineering Change Management Report 2011: Survey Results on Causes and Effects, Current Practice, Problems, and Strategies in Denmark". *DTU Management Engineering, Department of Management Engineering*, Technique University of Denmark, Copenhagen. Available at: http://orbit.dtu.dk/en/publications/engi neering-change-management-report-2011(cfdeb7a3-6a72-4f d1-8645-849f8c95cece).html

[20] Tang, D.B., Xu, R.H., Tang, J.C. and et al., "Analysis of Engineering Change Impacts Based on Design Structure Matrix," *Journal of Mechanical Engineering,* Vol. 46, No. 1, 2010, pp.154–161 (in Chinese).

[21] Li, Y.L., Zhao, W. and Shao, X.Y., "A process simulation based method for scheduling product design change propagation". *Advanced Engineering Informatics,* Vol. 26, No. 3, 2012, pp. 529–538.

[22] Tang, D.B., Yin, L.L, Wang, Q., Ullah, I., Zhu H.H. and Leng Sh., "Workload-based change propagation analysis in engineering desing", *Concurrent Engineering*: Research and Applications, Vol. 24, No. 1, 2016, pp. 17-34

[23] Masmoudi, M. Leclaire, P., Zolghadri, M. and Haddar M., (2017), "Change propagation prediction: A formal model for two-dimensional geometrical models of products", *Concurrent Engineering* Vol. 25, No.2, pp. 174-189

[24] Cheng, H. and Chu, X., "A Network-Based Assessment Approach for Change Impacts on Complex Product," *Journal of Intelligent Manufacturing,* Vol. 23, No. 4, 2012, pp.1419–1431

[25] Chua, D.K. and Hossain, M.A., "Predicting Change Propagation and Impact on Design Schedule Due to External Changes". *IEEE Transactions on Engineering Management, Vol.* 59, No.3, 2012, pp. 483–493.

[26] Cohen, T., Navthe, S. and Fulton, R.E., "C-far, Change Favorable Representation". *Computer-Aided* Design, Vol. 32, No. 5, pp. 321–338.

[27] Flanagan T.L., Eckert, C.M., Eger, T. and et al., "A Functional Analysis of Change Propagation". *DS 31: proceedings of ICED 03, the 14th international conference on engineering design*, Stockholm, 19–21 August 2003.

[28] Giffin, M., De Weck OL, Bounova G, et al. () "Change Propagation Analysis in Complex Technical Systems". *Journal of Mechanical Design,* No.131, 2009, 0810011–08100114.

[29] Hamraz, B., Caldwell, N. H. M., and Clarkson, P., "A Matrixcalculation-Based Algorithm for Numerical

Change Propagation Analysis", *IEEE Transactions on Engineering Management, Vol.* 60,No. 1, 2013a, pp. 186–198.

[30] Keller, R., Eger, T., Eckert, C. and et al., "Visualising change propagation". In: *DS 35: proceedings of ICED 05*, the *15th international conference on engineering design* (eds A Samuel and W Lewis), Melbourne, VIC, Australia, 15–18 August, pp. 62–63. Bristol: Design Society, 2005.

[31] Kim, S.Y., Moon, S.K., Oh, H.S. and et al., "Change Propagation Analysis for Sustainability in Product Design," Proceedings of the 2013 *IEEE international Conference on Industrial Engineering And Engineering Management (IEEM)*, Bangkok, Thailand, 10–13 December 2013, pp. 872–876. New York: IEEE.

[32] Kusiak, A. and Wang, J., "Dependency Analysis in Constraint Negotiation". *IEEE Transactions on Systems*, Man and Cybernetics, Vol. 25, No. 9, 1995, pp. 1301–1313.

[33] Li, Y., Zhao, W. and Ma, Y., "A Shortest Path Method for Sequential Change Propagations in Complex Engineering Design Processes," *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* Vol. 30, 2016, pp.107–121.

[34] Oduncuoglu, A. and Thomson, V., "Evaluating the risk of change propagation," Proceedings of the *18th International Conference on Engineering Design* (ICED 11), Copenhagen, 15–19 August 2011, vol. 10.

[35] Rutka, A., Guenov, M. and Lemmens, Y. and et al., "Methods for Engineering Change Propagation Analysis," Proceedings of *25th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences* (ICAS), Hamburg, 3–8 September 2006.

[36] Steward, D.V., "The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems," *IEEE Transactions on Engineering Management* EM-28, 1981, pp. 71–74

[37] Yang, F. and Duan, G., "Developing a Parameter Linkage Based Method for Searching Change Propagation Paths," *Research in Engineering Design,* Vol. 23, No. 4, 2012, pp. 253–372.

[38] Steven, D,. Eppinger and Tyson R. Browning. *Design Structure Matrix Methods and Applications*, The MIT press, 2012.

[39] Clarkson, P.J., Simons, C. and Eckert, C., "Predicting Change Propagation in Complex Design," *Journal of Mechanical Design,*Vol. 126, No. 5, 2004, pp.788–797.

[40] Edwin CYK, Nicholas HMC and Clarkson, P.J., (2013) "A Technique to Assess the Changeability of Complex Engineering Systems," *Journal of Engineering Design,* Vol. 24, No. 7, 2013, pp. 477–498.

[41] Hamraz, B., Engineering Change Modelling Using a Function-Behaviour-Structure Scheme, A Thesis Submitted to the University of Cambridge, Department of Engineering, for the Degree of Doctor of Philosophy, 2013.

[42] Plehn, Ch., "A Method for Analyzing the Impact of Changes and their Propagation in Manufacturing System," *Herbert Utz Verlag, Ordibehesht,* Vol. 25, 2018, 1397 AP - 276 pages.

[43] Li, Y. and Zhao, W., "An Integrated Change Propagation Scheduling Approach for Product Design," *SAGE Journals on Concurrent Engineering: Research and Applications,* Vol. 22, No. 4, 2014, pp. 347–360.

[44] Hamraz, B., Hisarciklilar, O., Rahmani, K., C. Wynn, D., Thomson, V., Clarkson, P.J., "Change Prediction Using Interface Data," *Concurrent Engineering*, Vol. 21, Issue, 2013, 2, pp. 141-154

[45] Umut, A. Acar , Guy E. Blelloch, Jorge L. VIttes, "An Experimental Analysis of Change Propagation in Dynamic Trees", Published 2005 in ALENEX/ ANALCO.

[46] Nosrtollahi, M., Novinzadeh, A.R. and Zakeri, M., "Solid Fuel Orbiter Designe in Optimized Space Transfer," *Journal of Space Science and Technology (JSST)*, Vol. 8, No. 1 (22), Spring 2015, pp. 53-60 (in Persian).

[47] Alimohammadi, H.R., Ramesh, D., Heydari, M.R., Farokhi, R. and Karimi, H., "Dynamics Simulation of Pressurizing in Propulsion System Configuration," *Journal of Space Science and Technology (JSST),* Vol. 6, No. 3 (16), Autumn 2013, pp. 1-13 (in Persian).

[48] Nosratollahi, M., Novinzade, A.R. and Zakeri, M., "Integrated Design of Orbital Transfer Block in an Optimized and Multistep Converged Environment," Journal of Space Science and Technology (JSST), Vol. 7, No. 4 (21), Winter 2015, pp. 23-37 (in Persian).

[49] Nosratollahi, M., Zakeri, M. and Novinzadeh, A.R., **"**An optimized method for upper-stage system design**",** *Modares Mechanical Engineering*, 2016; Modares Mechanical Engineering, Vol.16, No. 5, pp. 101-110 (in Persian)