مجله علمی پژوهشی «علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل»
سال سوم، شماره۴، زمستان ۱۳۹۱؛ ص ۳۲۸-۳۱۵

طراحی خط تولید صنعتی در فضای امن مدفون
(تولید هواپیمای بدون سرنشین فرضی)

مهدی کرباسیان[1*]، مهدی شاهین بناء[2]
۱- دانشیار و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی مالک اشتر
(دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۱۴، پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۰۱)

چکیده
اتخاذ تدابیری برای کاهش آسیب‌پذیری مراکز صنعتی و حیاتی و استمرار فعالیت آن‌ها در شرایط بحران ضروری می باشد. در این راستا، سازه‌های مدفون و زیرزمینی از جمله مهم‌ترین عناصر برای استمرار مراکز حیاتی تولیدی در زمان بحران هستند. برای ایجاد چنین فضاهایی، به‌دلیل هزینه و سختی بالای اجرای آن‌ها، ضرورت دارد قبل از هرگونه اقدام، صنعتی را که قرار است به آنجا منتقل شود، مورد بررسی قرار داد. بدین معنی که ابتدا باید نوع محصول، فرآیند تولید، نوع تجهیزات و ماشین‌های مورد نیاز و نیز تعداد نیروی انسانی متخصص را تحلیل کرد. سپس با انتخاب صحیح نقاط کلیدی فرآیند تولید، آن بخش از فرآیند را که دارای اهمیت خاص بوده و با برون‌سپاری نمی‌توان در جای دیگر تولید کرد، به داخل سازه منتقل نمود. در این تحقیق، پس از تعیین معیارهای اصلی مکان‌یابی محل احداث سازه مدفون، این معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مورد تحلیل و پایش قرار گرفته است. سپس به عنوان مطالعه موردی، صنعت تولید هواپیمای بدون سرنشین برای دستیابی به یک سری اصول و ضوابط طراحی خط تولید صنعتی در فضای امن مدفون ارزیابی شده است. با تجزیه وتحلیل فرآیند کلی تولید، بخش کلیدی این صنعت شناسایی گردیده تا این بخش از فرآیند تولید به داخل فضای مدفون منتقل شود.

کلیدواژه‌ها: پدافند غیرعامل، استحکامات و سازه‌های امن، فضای مدفون، چیدمان صنعتی، فرآیند تولید، پهپاد.

Design of an Industrial Production Line in a Buried Secure Space
(Unmanned Aerial Vehicle Production)

M. Karbasian[*], M. Shahinbana
Malek Ashtar University
(Received: 02/04/2012; Accepted: 19/02/2013)

Abstract
Taking measures to reduce vulnerabilities of industrial and living centers and sustaining their activities in crisis times is essential. In this line, buried and underground structures are among the most important elements required for preserving vital manufacturing centers in times of crisis. In order to build such space, it is essential to examine the industry to be relocated before embarking on any action as a result of the costs and difficulty associated with implementation works. That is, product type, manufacturing process, the kind of required equipment and machineries as well as specialists should be analyzed in the first place. Then, by selecting the right key points of manufacturing process, those parts that are of significant importance and cannot be outsourced are moved into the structure. In this study, once major criteria for constructing the buried structure are identified, they are examined and monitored using analytical hierarchical process (AHP). Then, as a case study, unmanned aerial vehicle industry is studied to achieve a set of principles and criteria for designing industrial production line within the context of a buried secure space. Through analyzing the overall production process, key part of the industry is identified so that it could be transferred into the buried space.

Keywords: Passive Defence, Secure Construction, Buried Space, Layout, Process Production, Unmanned Aerial Vehicle.

[*] Corresponding author E-mail: mkarbasi@mut-es.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه کشور اسلامی ما مورد تهدید همه جانبه از سوی دشمنان خود می‌باشد. تهدیدات استکبار جهانی به سرکردگی آمریکا علیه امنیت ملی جمهوری اسلامی ایران مبتنی بر هدف تغییر حکومت، شامل طیف متنوعی از فعالیت‌های خصمانه علیه ارزش‌ها، منافع، اهداف ملی، اقتدار و ثبات نظام جمهوری اسلامی ایران شده است.

