Archive of SID

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۶
پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵

علمی – ترویجی

کاربست رویکرد مهندسی هم‌زمان در پروژه‌های فضایی

محمد قطب‌سیفی*، کارشناس ارشد، مهندسی صنایع، مؤسسه آموزش عالی صنعتی مازندران

*نویسنده مخاطب، آدرس: نوشهر، کدپستی: ۴۶۵۱۸۷۷۵۴۳

امروزه، با توجه به بازار رقابتی در صنایع فضایی جهان، بهبود مستمر کیفیت و کاهش هزینه و زمان در توسعهٔ محصولات جدید اهمیت بسیاری یافته است. مهندسی هم‌زمان یک روش توسعهٔ محصول است که با خلق دانش جدید، کوتاه‌تر نمودن زمان توسعه، کاهش هزینه‌ها و افزایش سطح کیفیت محصول، یکی از پیشرفت‌های ملموس در این زمینه می‌باشد. از این رو، بررسی سیر تحولی مهندسی هم‌زمان در پروژه‌های فضایی و نحوهٔ پیاده‌سازی آن در آژانس‌های فضایی برای پیاده‌سازی این روش در صنعت داخلی ضروری به نظر می‌رسد. مهندسی هم‌زمان در آژانس‌های فضایی در محلی تحت عنوان مرکز طراحی هم‌زمان عملیاتی می‌شود. در پژوهش حاضر، برای معرفی مرکز طراحی هم‌زمان، ساختارها و المان‌های مراکز طراحی هم‌زمان آژانس فضایی اروپا و ناسا مورد مطالعه قرار گرفته است. جهت پیاده‌سازی مهندسی هم‌زمان در مراکز طراحی هم‌زمان نیز تجربهٔ پیاده‌سازی اقتباسی دانشگاه لیسبون پرتغال از آژانس فضایی اروپا بررسی‌شده است.

واژه‌های کلیدی: توسعهٔ محصول جدید، مهندسی هم‌زمان، طراحی هم‌زمان، تسهیلات طراحی هم‌زمان

The Implementation of Concurrent Engineering in Space Projects

New product development process include several activities and decisions. It starts with idea stage and ends when product enters market stage. Concurrent engineering is a product development approach that helps improving the performance of companies by reducing costs, increasing quality, creating new knowledge, and having a shorter product development time. In this research, the evolution of concurrent engineering in space projects and issues related to the implementation of concurrent engineering in design facilities were examined. For this reason, European Space Agency's Concurrent Design Facility and NASA Integrated Mission Design Center have been studied. The implementation of concurrent engineering in Instituto Superior Técnico's Concurrent Design Facility has also been studied.

Keyword: New Product Development, Concurrent Engineering, Concurrent Design, Concurrent Design Facility

M. Qotbseyfi*, M.Sc., Industrial Engineering, Mazandaran Institute of Industrial Higher Education

*Corresponding Author, Postal Code: 4651877543, Noshahr, IRAN

mqotbseyfi@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

علائم و اختصارات

CAD	Computer Aided Design
CDF	Concurrent Design Facility
ESA	European Space Agency
ESTEC	ESA Research and Technology Center
IDM	Integrated Design Model
IMDC	Integrated Mission Design Center
IST	Instituto Superior Técnico
NPD	New Product Development

مقدمه

در دو دهۀ گذشته شرکت‌های مهندسی با چالش‌های مشابهی مواجه شده‌اند و در طول دهه گذشته در صنایع تقریبا تمام بازارها شاهد افزایش سطح رقابت بوده‌اند. برای رقابت توام با موفقیت، شرکت‌ها به‌طور مداوم باید به کاهش زمان توسعه و حفظ بهبود در محصولات و کیفیت آن‌ها بپردازند. در حال حاضر، نیاز به کیفیت بهتر و زمان توسعۀ محصول کوتاه‌تر به طور گسترده‌ای مورد اذعان قرار گرفته است [۱]. مهندسی هم‌زمان یکی از پیشرفت‌های ملموس در این زمینه بوده و به عنوان تکنیکی بسیار موفق تکامل یافته است.

مهندسی هم‌زمان یک رویکرد بلند مدت در پروژه‌ها بوده و بیشتر در سازمان‌های فضایی توسعه پیدا کرده است. کشورهای توسعه یافته در صنعت هوافضا از سال ۱۹۹۶ شروع به ساخت تسهیلات طراحی هم‌زمان و پیاده‌سازی مهندسی هم‌زمان در آژانس‌های فضایی و دانشگاه‌ها نموده‌اند. گزارش‌های اولیه نشان می‌دهد که بوئینگ با استفاده از مهندسی هم‌زمان، ۳۰ درصد کاهش هزینه داشته است. صنعت هوافضا نیز به طور متوسط با ۴۰ درصد کاهش چرخۀ زمانی توسعۀ محصول و مزایای دیگر ناشی از مهندسی هم‌زمان سود برده است. به عنوان مثال، اقدامات مهندسی هم‌زمان در پروژۀ بوئینگ ۷۷۷، از جمله همکاری تیم متقابل کارکردی و مدل‌های سه‌بعدی داده‌های محصول برای رسیدن به موفقیت پروژه صورت گرفت [۳-۲]. در سال ۲۰۰۶ در یکی از گزارش‌ها، مراحل توسعه بوئینگ ۷۷۷ توسط یورگنسن[1] بررسی شده است. نویسنده معتقد است که این پروژه از یک فرآیند تکرارشونده به جای چرخه عمر آبشار استفاده نموده و تأثیر روش طراحی دیجیتال در تسریع روند پیشرفت پروژه نیز تأیید شده است [۴]. همچنین، در یک گزارش از ناسا آمده است که با در نظر گرفتن راه مهندسی هم‌زمان نسبت به روش سنتی در روند توسعه، سود حاصل از مراحل برنامه به خوبی تضمین شده و فناوری های جدید مانند سه‌بعدی قبل از مونتاژ به دست‌یابی به کاهش زمان تحویل می‌انجامد [۲].

با این وجود و پس از گذشت بیش از دو دهه، رویکرد مهندسی هم‌زمان در مراکز فضایی، دانشگاه‌ها و صنایع ایران به اندازه کافی مورد توجه قرار نگرفته است. یکی از دلایل عمده این مسئله ناآگاهی از مبانی و ویژگی‌های مهندسی هم‌زمان و ناآگاهی از چگونگی پیاده‌سازی این رویکرد در سازمان مربوطه می‌باشد. تسهیلات مهندسی هم‌زمانی که در حال حاضر در پروژه‌های طراحی وجود دارند، در صنعت هوافضا متمرکز شده‌اند. با این حال، منافع و مزایای این امکانات می‌تواند در بسیاری از رشته‌های مهندسی و برنامه‌های کاربردی طراحی از جمله محصولات دفاعی، خودرو و مصرفی مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین، درس‌های آموخته شده از پشتیبانی طراحی مأموریت هوافضا، به عنوان پایه‌ای برای تحقق تسهیلات طراحی هم‌زمان، دستورالعمل‌ها و روش‌هایی برای تولید در مقیاس بزرگ و طراحی می‌باشند.

در پیشینه دربارۀ نقش مهندسی هم‌زمان در صنعت هوافضا در فازهای اولیۀ توسعۀ محصول و مراحل طراحی، بندچی[2] و همکاران در سال ۱۹۹۹ مهندسی هم‌زمان اعمال شده به ارزیابی و طراحی مأموریت فضایی را مورد مطالعه قرار دادند [۵]. در سال ۲۰۰۱، اوگاوا[3] مهندسی هم‌زمان برای طراحی مأموریت در فرهنگ‌های مختلف را مورد بررسی قرار داد [۶]. در سال ۲۰۰۸، دی دمیزیو[4] مدلی برای روش‌های طراحی مقدماتی سیستم‌های ماهواره‌ای [۷] و در سال ۲۰۱۳، فاکینتی[5] پژوهشی درباره مطالعه مقدماتی یک مأموریت فضایی با استفاده از تسهیلات مهندسی هم‌زمان ارائه نمودند [۸]. برای تعیین محدودۀ اعمال مهندسی هم‌زمان در مراحل طراحی پروژه‌های فضایی تلاش‌هایی صورت گرفته که نشان می‌دهد این رویکرد در فازهای 0، A و B قابل اعمال بوده است. در پژوهش دی دمیزیو و همکاران، توضیحاتی در مورد نقش این رویکرد در این فازها و همچنین مدلی برای طراحی مقدماتی سیستم‌های ماهواره‌ای ارائه شده است.