یکی از بهترین شیوه‌های دفاع برای کاهش آسیب‌پذیری نیروهای انسانی، تجهیزات و تأسیسات در برابر تهدیدات دشمن، استفاده از روش‌ها و اصول پدافند غیرعامل در ساخت و بهره‌برداری از مراکز، تأسیسات، اماکن مهم، حساس و حیاتی کشور می‌باشد. همچنین تداوم فعالیت‌ها در شرایط بحران یا اضطرار به‌دلیل وقوع بلایای طبیعی یا حوادث انسان‌ساز امری اجتناب ناپذیر و لازم‌الاجراست. در این راستا استمرار تولید مراکز حیاتی کشور در زمان بحران و جنگ به‌منظور کسب آمادگی دفاعی، از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود. یکی از روش‌های استمرار تولید مراکز حیاتی در زمان بحران، ایجاد سازه‌های مقاوم و امن در برابر تهاجمات دشمن با ملاحظات پدافند غیرعامل و انتقال صنایع به داخل آن‌ها است.

از آنجایی که صنایع تولیدی دفاعی در شرایط جنگ، جزء اهداف اصلی و مراکز ثقلی می‌باشند که توسط دشمن مورد اصابت قرار می‌گیرند، بنابراین استقرار این‌گونه صنایع در فضاهای امن مدفون و تأمین ایمنی آنان ضروری است. در بین صنایع دفاعی، صنعت راهبردی۱ تولید هواپیمای بدون سرنشین به‌دلیل دارا بودن توانمندی‌های بالا در دفاع از کشور از یک سو و هزینه تولید بسیار کمتر و امکان تیراژ تولید بیشتر نسبت به هواپیماهای با سرنشین از سوی دیگر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌طوری که کشورهای مختلف جهان سرمایه‌گذاری زیادی در زمینه تولید آن انجام داده و برنامه‌ریزی تحقیقاتی نظامی خود را بر آن متمرکز کرده‌اند. از آنجائی که دشمن، انهدام تولیدات و محصولات استراتژیک کشور هدف را به‌عنوان یکی از اهداف مهم و اولیه خود تلقی می‌کند، قطعاً به‌دنبال از کار انداختن صنایع تولید پرنده‌های بدون سرنشین ما خواهد بود. بنابراین حفظ این صنایع با توجه به تهدیدات متصور و نقش مهم آن‌ها در جنگ های نامتوازن و همچنین استمرار تولید آن‌ها باید جزء برنامه‌های راهبردی دفاعی کشور باشد که در این میان استفاده از فضاهای امن مدفون می‌تواند چاره‌ساز باشد.

در شرایط کنونی تونل‌ها یکی از مناسب‌ترین مکان‌ها و استحکامات مطرح به‌منظور تقویت پایداری و مقاومت در برابر تهاجم دشمن بوده و قادر خواهند بود تا در معادلات دفاع نامتقارن نقش تعیین کننده‌ای را در راستای کاهش آسیب‌پذیری خودی، افزایش هزینه‌های دشمن و چه بسا بازدارندگی از تهاجم عهده‌دار باشند [۱].

از سوی دیگر احداث این سازه‌ها، علی‌رغم اهمیت زیاد آن‌ها در استمرار تولید مراکز حیاتی در زمان بحران و جنگ، هزینه‌های اقتصادی کلانی را در پی خواهند داشت. بنابراین به‌دلیل مشکلات اجرایی و هزینه‌های بالای اجرا، انتقال یک صنعت به داخل تونل به‌همان شکل رو زمینی نه ضروری است و نه عملی، بلکه باید تلاش کرد با مطالعه دقیق فرآیند تولید صنعت مورد نظر و نیز شناسایی هسته مرکزی و راهبردی آن، بخش‌های کلیدی فرآیند را شناسایی و به داخل سازه امن منتقل کرد. به‌عبارتی دیگر، باید با بررسی‌ها و تمهیداتی آن را کوچک‌سازی کرده و سپس با تعریف و تعیین دقیق نوع الگوی جریان مواد و نیز نحوه چیدمان تجهیزات، اقدام به انتقال آن‌ها کرد، به‌طوری که هم فضای مفید و هم تعداد ماشین‌ها و نیروی انسانی مورد نیاز به حداقل بهینه کاهش یافته و درنتیجه هزینه‌ها تقلیل یابد ضمن آن که در انجام مأموریت صنعت خللی ایجاد نشود. بنابراین مسئله محقق این است که اصول و ضوابط طراحی خط تولید صنعتی برای تولید هواپیمای بدون سرنشین در فضای مدفون چیست؟

با توجه به آنکه تاکنون در این زمینه مطالعه‌ای صورت نگرفته است، مطالعه حاضر در راستای گشودن راه‌های علمی و اجرایی ملاحظات طراحی خط تولید صنعتی در فضاهای امن مدفون با رعایت اصول پدافند غیرعامل و به‌منظور نیل به این اهداف انجام شده است که عبارتند از:

۱-ارائه اصول طراحی خط تولید صنعتی در فضای امن مدفون
۲-ارائه ضوابط طراحی خط تولید صنعتی در فضای امن مدفون
۳-ارائه مدلی برای طراحی خط تولید صنعتی در فضای امن مدفون

روش تحقیق مورد استفاده عبارت است از:

در این تحقیق، ابتدا با توجه به استانداردها و مستندات فنی بخش‌های مختلف محصول تفکیک می‌شوند. سپس بر اساس اصول و ملاحظات پدافند غیرعامل وتکنیک AHP سالن‌های با امتیاز بالا برای انتقال به فضای ایمن مدفون انتخاب می‌شوند. اما از طرف دیگر پیشنیاز طراحی سیستماتیک چیدمان در فضای امن مدفون (SLP) شناسایی اصول و ملاحضات خط تولیدی امن مدفون است. به این منظور ۱۰ نفر از مدیران پروژه‌های وزارت دفاع و سپاه پاسداران که در طراحی فضاهای امن مدفون تجربه داشتند، انتخاب شدند و ابتدا از طریق مراجع مختلف، اصول عمومی و ملاحظات پدافند غیرعامل در فضاهای امن مدفون شناسایی می‌شوند [۲-۱]. سپس این معیارها برای این ۱۰ مدیر پروژه ارسال شد (بر اساس روش دلفی[۲]). این مدیران از مدیران پروژه‌های صنایع هوایی بودند که در زمینه فضاهای امن مدفون کار کرده بودند و به‌عبارتی تنها نخبگان کشور در این زمینه بودند. از این مدیران خواسته شد ضمن بررسی مؤثر بودن آن معیارها در بحث طراحی فضای امن مدفون، عوامل دیگری که در این زمینه مؤثر می‌دانند را اضافه کنند. سپس نظرات آن‌ها جمع‌آوری شده و بعد از ویرایش نتیجه کار دوباره برای آن‌ها ارسال می‌شود ودر نهایت مجموعه‌ای از اصول و ملاحظات پدافند

[1] Strategic

[2] Delphi

غیرعامل در طراحی فضای امن مدفون استخراج می‌شود. این اصول به‌طور دقیق در SLP استفاده می‌شود و در بند ۶-۴ آورده شده است. روند وروش تحقیق در شکل (۱)، نشان داده شده است. البته برای تعیین عوامل معنی‌دار در روند دلفی از پرسشنامه پنج گزینه‌ای استفاده شد، یعنی اینکه برای هر فاکتور پنج گزینه "بسیار مهم" تا "بدون تأثیر" در طراحی فضای امن مدفون در نظر گرفته شد و میانگین جواب‌ها به‌دست آمد و هر فاکتور که دارای میانگین بیشتر از ۳ بود، وارد مدل شد. البته از طرف دیگر با اینکه نمونه برابر جامعه بود و محاسبه میانگین کفایت می‌کرد، ولی با این وجود برای اطمینان بیشتر آزمون فرض یک طرفه (Mean=3) در مقابل فرض جانشین (Mean>3) برای هر فاکتور انجام شد و فاکتورهای معنی‌دار به مدل منتقل شد و در نهایت مدل تحقیق به‌طور دقیق بر اساس نظر خبرگان کشور شکل گرفته است.