در مورد محیط طراحی هم‌زمان، شرح تجهیزات، سیستم، المان و ساختارهای حاکم بر آن می‌توان به پژوهش‌ها و اسنادی نظیر طراحی محیط مشارکتی به پشتیبانی طراحی سیستم‌های مفهومی چند رشته‌ای که در سال ۲۰۰۵ توسط آبزبارگ[6] و همکاران [۹] و شرح سیستم تسهیلات طراحی هم‌زمان که توسط هندرسون[7] در سال ۲۰۰۲ ارائه شد [۱۰]، اشاره نمود. در سال ۲۰۰۹، آزبورن[8] به بررسی محیط مهندسی هم‌زمان و استفاده از بهترین روش‌ها برای توسعه یک محیط چند صنعته و

1. Jorgensen

2. Bandecchi
3. Ogawa
4. Di Domizio
5. Facchinetti
6. Abzbarg
7. Henderson
8. Osborn

www.SID.ir

Archive of SID

چند دامنه‌ای پرداخت [۱۱]. در سال ۲۰۰۹، سیلویرا[9] به توسعهٔ تسهیلات طراحی هم‌زمان بر اساس تسهیلات طراحی هم‌زمان آژانس فضایی اروپا (ESA CDF) جهت کاربرد در طراحی هواپیما مبادرت ورزید [۳]. در ایران نیز پژوهشی برای انتخاب بهترین روش طراحی هم‌زمان در صنعت خودروسازی تحت عنوان بررسی میزان همسویی استراتژی‌های طراحی هم‌زمان با استراتژی‌های کسب و کار توسط میر فخردینی و همکاران در سال ۱۳۹۲ صورت گرفته است. در این پژوهش با استفاده از چارچوب تدوین شیوه با رویکرد فازی، استراتژی مطلوب طراحی هم‌زمان برای امور طراحی محصول شرکت ساپکو انتخاب شده است [۱۲].

در مورد چگونگی تبادل و مدیریت اطلاعات در مدل به کار رفته در تسهیلات طراحی، اسچابرت[10] و همکاران در سال ۲۰۱۰، سیستم مدیریت دانش جدیدی برای تسهیلات مهندسی هم‌زمان ارائه نمودند [۱۳]. در سال ۲۰۱۲، شینگ فن[11] به مدلسازی برای مدیریت و تبادل داده‌ها در مهندسی هم‌زمان با مطالعه موردی خط مونتاژ هواپیمایی کشوری مبادرت ورزید [۱۴]. در سال ۲۰۰۸، متیسن[12] و همکاران به مطالعهٔ قالب هستهٔ مدل طراحی یکپارچهٔ[13] تسهیلات طراحی هم‌زمان (CDF IDM) جهت پشتیبانی از ابتکارات مهندسی هم‌زمان شرکای اروپایی پرداختند. در این مدل تلاش شده تا مدل CDF توصیف شده و کارپوشه‌ها وکاربرگ‌های مورد استفاده آن معرفی و چگونگی تبادل داده‌ها بین اعضای تیم تشریح شود [۱۵]. این تحقیق تلاش نموده است با معرفی کاربرد مهندسی هم‌زمان در پروژه‌های فضایی و نحوهٔ پیاده‌سازی مهندسی هم‌زمان در مرکز طراحی هم‌زمان، یک پشتوانهٔ پژوهشی برای ساخت یک تسهیلات طراحی هم‌زمان و همچنین پیاده‌سازی مهندسی هم‌زمان در مراکز فضایی، دانشگاه‌ها و صنایع فراهم آورد.

پژوهش حاضر، در بخش اول اصول پژوهش و مبانی نظری موضوع را تشریح نموده و در بخش دوم به معرفی و تشریح ساختارها و المان‌های یک مرکز طراحی هم‌زمان با تمرکز بر دو مرکز طراحی هم‌زمان وابسته به آژانس فضایی اروپا و ناسا می‌پردازد. در ادامه، یک مورد مطالعه‌ای مبتنی بر پیاده‌سازی مهندسی هم‌زمان با اقتباس از ESA-CDF با تشکیل مرکز طراحی هم‌زمان در دانشگاه لیسبون پرتغال -IST (CDF) تحت عنوان راه‌اندازی CDF در IST مورد بررسی قرار گرفته و درس‌هایی از پیاده‌سازی موفقیت مهندسی هم‌زمان بیان خواهد شد. در نهایت، بخش آخر نیز به نتیجه‌گیری پژوهش اختصاص یافته است.

مبانی نظری

در این بخش برخی مفاهیم مرتبط با موضوع تحقیق ارائه شده‌اند. ابتدا فرایند توسعه محصول جدید معرفی شده است. در ادامه مهندسی هم‌زمان تحت عنوان یک روش توسعه محصول و مرکز طراحی هم‌زمان تشریح شده‌اند.

فرایند توسعهٔ محصول جدید

مقصود از توسعهٔ محصول جدید اجرای یکی از استراتژی‌هایی است که در اجرای آن شرکت می‌کوشد از طریق بهبود بخشیدن یا اصلاح محصولات و خدمات کنونی بر میزان فروش بیفزاید. معمولاً اصلاح محصول مستلزم هزینه‌های بسیار زیاد تحقیق و توسعه می‌شود. اما، امروزه سرعت یافتن فرآیندهای توسعهٔ محصول و ارائه سریعتر محصولات در بازار مسئله‌ای است که شرکت‌ها و سازمان‌ها توجه خاصی به آن دارند.

مهندسی هم‌زمان

مهندسی هم‌زمان یک روش توسعهٔ محصول است که از طریق کاهش هزینه‌ها، افزایش سطح کیفیت، خلق دانش جدید و کوتاه‌تر نمودن زمان توسعهٔ محصول به بهبود عملکرد شرکت‌ها کمک می‌کند. تعاریف متعددی از مهندسی هم‌زمان در حال حاضر مورد استفاده هستند که یکی از اولین تعاریف توسط تسهیلات طراحی هم‌زمان انجام شده است. طبق این تعریف، مهندسی هم‌زمان یک رویکرد سیستماتیک برای توسعهٔ محصول یکپارچه می‌باشد که بر پایهٔ پاسخ به انتظارات مشتریان بوده که مظهر ارزش‌های تیمی از جمله همکاری، اعتماد و به اشتراک‌گذاری می‌باشد. در چنین شیوه‌ای تصمیم‌گیری با اجماع است که شامل تمام دیدگاه‌های موازی از آغاز چرخه عمر محصول می‌باشد [۱۶ و ۱].

مرکز طراحی هم‌زمان

مرکز طراحی هم‌زمان، یک مرکز مجهز به یک شبکه از رایانه‌ها، دستگاه‌های چندرسانه‌ای و ابزار نرم‌افزار است. این مرکز اجازه می‌دهد تا یک تیم چندرشته‌ای از کارشناسان به اعمال روش مهندسی هم‌زمان برای طراحی مأموریت فضایی بپردازند. این امر یک تعامل سریع و مؤثر از همه رشته‌های درگیر و همچنین حصول اطمینان از نتایج سازگار با کیفیت بالا را تسهیل می‌کند [۱۷].

9. Silveira
10. Schubert
11. Shing Fan
12. Matthyssen
13. Integrated Design Model

www.SID.ir

Archive of SID

ساختار و المان‌های مرکز طراحی هم‌زمان

مرکز طراحی هم‌زمان در درجهٔ اول به بررسی امکان‌سنجی فنی و مالی در مأموریت‌های فضایی آینده و مفاهیم فضاپیمای جدید، به‌طور معمول فاز 0 همچنین به عنوان پیش فاز A یا سطح 0 می‌پردازد و در مطالعات ارزیابی داخلی استفاده می‌شود. زیرساخت‌های نرم‌افزاری این تأسیسات، شامل یک پایگاه داده گسترده و یک ابزار کار کارآمد برای اطمینان از سازگاری طراحی پایان به پایان مأموریت فضایی می‌باشد. فرایند طراحی فضاپیما بر اساس مدل‌های ریاضی، با استفاده از نرم‌افزارهای سفارشی و کارپوشه‌های اکسل انجام می‌شود. به این معنی که، یک مجموعهٔ منسجم از پارامترهای طراحی را می‌توان در طول مطالعه تعریف و رد و بدل نمود و هر تغییری که ممکن است بر سایر رشته‌ها تأثیر گذارد، بلافاصله شناسایی و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این راه، تعدادی از تکرارهای طراحی می‌تواند انجام شود و گزینه‌های مختلف طراحی به راحتی می‌تواند تجزیه و تحلیل و مقایسه شود [۱۷].

با استفاده از روش CDF مطالعات مأموریت فضایی به صورت مؤثر، سریع و ارزان انجام می‌شود. امکانات طراحی مهندسی هم‌زمان با آخرین برنامه‌های کاربردی چندرسانه‌ای (به عنوان مثال انجمن هوشمند، صفحه نمایش لمسی، سیستم‌های ویدئو کنفرانس و غیره) به منظور پشتیبانی از ماهیت پیچیدهٔ طراحی یک سیستم فضاپیما مجهز می‌شود. همچنین، فاز آماده‌سازی را (چند هفته قبل مطالعه هسته) با تعریف مأموریت و سیستم مورد نیاز، تجزیه و تحلیل مأموریت اولیه و ایجاد تیم شروع می‌کند. تیم طراحی هسته‌ای به منظور ایجاد یک مجموعه از الزامات و اهداف مأموریت در تعامل مداوم با مشتری قرار دارد. سپس، فاز مطالعه (یک تا سه هفته) با حضور تمام کارشناسان که با هم در اتاق طراحی اصلی جمع شده‌اند، انجام می‌گیرد. فاز مطالعه توسط یک رهبر تیم که مسئول ارتباط مستقیم بین کارشناسان حوزه و همچنین برای استراتژی جلسات مهندسی خاص است، تعدیل می‌شود [۱۸]. از زمانی‌که مهندسی هم‌زمان به یک روش طراحی پروژه واقعی تبدیل شد، تنها دو تسهیلات ESA-CDF در اروپا و مرکز طراحی مأموریت یکپارچه سازمان ملی هوانوردی و فضایی (NASA-IMDC[14]) در ایالات متحده آمریکا در طراحی مأموریت‌های فضایی وجود داشت. این پژوهش نیز با تمرکز بر این دو مرکز انجام شده است.

مرکز طراحی مأموریت یکپارچهٔ سازمان ملی هوانوردی و فضایی ناسا (NASA-IMDC)

در اواسط دههٔ ۱۹۹۰، در طول یک دوره از کاهش منابع (پول و کار) و حرکت به سمت بهره‌وری بیشتر، ناسا NASA-IMDC را در مرکز پرواز فضایی گودارد (GSFC[15]) را تأسیس نمود. در آن زمان، در GSFC این عقیده وجود داشت که رویکرد سنتی ناکارآمد، گران و بسیار زمان‌بر است. رویکرد جدید پس از اجرایی سازی اصول مهندسی طراحی هم‌زمان که در آن مشتریان در همکاری بسیار نزدیکی با تیم مقیم مرکز متشکل از مهندسان رشته قرار دارند مدل‌سازی شد. GSFC یک محیط جامع برای توسعهٔ مفهوم و مطالعه مهندسی ابزار سنجش از راه دور و مأموریت‌های هوا و فضا به نام مرکز طراحی یکپارچه (IDC[16]) را توسعه داده است. این محیط در واقع از دو مرکز پژوهش از نزدیک مرتبط آزمایشگاه ابزار سنتز و تجزیه و تحلیل (ISAL[17]) و مرکز طراحی مأموریت یکپارچه (IMDC) تشکیل شده است [۳].

هدف اصلی IMDC، عملیاتی برای پشتیبانی از طیف گسترده‌ای از نیازهای مشتری برای مطالعات مفهوم مأموریت می‌باشد که عمدتا از تیم زمین و دانشمندان فضایی ناسا و دفاتر پروژه در شرکت ناسا تشکیل شده است. همچنین، IMDC از مطالعه مشتریان دانشگاه، صنعت و دیگر آژانس های فدرال پشتیبانی می‌کند. از زمان آغاز آن در ماه ژوئن سال ۱۹۹۷، IMDC ۱۵۳ مطالعه را به اتمام رسانده است. از این تعداد، ۸۲ مطالعهٔ علوم فضایی، ۵۶ مطالعهٔ علوم زمینی و ۱۵ عدد دیگر از مطالعات مختلف بودند. حدود ۲۰ درصد از مطالعات متمرکز بر فناوری بود. این مطالعات در درجهٔ اول برای GSFC انجام شد. اما، برخی مطالعات برای مراکز دیگر ناسا، سازمان‌های دیگر دولت ایالات متحده، دانشگاه و مشتریان تجاری انجام شد [۳].

ساختار و المان‌های تشکیل‌دهنده – NASA IMDC

NASA – IMDC از چهار عنصر تجهیزات و امکانات، پشتیبانی افراد و منابع انسانی، ابزارها و فرایندها تشکیل شده است [۱۸ و ۳]. هریک از این چهار عنصر نقش مهمی را در طراحی هم‌زمان بر عهده دارند. در ادامه به نقش این چهار عنصر در مرکز طراحی هم‌زمان پرداخته خواهد شد.

- **افراد و منابع انسانی**

نحوهٔ ارتباط افراد و ساختار سلسله‌مراتبی و دسترسی افراد به اطلاعات موجود از موضوعات دیگری است که باید در موضوع مهندسی هم‌زمان مد نظر قرار گیرد. تیم مهندسی هم‌زمان در IMDC به عنوان تیم مهندسی رشته تعریف شده است. اعضای این تیم بر اساس تجربه پرواز فضایی، چه در پرواز و یا حمایت از نظام زمین و قابلیت توانایی انجام کار در یک محیط هم‌زمان

14. NASA Integrated Mission Design Center

15. Goddard Space Flight Center
16. Integrated Design Center
17. Image Science and Analysis Laboratory

www.SID.ir

Archive of SID

مشترک انتخاب شده‌اند. بسیاری از این اعضا ۱۰–۱۵ سال تجربه طراحی زیرسیستم برای ماموریت پرواز به فضا را دارند و تیم مهندسی رشته یکی از مسائل مهم در فرایند طراحی در IMDC می‌باشد. تیم مهندسی رشته همیشه دارای یک رهبر تیم و یک مهندس سیستم، همراه با دیگر متخصصان است [۱۸ و ۳].

• فرایندها

فرایند مهندسی هم‌زمان تا زمانی که به یک حالت ایده‌ال همگرا شود، می‌تواند مورد بازبینی‌های متعددی قرار گیرد. آماده‌سازی، اجرا و جمع‌بندی برای انجام یک روش مطالعه بر اساس سه فاز مختلف برگزار می‌شود. اولین چالش برای هر مطالعه، ایجاد مجموعه‌ای مناسب از برآورده‌سازی انتظارات مشتری است. مورد بعدی تعادل الزامات مورد مطالعه با منابع مطالعه IMDC، از نظر تجزیه و تحلیل و کار است. این بخش از مرحلهٔ اول، آماده‌سازی نامیده و هنگامی شروع می‌شود که مشتری به طور کامل بر روی خط فرم درخواست IDC برای پشتیبانی، شناسایی اطلاعات عمومی در مورد نوع مأموریت، منطقه کاربرد مطالعه درخواستی و برنامه مورد انتظار باشد [۱۸ و ۳].

پس از یک بررسی مختصر، درخواست صورت گرفته توسط کارکنان در چندین جلسهٔ برنامه‌ریزی شده با مشتری به بحث در مورد مسائل مورد مطالعه، پشتیبانی مسائل و کمک به مشتری برای تکمیل حدود ۱۰۰ مدخل از پرسشنامه پیش کار انجام می‌شود. این پرسشنامه برای حفظ اطلاعات دقیق در مورد اهداف علم و مأموریت، مفهوم ابزار، پارامترهای مدار، الزامات موضوع، مفهوم عملیاتی مأموریت و معاملات و محصولات مطالعه مورد نظر طراحی شده است. مرحلهٔ اول می تواند ۲ تا ۴ ماه قبل از مرحله دوم شروع شود. مرحلهٔ دوم اجرا نامیده می‌شود. بسته به محدودهٔ مورد مطالعه، این مرحله معمولاً ۴ تا ۵ روز طول می‌کشد. مطالعهٔ کامل توسط تیم مهندسی رشته به رهبری رهبر تیم و مهندس سیستم انجام می شود. روند IMDC، به عنوان یک فرایند مهندسی هم‌زمان، در چند تکرار اتفاق می‌افتد. این تکرار تا زمانی که همه پارامترها به طراحی پایه‌ای مفهوم مأموریت منسجم پایانی همگرا برسند، تکرار می‌شود. این فرایند زمانی وارد فاز نهایی خود یعنی فاز جمع بندی خواهد شد که این طراحی پایهٔ نهایی اطلاعات کافی در اختیار توسعهٔ عملکرد معتبر و مدل‌های هزینه با شرایط فراهم کند. شکل **۱** جریان مشارکتی تکراری IMDC را نشان می‌دهد [۱۸ و ۳].