۲. طراحی چیدمان

چیدمان‌های جایگزین پس از تحلیل جریان مواد و رابطه فعالیت‌ها و تعیین مساحت مورد نیاز برای هر بخش طراحی می‌شود. چیدمان کلی ابتدا از طریق ترکیب کردن فضاهای مورد نظر و با نمودار ارتباطات طراحی می‌شود. بنابر روش و رهیافت SLP، ترکیب ملاحظات مربوط به فضا با نمودار ارتباطات، با تشکیل نمودار رابطه ـ فضا اجرا می‌شود [۲].

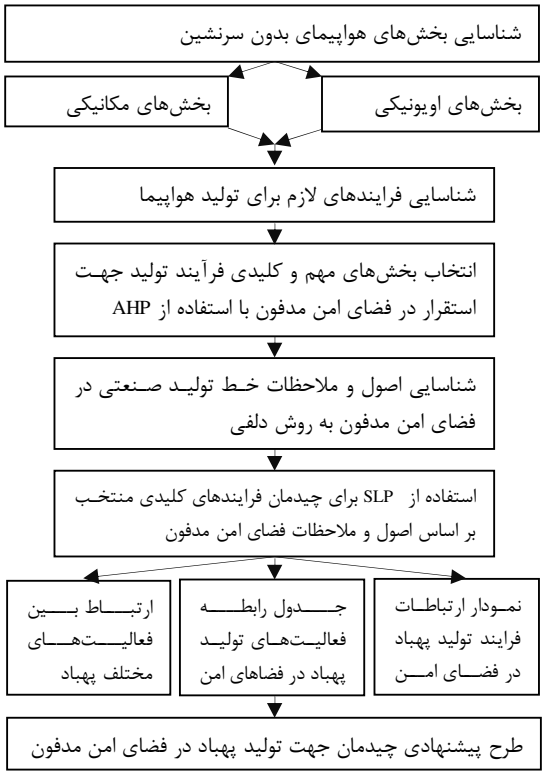
۲-۱. طراحی چیدمان در شرایط کمبود فضا

بر اساس بررسی‌های به‌عمل آمده و مطالعات صورت پذیرفته، برای طراحی در شرایط محدودیت فضا، روش عمومی وجود ندارد، بلکه در صورت برخورد با این شرایط، موضوع به‌صورت خاص و موردی بررسی شده و راهکار مناسب ارائه می‌شود. از جمله این راهکارها، استفاده از ارتفاع برای چیدمان برخی از تجهیزات و تأسیسات کارخانه می‌باشد. راهکار دیگر، استفاده از تکنیک توسعه غیر فیزیکی در کارخانجات است. بدین معنی که با برنامه‌ریزی و تغییر در روش‌های تولید و یا روش‌های بهره‌برداری (بهبود روش‌ها)، مشکل کمبود فضا را حل می‌کنند. اما شاید مهم‌ترین راهکار را بتوان استفاده از الگوریتم‌های مختلف کامپیوتری برای طراحی و یا بهینه‌سازی طرح چیدمان نام برد. برخی از این الگوریتم‌ها ایجاد کننده هستند، به‌طوری که با ورود داده‌ها (از جمله مساحت مورد نیاز هر سالن و نیز مساحت کل فضای در اختیار)، طرح مناسب جانمایی را ارائه می‌دهد. بعضی دیگر بهبود دهنده هستند، به‌گونه‌ای که طرح جانمایی پیشنهادی را به نرم‌افزار مربوطه وارد کرده و الگوریتم کامپیوتری، طرح را بهینه کرده و طرح مناسب را ارائه می‌دهد.

۳. فرآیند کلیدی

فرآیند کلیدی آن فرآیندی است که بر اساس و در انطباق هر چه بیشتر با اهداف استراتژیک، شرایط، امکانات و نیازهای به‌کار گیرنده آن ایجاد شود. روش انتخاب فرآیندهای کلیدی، مرحله‌ای پیچیده و اساسی در روش تصمیم‌گیری‌های مرتبط با فرآیندهاست که ابعاد یک سازمان را دربر می‌گیرد. ممکن است روش‌ها و مدل‌های متعددی در انتخاب فرآیندهای کلیدی یک سازمان مورد استفاده قرار گیرند که این روش‌ها با توجه به شرایط محیط داخلی و خارجی هر سازمان/ شرکت بومی شده و به‌کار رفته می‌شوند [۳].