• ابزارها

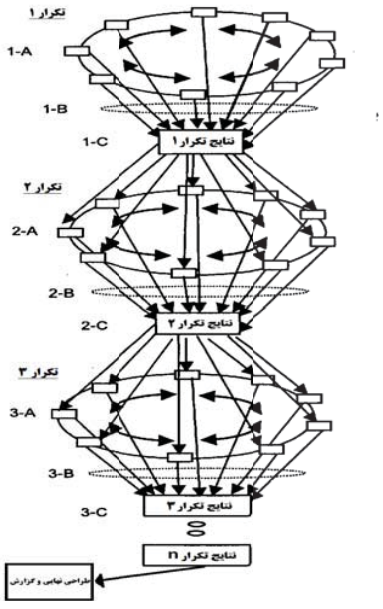
برای پاسخگویی به انتظارات مشتری، بسیار مهم است که IMDC بهترین ابزار را دارد. IMDC از دو دسته ابزار کلی مختلف زیرساخت‌ها و ابزارهای دیسیپلین استفاده می‌کند.

الف) ابزارهای زیرساخت

این ابزارها معمولاً منحصر به فرد بوده و در ناسا برای استفاده توسط تیم مهندسی رشته درIMDC یا برای مراکز طراحی مشابه توسعه یافته است. این نوع ابزار به طور مستقیم به پشتیبانی مهندسی هم‌زمان، مانند پلت‌فرم رابط تبادل اطلاعات الکترونیکی می‌پردازد و شاید مهم‌ترین ابزار در IMDC به حساب می‌آید. زیرا این ابزار، تیم IMDC را در طول طراحی هماهنگ نگه می‌دارد. این ابزار تحت مدیریت مستقیم مهندس سیستم هستند. بعد از استفاده از ابزار سنتی مانند کاغذ و ایمیل، پلت‌فرم تبادل داده‌های پیچیده، سیستم IMDC برای به اشتراک‌گذاری اطلاعات توسعه داده شد و مورد استفاده قرار گرفت. این ابزار توسعه یافته که در html از طریق مرورگر وب دیده می‌شود، عدم انعطاف‌پذیری ذاتی تمامی کاربری‌های html را نشان داد که پس از آن ابزار طراحی سطح سیستم و پلت‌فرم اطلاعات جدید ایجاد شد. این امر به صورت تبادل اطلاعات اکسل و در ویژوال بیسیک کدگذاری شد که در یک سیستم از برنامه‌های کاربردی اکسل در دسترس بوده، اما جداگانه قابل اجرا است [۱۸ و ۳].

ب) ابزارهای دیسیپلین

ابزارهای ارائه شده توسط مهندسین دیسیپلین را در برمی‌گیرد. آنها می‌توانند به صورت ابزارهای تجاری و یا سفارشی ساخته شده، باشند. اغلب آن‌ها در بسیاری از موارد در خانه توسط مهندسین دیسیپلین برای استفاده شخصی توسعه یافته‌اند که ابزارهای تیم مهندسی رشته نامیده می‌شوند. همه مهندسان زیرسیستم انجام تعمیر و نگهداری، بهبود و ارتقا ابزار خود را با کمی و یا بدون هماهنگی مرکزی IMDC انجام می‌دهند [۱۸ و ۳].



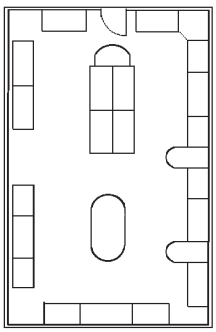
شکل ۱– جریان مشارکتی تکراری **IMDC** [۱۹].

www.SID.ir

Archive of SID

• **تجهیزات و امکانات پشتیبانی**

این مرکز در یک فرایند مهندسی هم‌زمان نقشی حیاتی ایفا می‌کند. ۲۰ منطقه کاری، هر یک با داشتن یک ایستگاه کاری مهندسی تعیین شده همراه با تجهیزات لازم و قابلیت‌های ارتباطی و نرم‌افزار نزدیک به ۹۰ متر مربع وسعت را اشغال می‌کند. این تجهیزات و نرم‌افزار قرار است به ارائهٔ حداکثر تعامل بین ایستگاه‌های کاری بپردازند. همچنین، اتاق برای مشتری و افزایش تعامل تیم مطالعه طراحی شده است. در آزمایشگاه یک میز کنفرانس محور در مقابل اتاق وجود دارد که توسط مشتریان در طول مطالعه اشغال می‌شود. مشتری باید برای حفظ حضور در اتاق تشویق شود، به طوری که تیم بتواند بازخورد سریعی نسبت به پرسش‌ها و مسائل مربوط به طراحی به دست آورد. طرح تسهیلات IMDC در شکل **۲** آورده شده است که در آن می‌توان متوجه حضور و ترتیب تیم‌ها در اتاق شد. همچنین، سه صفحه نمایش در پایین طرح نشان داده شده است که هر یک به صورت جداگانه کنترل شده و تصاویر مختلف در هر کدام نمایش داده می‌شود. اتاق کنفرانس جلسات فضای جداگانه برای مرحلهٔ پیش از کار و جلسات فراهم می‌کند. همچنین، این اتاق کنفرانس می‌تواند توسط مشتری در طول اجرای مطالعه استفاده شود [۱۸ و ۳].



شکل ۲- چیدمان اتاق طراحی تسهیلات IMDC [۲۰].

تسهیلات طراحی هم‌زمان آژانس فضایی اروپا (ESA-CDF)

مرکز تکنولوژی و تحقیقات فضایی اروپا (ESTEC) در ماه نوامبر سال ۱۹۹۸ به صورت تجربی و تحت حمایت و ابتکار عمل برنامهٔ مطالعات عمومی آژانس فضایی اروپا تأسیس شد. ایدهٔ اولیهٔ آن بررسی میزان استفاده از مهندسی هم‌زمان برای ایجاد یک محیط طراحی یکپارچه برای ارزیابی مأموریت‌های آینده بود. نخستین مطالعه موردی توسط ماهوارهٔ مرکزی اروپا برای تحقیقات پیشرفتهٔ ارزیابی مأموریت، از ژانویه تا مارس ۱۹۹۹ انجام شد که توسط ESA به طور مشترک با آژانس فضایی ایتالیا انجام گرفت. این مرکز طراحی بعد از مطالعه به نام راه‌اندازی مهندسی هم‌زمان برای نتایج پیشرفته[18] شناخته شد [۱۷ و ۳].

آژانس فضایی اروپا مرکز ارزیابی اصلی برای مأموریت های فضایی آینده و بررسی صنعتی می‌باشد که در ESTEC واقع شده است. تسهیلات طراحی هم‌زمان ESA-CDF در مرکز ESTEC در نوردویک قرار دارد که از اوایل سال ۲۰۰۰ عملیاتی شده است. CDF عمدتاً مسئول انجام مطالعات ارزیابی مأموریت‌های آیندهٔ آژانس فضایی اروپا است. این مطالعات شامل ارزیابی فاز 0 و یا پیش‌فاز A می‌باشد. مطالعاتی که در آن نیازها شناسایی شده و تجزیه و تحلیل مأموریت انجام می شود. فاز 0 موارد شناسایی و توصیف محتوای مأموریت، بیان به موقع نیازها، عملکرد مورد انتظار و اهداف قابلیت اعتماد و ایمنی، بررسی محدودیت‌های عامل به ویژه با توجه به محیط فیزیکی و عملیاتی، شناسایی مفاهیم سیستم ممکن با تأکید بر درجه نوآوری و جنبهٔ حیاتی بودن و ارزیابی مقدماتی داده مدیریت پروژه (سازمان، هزینه‌ها، برنامه) را ممکن می‌سازد [۲۱ و ۲۰].

• **ساختار و المان‌های تشکیل‌دهنده ESTEC/ESA-CDF**

عناصر کلیدی CDF عبارت از فرآیند، تیم چندرشته، مدل طراحی یکپارچه و تسهیلات می‌باشد [۳]. هریک از این چهار عنصر نقش مهمی را در طراحی هم‌زمان بر عهده دارند. در ادامه به نقش این چهار عنصر در مرکز طراحی هم‌زمان پرداخته خواهد شد.

- **فرایند**

برای اینکه اطمینان حاصل شود که فرایند طراحی همگرا در یک راه‌حل بهینه شده است، ارزیابی اولیه از تأثیر تغییرات ضروری است. روش مهندسی هم‌زمان به منظور بهبود استفاده از دست‌یابی به این بررسی اولیه و تأیید آن، به صورت گام به گام در نظر گرفته شده است. این روند با مرحلهٔ آماده‌سازی شروع می‌شود که در آن برخی از نمایندگان تیم مهندسی (رهبر تیم، مهندس سیستم و متخصصان انتخاب شده) و مشتری برای اصلاح و رسمی‌سازی الزامات مأموریت، تعریف محدودیت، برای شناسایی افراد پیش‌برنده طراحی و برآورد منابع مورد نیاز برای رسیدن به اهداف مورد مطالعه در کنار یکدیگر جمع می‌شوند [۲۱ و ۲۰]. پس از آن، شروع مطالعه صورت می‌گیرد و فرایند طراحی شروع می‌شود. در تعدادی از جلسات باید همه متخصصان شرکت داشته باشند. این یک فرآیند تکرارشونده است که در آن تمام جنبه‌های طراحی

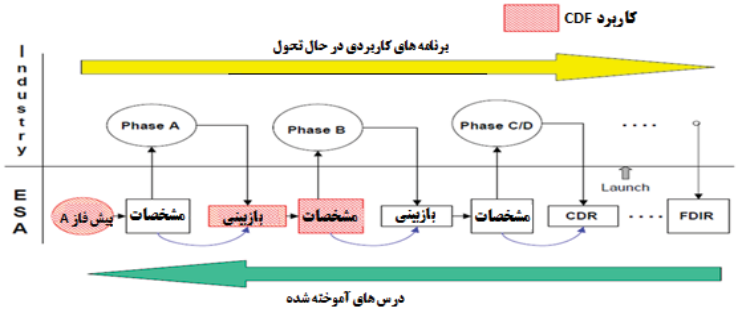
18. CESAR

www.SID.ir

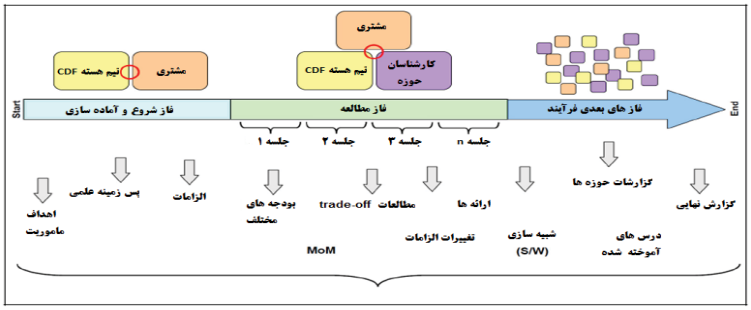
Archive of SID

سیستم در حالت سریع و کامل انجام می‌شود. مشارکت همزمان همه متخصصان خطر فرضیات طراحی نادرست را کاهش می‌دهد، زیرا هر تصمیم بزرگ با بحث و توافق جمعی حاصل می‌شود. در این روش فرآیندهای طراحی به صورت موازی انجام شده و اجازه می‌دهد تا رشته‌هایی که به طور سنتی در مرحلهٔ بعد فرایند درگیر شدند، فرصت شرکت از ابتدا و اصلاح روند را داشته باشند. مشتری به شرکت در تمام جلسات به همراه دیگر متخصصان به انتخاب خود (به عنوان مثال دانشمند مطالعه و کنترل پروژه) دعوت می‌شود. به‌طوری‌که، آن‌ها می‌توانند به تدوین فرضیات مطالعه کمک کرده، به سوالات تیم پاسخ داده و تکامل طراحی را دنبال کنند.

جلسه اول طراحی با ارائهٔ الزامات مأموریت و محدودیت‌های مشتری به تیم شروع می‌شود. در جلسات پس از آن، هر متخصص گزینه‌های پیشنهادی یا راه حل برای دامنهٔ خود را ارائه و برجسته‌سازی/ بحث در مورد مفاهیم حوزه‌های دیگر را در دستور کار قرار می‌دهد [۲۱ و ۲۰]. شکل **۳** چرخهٔ عمر پروژه در ESA و شکل **۴** نقش مهندسی همزمان در فازهای مختلف طراحی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- چرخه عمر پروژه در ESA [۲۳].



شکل ۴- نقش مهندسی همزمان در فاز های مختلف طراحی [۲۴].

- تیم

نحوهٔ ارتباط افراد و ساختار سلسله‌مراتبی و دسترسی افراد به اطلاعات موجود از موضوعات دیگری است که باید در موضوع مهندسی همزمان مدنظر قرار گیرد. منابع انسانی یک عنصر حیاتی به شمار می‌آید. یک گروه از مهندسان متخصص با استفاده از ابزار پیچیده با هم در یک اتاق به عنوان یک تیم کار می‌کنند [۳].

- مدل طراحی یکپارچه (IDM)

این فرایند توسعهٔ تکراری مطالعه نیاز به یک مدل مهندسی دارد که قادر به اتصال و به‌روزرسانی زیرسیستم‌های مختلف باشد. مدل طراحی یکپارچه (IDM) حاوی یک ساختار داده‌های میان‌رشته‌ای بر اساس نرم‌افزار اکسل می‌باشد. هر IDM از مناطق ورودی، خروجی، محاسبه و نتایج تشکیل شده است. مناطق ورودی و خروجی برای تبادل پارامترها با بقیهٔ سیستم (به عنوان مثال ابزار داخلی یا خارجی و مدل) استفاده می‌شود. منطقهٔ محاسبه شامل معادلات و مشخصات داده‌ها برای فناوری‌های مختلف به منظور انجام فرایند مدل‌سازی واقعی می‌باشد. مدل سیستم CDF باید دو نیاز اساسی را برآورده سازد. این مدل باید واجد نشان دادن یک مخزن اطلاعات طراحی قوی و مداوم به‌روزشونده و همزمان شامل تمام ابزار مورد نیاز توسط محاسبات سریع همهٔ پارامترهای طراحی باشد. مدل سیستم CDF، مدل توزیع بر اساس استفاده از چند کارپوشهٔ اکسل پوشش‌دهندهٔ حوزه‌های فنی مختلف درگیر در طراحی سیستم مأموریت فضایی کامل است [۲۱ و ۳].

مدل سیستم محیط نرم‌افزاری CDF علاوه‌بر چند ویژگی جدید، به عنوان مطالعات پیشرفت از هستهٔ اصلی آن توسعه

www.SID.ir

Archive of SID

یافته‌اند و هنوز هم در حال توسعه می‌باشد. با این حال، این جنبهٔ «در حال تحول» بودن ESTEC CDF یک جزء ذاتی چنین تسهیلاتی با هدف استحکام سیستم مداوم، قابلیت اطمینان و افزایش کارایی و معرفی قابلیت‌های جدید برای توسعهٔ مستمر در زمینهٔ کاربرد روش طراحی هم‌زمان می‌باشد [۲۱ و ۳].

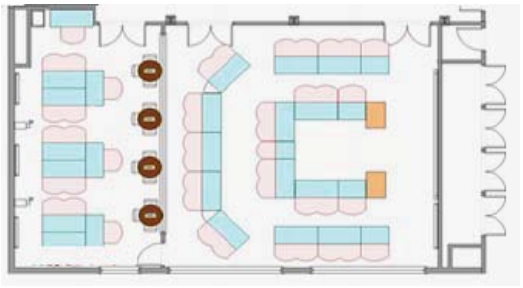
– تسهیلات

تمام تیم‌های درگیر در پروژه دارای مکان‌هایی اختصاصی به منظور مشارکت در توسعهٔ پروژه هستند. نحوهٔ چیدمانی و معماری فیزیکی شرکت‌های مختلف بر اساس بلوغ سازمانی و امکانات آن‌ها در نظر گرفته شده است. ملاقات‌های تیم متخصصان در تسهیلات طراحی هم‌زمان در جلسات طراحی انجام می‌شود. بعد از حدود یک سال از فعالیت‌های موفق و ۱۰ مطالعه انجام شده در مرکز تجربی اولیه، یک مرکز جدید و دائمی در ESTEC ساخته شده است [۲۱ و ۳].

محل اقامت شامل یک اتاق طراحی، به علاوه یک اتاق جلسه و فضای اداری پشتیبانی پروژه می‌باشد. محل تجهیزات و طرح CDF به منظور تسهیل در روند طراحی، تعامل، همکاری و مشارکت متخصصان طراحی شده‌اند. به طور خاص، رشته‌های با بیشترین تعامل یا پیوندهای درونی با دیگر (مانند داده و به اشتراک گذاری مدل‌ها) نزدیک به یکدیگر واقع شده‌اند. اتاق مرکزی به مشتری، متخصصان و مشاوران پشتیبانی اختصاص یافته است. این مرکز با ایستگاه‌های کاری کامپیوتر مختص هر رشته فنی، مجهز شده است. اکثر ایستگاه‌های کاری یکسان دارای کامپیوتر رومیزی قدرتمند هستند. در جلو یک دیوار چندرسانه‌ای شامل دو صفحه نمایش بزرگ و یک پروژکتور هوشمند قرار دارد. هر صفحهٔ نمایش هر ایستگاه کاری را نشان می‌دهد، به طوری که متخصصان می‌توانند ارائه داده و گزینه های طراحی و یا پیشنهادات و هایلایت‌های هر پیامد اعمال شده بر، و یا با، حوزه‌های دیگر را مقایسه نمایند. تجهیزات ویدئو کنفرانس در مرکز نصب اجازه می‌دهد تا اعضای تیم و/یا دیگر متخصصان از سایت‌های از راه دور در جلسات شرکت کنند [۲۱ و ۱۹].

CDF مجموعه‌ای از اتاق‌های طراحی شده و مجهز به تمام ابزارهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مربوطه برای ایجاد یک محیط طراحی چندرشته‌ای، ارائه ارتباط مؤثر، تبادل اطلاعات، ابزار و ماشین‌آلات و پایگاه داده برای تعدادی از اعضای تیم برای کار به صورت هم‌زمان می‌باشد. CDF شامل ۳ اتاق طراحی و تعدادی اتاق پشتیبانی و جانبی در اطراف یک لابی مرکزی می‌شود. اتاق طراحی اصلی با ۳۰ ایستگاه کامپیوتر به عنوان اتاق اولیه برای مأموریت‌های بزرگ و یا ابزار مطالعات بزرگ استفاده می‌شود. در حالی که، اتاق طراحی پروژه کوچکتر است و به طور عمده برای مطالعات و یا بررسی‌های کوچکتر و همچنین جلسات تجزیهٔ یک مطالعهٔ بزرگتر استفاده می‌شود. تمام اتاق‌ها از طریق شبکه‌های صوتی و تصویری اجازه می‌دهد تا داده‌ها از هر صفحهٔ نمایش و یا ایستگاه کاری بر روی هر یا همهٔ صفحه نمایش‌ها در اتاق‌های دیگر نمایش داده شود. همچنین، تمام اتاق باید امکانات ویدئو کنفرانس کامل باشد [۲۱ و ۱۷].

بسیاری از ایستگاه‌های کاری دارای رایانه‌های شخصی یکسان می‌باشند. اما پیکربندی، سازه و شبیه‌سازی دارای ایستگاه‌های کاری اختصاصی است. تمام ایستگاه‌های کاری شامل یک صفحهٔ پیش‌نمایش است که می‌تواند بین دو کاربر برای دریافت داده‌ها از دیوار تجسمی و یا نمایش دادهٔ اضافی برای هر کاربر به اشتراک گذاشته شود. همچنین، هر ایستگاه کاری باید دارای یک دوربین و میکروفون برای فعال کردن تجربهٔ جامع‌تر برای شرکت‌کنندگان در مطالعه از راه دور باشد [۲۱]. شکل **۵**، چیدمان اتاق طراحی تسهیلات طراحی هم‌زمان را نشان می‌دهد.



شکل ۵- چیدمان اتاق طراحی تسهیلات طراحی هم‌زمان [۳].

یکپارچه‌سازی عناصر CDF

در ادغام عناصر مختلف CDF باید نگاهی به کاهش هر گونه تداخل و در نتیجه تسهیلات کارآمدتر وجود داشته باشد. نگاه به هر یک از عناصر به طور جداگانه می‌تواند منجر به کار در حال تکمیل به روش‌های مختلف شود. یک روش سازگار، به کاهش حجم کار و هماهنگی بین طراحی و زیرساخت‌های پشت طراحی کمک خواهد کرد. فرایند طراحی باید ابتدا در حال توسعه یکپارچگی بین عناصر CDF باشد [۱۰].

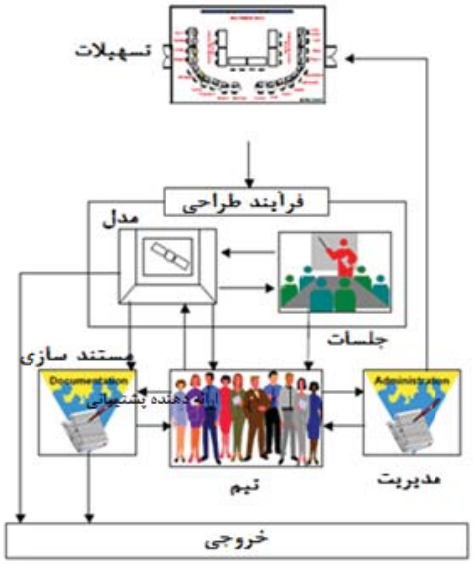
تیم عنصر کلیدی برای طراحی موفق است و باید توسط عناصر دیگر تسهیلات پشتیبانی شود [۲۱]. طراحی هم‌زمان یک رویکرد مدل‌محور است و مدل کار تیمی را پشتیبانی می‌کند. اما، این تیم در توسعهٔ مدل که به نوبهٔ خود نفع کار طراحی را فراهم

www.SID.ir

Archive of SID

می‌کند، کار می‌کند. این مدل در جلسات برای پاسخ‌های زمان واقعی و محاسبات و برای ارائهٔ اطلاعات به گروه مونتاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد. تمام کارپوشه‌های این مدل در این راه استفاده شده و توسعه می‌یابند به طوری که اطلاعات را بتوان به تیم ارائه (از طریق ایستگاه‌های کاری و یا پروژکتور) نمود. همچنین، این مدل اجازه می‌دهد تا اطلاعات کارپوشه‌های در شبه‌زمان واقعی جریان داشته باشد، به طوری که جریان داده‌ها در طول جلسات رخ دهد. علاوه‌براین، این مدل اجازه می‌دهد تا تکرارهای طراحی در یک جلسه اتفاق بیافتند. بنابراین، مدل به عنوان پایه‌ای برای بحث در بسیاری از جلسات استفاده می‌شود. در این راه کار کمتری مورد نیاز است. زیرا، آماده شدن برای جلسات و توسعهٔ مدل تقریباً شبیه به هم است. زیرساخت‌های توسعه داده شده برای حمایت از رویکرد جلسه–مدل اجازه می‌دهد مدل توسط هر یک از اعضای تیم در طول جلسه استفاده شود. همچنین، این رویکرد اجازه می‌دهد کارپوشه‌های فردی و دیگر ابزار نرم‌افزار به این تیم ارائه شود [۱۰].

ممکن است که در یک جلسه فقط از اکسل استفاده شود. همچنین، دیگر ابزارهای طراحی نرم‌افزار می‌تواند در یک جلسه مورد استفاده قرار گیرد. غیر از اکسل، ابزار دیگری نیز می‌تواند به استفاده و نمایش مدل سیستم CAD در هر مقطع در طول یک جلسه و یا هر جلسه دیگر بپردازد. همچنین، در طول جلسات زیرساخت CDF ارتباطات با متخصصان خارج از مرکز (به عنوان مثال از طریق ویدئو کنفرانس) را ممکن می‌سازد. زیرساخت CDF تمام تجهیزات مورد نیاز برای اجرای جلسه، مدل، اداره و مستندسازی را فراهم می‌کند. اداره و مستندسازی برای تسهیلات در یک روش یکپارچه توسعه داده شده است. اداره تسهیلات عمدتاً کار یک گروه انتخابی از تیم است. آن‌ها تسهیلات را قابل اجرا نگه داشته و توسعهٔ آن را سازماندهی می‌کنند. اداره برای خدمت‌دهی به فرایند طراحی از طریق جلسات و اجرای کلی تسهیلات توسعه داده شده است [۱۰]. مستندسازی برای خدمت‌دهی به مشتری و تیم، تکمیل خواهد شد. در صورت امکان، این مدل در ایجاد هر دوی راهنماهای کاربر و گزارش طراحی فنی استفاده می‌شود. جلسات نیز تا حدی برای مستندسازی و مدیریت استفاده می‌شود. ایجاد اسناد طراحی از جمله زمان و گزارش طراحی با مدل ایجاد شده یکپارچه شده است. انتقال بسته‌های اطلاعات به طور مستقیم از مدل به اسناد به منظور کاهش تلاش‌های کلی مورد نیاز تیم برای تکمیل مطالعه کمک می‌کند. بنابراین، CDF نسخه‌برداری از کار را هر جا که ممکن است کاهش می‌دهد [۲۱ و ۱۰]. این ادغام زیرساخت CDF به صورت شماتیک در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- یکپارچه‌سازی عناصر CDF [۱۰].

مورد مطالعه‌ای پیاده‌سازی اقتباسی از ESA CDF

در بخش‌های پیشین تسهیلات طراحی هم‌زمان و المان‌های آن معرفی شدند. در این بخش به تجربه ایجاد تسهیلات طراحی هم‌زمان در یک دانشگاه پرداخته خواهد شد. این تجربه یک مورد مطالعه‌ای پیاده‌سازی اقتباسی از ESA CDF می‌باشد.

پیاده‌سازی CDF در IST

اجرای محیط آموزشی مهندسی هم‌زمان در IST شامل مفهوم یک مرکز طراحی هم‌زمان در مقیاسی کوچکتر از ESA CDF، برای رسیدن به الزامات فضایی و محیط دانشگاهی می‌باشد. اولین قدم برای راه‌اندازی تسهیلات، اتصال چندین کامپیوتر حاصل از یک محیط شبکه‌ای می‌باشد. هنگامی که تمام رایانه‌ها آماده هستند، تعریف ترتیب ایستگاه‌های کاری در اتاق اهمیت می‌یابد. یکی از موارد مهم در یک محیط مهندسی هم‌زمان، چیدمان تسهیلات می‌باشد [۳].

- **قابلیت‌ها و تجهیزات آزمایشگاهی IST - CDF**

در بخش سخت افزار CDF برای انجام یک مطالعه پیچیده تعیین تعداد معینی از ایستگاه‌های کاری برای جا دادن هر رشته لازم است. به طور معمول در ESA-CDF ۱۶ تا ۱۸ رشته وجود دارد که بسیاری از آن‌ها با دو ایستگاه کاری اختصاصی وجود دارند. اتاق در نظر گرفته شده در اینجا کوچک بوده و در حال حاضر تنها پنج کامپیوتر در دسترس وجود دارد. از این رو، هر ایستگاه کاری ممکن باید بسته به نوع پروژه به بیش از یک رشته خدمت‌دهی کند. یکی از رایانه‌ها نیز به عنوان یک سرور،

www.SID.ir

Archive of SID

برای ایستگاه‌های کاری دیگر کار می‌کند. هر ماشین برای انجام یک مطالعه، با استفاده از ابزار لازم با توجه به رشته به اندازه کافی قدرتمند می‌باشد. با این حال، ارتباطات برای جلسات ضروری بوده و وجود کامپیوترهای با دوربین‌های دیجیتال و هدفون می‌تواند این جنبه به ویژه از نقطه نظر امکان شرکت تیم‌ها از راه دور را بهبود بخشد. به عنوان مثال در ESA-CDF (در هلند)، افراد از آژانس فضایی آلمان در اغلب جلسات شرکت می‌کنند. همچنین، وجود یک دیوارهای چندرسانه‌ای برای ارائهٔ نتایج ضروری است. می‌توان با گنجاندن یک پروژکتور و شاید تخته هوشمند جهت انجام تجزیه و تحلیل برای تمام تیم به این مهم دست یافت [۳].

• نرم‌افزار در IST-CDF

در IST-CDF چند محدودیت برای استفاده نرم‌افزار در آزمایشگاه وجود دارد. تجزیه و تحلیل نرم‌افزار مورد استفاده در ESA-CDF نشان می‌دهد که بعضی برنامه‌ها نمی‌توانند در IST-CDF استفاده شود، زیرا مجوز دسترسی برای آن‌ها وجود ندارد. بنابراین، راه‌حل موجود در IST برای استفاده در مطالعات مهندسی هم‌زمان، در مقایسه با ابزار عمومی مورد استفاده در ESA با توجه به محدودیت بودجه و در دسترس بودن موجودی‌ها در جدول **۱** ارائه شده است. علاوه‌براین ابزار عمومی که برای حفظ کار هم‌زمان مرکز طراحی استفاده می شود، ابزار مخصوصی برای هر حوزه وجود دارد که مقایسه آنها در جدول **۲** نشان داده شده است [۳].

جدول ۱– ابزار خاص حوزه در ESA-CDF در برابر IST-CDF [۳].

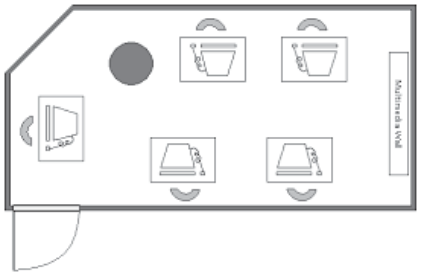
حوزه	ابزار استفاده شده توسط IST-CDF	ابزار استفاده شده توسط ESA-CDF
طراحی سازه، پیکربندی، محل اقامت	Soild Works	CATIA
سیستم کنترل مدار و وضعیت	Matlab	Matrix X, Matlab
تجزیه و تحلیل مأموریت	SKT	IMAT, SKT,ORION
شبیه‌سازی مأموریت و تجسم	SKT	EUROSIM
برنامه‌ریزی	MS Project	MS Project
مدل‌سازی و برآورد هزینه	Not Defined	ECOM Cast, Technical Database and Small Satellite Cost Model, Race Model
ارتباطات	SKT	SKT
ابزار	Not Defined	MathCAD

جدول ۲– ابزار عمومی در ESA-**CDF** در برابر IST [۳].

عملکرد	ابزار استفاده شده توسط IST-CDF	ابزار استفاده شده توسط ESA-CDF
مدل‌سازی سیستم	Excel spreadsheets	Excel spreadsheets
ذخیره‌سازی اطلاعات	Ws1 Hard disk	NT file server
اسناد و مدارک پروژه	Microsoft Word	Microsoft Word
ارتباطات الکترونیکی در تیم	Not Defined	Lotus Notes
ذخیره‌سازی اسناد	Ws1 Hard disk	Terminal Server
ارتباط صوتی-تصویری از راه دور	Not Defined	Video Conference and net meeting

• چیدمان CDF

با توجه به اتاق در دسترس برای آزمایشگاه در IST، چیدمان ایده‌آل و همچنین تعدادی از ایستگاه‌های کاری موجود برای مطالعات کاملاً امکان‌پذیر است. از این رو، با توجه به طرح شکل **۷** و محدودیت‌های فعلی فضای در دسترس، ایجاد دیوارهای چندرسانه‌ای باید در صورت لزوم در زمانی مقابل درب اصلی خدمات آزمایشگاه قرار می‌گیرد، قابل حمل باشد (آزمایشگاه چندمنظوره است و فضا باید بین پروژه‌ها و اهداف مختلف به اشتراک گذاشته شود). یک اتاق ثانویه نیز در IST-CDF، با دو ایستگاه کاری وجود دارد که می‌تواند برای انجام جلسات بین مشتری و تیم برای بحث در مورد مسائل اصلی مطالعه، اهداف و غیره مورد استفاده قرار گیرد. در صورت لزوم آن‌ها می‌توانند از راه دور در مطالعه شرکت کنند، البته به شرطی که دوربین و ارتباطات در دسترس باشد [۳].



شکل ۷ – چیدمان اتاق اصلی IST-CDF [۳].

• استفاده از تجهیزات CDF

علاوه‌بر سیستم‌های ارتباطی و تخته هوشمند، دست‌یابی به یک سرور اختصاصی برای بایگانی اطلاعات نیز ارزشمند است. زیرا، در حال حاضر در یکی از ایستگاه‌های کاری موجود که

www.SID.ir

Archive of SID

توسط حوزه‌ها استفاده می‌شود بایگانی انجام می‌گیرد. وقتی که یک مکان جدید بزرگتر برای راه‌اندازی تسهیلات طراحی هم‌زمان در دسترس باشد، اکتساب چند کامپیوتر جدید ضروری است تا اطمینان حاصل شود که در آن حوزه سخت‌افزار به اشتراک گذاشته نمی‌شود [۳].

درس‌هایی از پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز

در بررسی انجام شده توسط موسسه تجزیه و تحلیل دفاع ایالات متحده آمریکا، ویژگی‌های مشترکی در شرکت‌هایی با پیاده‌سازی موفقیت آمیز مهندسی هم‌زمان شناسایی شدند. این ویژگی‌ها پشتیبانی مدیریت ارشد، نیاز به درک مشترک نیاز به تغییر در سازمان، تشکیل تیم چندرشته‌ای برای توسعه محصول و سیاست‌های آرامش‌بخش که تغییرات طراحی را مهار و اختیارات و مسئولیت بیشتری به اعضای تیم طراحی ارائه می‌کنند بوده‌اند [۲۴].

از جمله عناصر ضروری که برای اجرای موفقیت آمیز مهندسی هم‌زمان در مطالعات شناسایی شده‌اند، می‌توان از تیم چندرشته‌ای، ارتباطات و هماهنگی پایدار در سراسر رشته‌ها و سازمان‌های مختلف درگیر با محصول، استفاده از روش‌ها و اصول مدیریت کیفیت، شبیه‌سازی کامپیوتری محصولات و مراحل، پایگاه ادغام داده‌ها، برنامه‌های کاربردی ابزار و رابط کاربر نام برد. درباره کارکنان نیز این عناصر عبارت از برنامه آموزش برای کارکنان در تمام سطوح، توسعه نگرش مالکیت کارکنان نسبت به فرآیندهای که در آن دست داشته‌اند و تعهد به بهبود مستمر بوده‌اند [۲۵].

چهار قاعده کلی برای دستیابی به پیاده‌سازی موفقیت آمیز مهندسی هم‌زمان از اطلاعات منتشر شده اقتباس شده‌اند. قاعده اول این است که زمانی که شرکت آماده نیست مهندسی هم‌زمان را بر عهده نگیرید. قاعده دوم بیان می‌دارد که استقرار مهندسی هم‌زمان به عنوان به کارگیری یک خط محصول جدید بزرگ دشوار است. قاعده سوم و چهارم تاکید می‌کنند که مهندسی هم‌زمان روشی شامل تغییر فرهنگی و همچنین شیوه‌های کار است و در نهایت تکنولوژی، ابزارها و تکنیک‌های آن بدون فرهنگ مهندسی هم‌زمان، منافع را تا حد زیادی کاهش می‌دهند [۲۶].

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاربرد مهندسی هم‌زمان در پروژه‌های فضایی و نحوهٔ پیاده‌سازی مهندسی هم‌زمان در مرکز طراحی هم‌زمان جهت ساخت یک تسهیلات طراحی هم‌زمان در مراکز فضایی، دانشگاه‌ها و صنایع مورد بررسی قرار گرفت. برای معرفی مرکز طراحی هم‌زمان ساختارها و المان‌های مرکز طراحی مأموریت یکپارچه سازمان ملی هوانوردی و فضایی ناسا و تسهیلات طراحی هم‌زمان آژانس فضایی اروپا مورد بررسی قرار گرفتند. مورد مطالعه‌ای پیاده‌سازی اقتباسی دانشگاه لیسبون پرتغال از تسهیلات طراحی هم‌زمان آژانس فضایی اروپا برای نشان دادن نحوهٔ اقتباس و الگوبرداری از پیاده‌سازی مهندسی هم‌زمان مورد استفاده قرار گرفت. یکی از معایب مهندسی هم‌زمان پایین بودن سطح خلاقیت در بهبود فرآیندها و کارکردهای اجزای محصول می‌باشد. برای پژوهش‌های آتی استفاده از تکنیک مهندسی ارزش پیشنهاد می‌شود تا با تلفیق مهندسی هم‌زمان و مهندسی ارزش خلاقیت را در فرایندها و کارکردهای اجزای محصول افزایش داد. از رویکرد ارائه شده می‌توان در صنایع دیگر نظیر صنعت خودروسازی و صنایع دفاعی نیز استفاده نمود.

مراجع

[1] Prasad, P., *Concurrent Engineering Fundamentals,* 2rd Ed., Prentice Hall, Integrated Product Development, 1996.

[2] Stjepandić, j., Wognum, N., and Verhagen, W.J.C., *Concurrent Engineering in the 21st Century Foundations, Developments and Challenges,* Springer International Publishing, Switzerland.

[3] Silveira Perei, V., "Development of a Concurrent Design Facility Based on ESA CDF: Application to Aircraft Design," *Instituto Superior Técnico, Lisbon University,* 2009.

[4] Jørgensen, N., "The Boeing 777: Development Life Cycle Follows Artifact," *World Conference on Integrated Design and Process Technology (IDPT)*, pp. 25-30, 2006.

[5] Bandecchi, M. and Melton, B., "Concurrent Engineering Applied to Space Mission Assessment and Design, Mission Control Systems Division, ESA Directorate for Technical and Operational Support", *ESTEC, Noordwijk, The Netherlands*, 1999.

[6] Ogawa, A., "Concurrent Engineering for Mission Design in Different Cultures", *Massachusetts Institute of Technology*, February 2008.

[7] Di Domizio, D., and Gaudenzi, P., "A Model for Preliminary Design Procedures of Satellite Systems," *Concurrent Engineering (Concurrent Eng-RES A)*, pp. 149-159, 2008.

[8] Facchinetti, C., "Preliminary Study of a Space Mission Using the Concurrent Engineering Facility", *Cordoba- Master AERTE*, 2013.

[9] Osburg, J. and Mavris, D., "A Collaborative Design Environment to Support Multidisciplinary Conceptual Systems Design", *AIAA 2005-01-3435*, 2005.

[10] Henderson, R., "CDF System Description," *ESTEC Postbus 299 - NL2200 AG Noordwijk - Keplerlaan - NL 2201 AZ Noordwijk ZH* , 2002.

[11] Osborn, A., "Survey of Concurrent Engineering Environments and the Application of Best Practices

www.SID.ir

Archive of SID

to wards the Development of a Multiple Industry, Multiple Domain Environment," *Clemson University*, 2009.

[۱۲] میرفخردینی، ح.، پورحمیدی، م.، "بررسی میزان همسویی استراتژی‌های طراحی همزمان با استراتژی‌های کسب‌و کار"، *مدیریت تولید و عملیات*، دوره چهارم، ۱۳۹۲.

[13] Schubert, D., "A New Knowledge Management System for Concurrent Engineering Facilities, 4th International Workshop on System & Concurrent Engineering for Space Applications," *SECESA*, 2010.

[۱۴] سعیدی، ح. ر.، "مهندسی همزمان – تولید ناب و تولید چابک"، تارنمای مکتب خانه پارسی، خرداد ۱۳۹۴.

[15] Fan. I. and Filos. E., "Concurrent Engineering Projects Supported by the European Commission's ESPRIT Programme and Future Trends", *Concurrent Engineering: Research and Applications*, pp. 166-173, 2001.

[16] Matthyssen , A., Lukosch , S., Kolfschoten, G., "Supporting Collaborative Design: Lessons from a Case Study at the ESA Concurrent Design Facility," *Proceedings of the International Conference on Group Decision and Negotiation (GDN)*, 2012.

[17] Available, [on line]: http://www.ecss.nl/

[18] Available, [on line]: http://www.nasa.gov/

[19] Karpati, G., Martin, J., Steiner M., and Reinhardt, K., "The Integrated Mission Design Center (IMDC) at NASA Goggarg Space Flight Center", 2003.

[20] Osborn, J., Joshua D., and Gregory M., "Review of Collaborative Engineering Environments: Software, Hardware, Peopleware", *Clemson University*, 2009.

[21] Bandecchi, M., Melton, B., and Gardini, B., "The ESA/ESTEC Concurrent Design Facility," 2002.

[22] Karpati, G., Panek, J., "Concurrent Engineering, the GSFC Integrated Design Center, and NASA's Concurrent Engineering Working Group," *GSFC Systems Engineering Seminar*, Code 592, January 10, 2012.

[23] Schubert, D., Romberg. O., and Kurowski, S., "A New Knowledge Management System for Concurrent Engineering Facilities," *4th International Workshop on System & Concurrent Engineering for Space Applications*, SECESA, 2010.

[24] Hartly, J.R, *Concurrent Engineering: Shortening lead times, raising qaulity and lowering costs,* 1rd Ed., Cambridge MA, productivity press, 1992.

[25] Prasad, B., *Consurrent Engineering*, New Jersey, Prentice Hall PTR., 1995.

www.SID.ir