در این مقاله جهت شناسایی فرآیندهای کلیدی، معیارها و ویژگی‌های فرآیندهای کلیدی را برای انتخاب بخش‌های کلیدی فرآیند تولید پهپاد بررسی کرده و در نهایت ماتریس ارزیابی فرآیندهای کلیدی تهیه می‌شود.



شکل ۱. مراحل روش تحقیق

۴. برون‌سپاری

برون‌سپاری[1] یکی از تکنیک‌ها و روش‌های تولید بدون کارخانه محسوب می‌شود که به‌طور عموم مدیران کارخانجات و مراکز تولیدی برای تولید قطعات و بخش‌های غیر کلیدی خود به مرحله اجرا می‌گذارند تا با گذر از این بخش‌ها، تمرکز و برنامه‌ریزی خود را روی فرآیندهای کلیدی و نیز فناوری‌های جدید معطوف دارند. از دید افراد فنی درگیر در صنعت، برون‌سپاری دارای مزیت‌ها و معایبی است که تجربیات کاری این افراد مشخص کننده آن‌ها است. اما اگر به این مقوله از دید افراد دیگر، خاصه کسانی که مسائل را به‌صورت علمی می‌نگرند، توجه شود، جنبه‌های دیگری هم در افق دید قرار می‌گیرند

[1] Outsourcing

که برای افراد فنی هم آموزنده خواهد بود. چرا که فرصتی رخ خواهد داد تا از دریچه‌ای وسیع‌تر، دریچه ادبیات علمی، به موضوع نگاهی انداخته، با دیدگاه‌های متفاوت آشنا شده و به آن‌ها نیز فکر کنند [۴].

۵. ضوابط اجرایی و چگونگی احداث سازه‌های امن مدفون (تونلی)

۵-۱. انواع تأسیسات زیرزمینی

تأسیسات زیرزمینی برحسب نوع ساختار و ساختمان به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- تأسیسات نوع اول

آن دسته از تجهیزات و تأسیساتی هستند که در نزدیکی سطح زمین ساخته شده و توسط دیواره‌های بتن مسلح با ضخامتی کمتر از ۵ متر احاطه می‌شوند. در ساخت این‌گونه مراکز امن تونلی از روش حفر نمودن و پوشاندن[1] استفاده می‌شود، بدین ترتیب که ابتدا زمین حفر شده و خاک ناشی از حفاری جابه‌جا شده سپس مراکز امن تونلی در داخل حفره ایجاد شده، توسط بتن مسلح ساخته می‌شود. در انتها روی آن توسط خاک و سنگ پوشانده می‌شود. این نوع مراکز امن می‌توانند در بیش از صدها مترمربع از زمین گسترده شوند و به‌طور معمول در عمق کمتر از ۳۰ متری سطح زمین قرار می‌گیرند. بدیهی است که در این روش، سازه به‌دلیل بهم‌ریختگی کامل وضعیت زمین‌شناسی از استحکام و مقاومت چندان بالایی برخوردار نبوده و حتی در برابر سلاح‌های متعارف نیز امکان انهدام و آسیب‌دیدگی جدی آن‌ها وجود دارد و از سویی امکان شناسایی دقیق محل و سازه در حین اجرا را نیز دارند [۵].

- تأسیسات نوع دوم

شامل تأسیساتی هستند که با حفر تونل در داخل سنگ و خاک ساخته می‌شوند. البته این نوع تأسیسات در فاصله زیاد از سطح زمین قرار نمی‌گیرند. چیزی که موجب متمایز کردن این نوع تأسیسات از تأسیسات نوع اول می‌شود، سختی و استحکام آن‌ها نبوده، بلکه چون این نوع تأسیسات به‌جای اجراء در داخل یک حفره زمینی و سپس پوشش روی آن‌ها توسط خاک و سنگ، تنها با حفر نمودن در زمین ساخته می‌شوند، بنابراین تعیین محل و تشخیص موقعیت آن‌ها بسیار دشوارتر از تأسیسات نوع اول است. برای ساخت این نوع تأسیسات می‌توان از روش‌های متداول و قدیمی حفاری یا تکنیک‌های انفجاری یا از تجهیزات مدرن تر حفاری استفاده کرد [۵].

- تأسیسات نوع سوم

این نوع تأسیسات شامل مجتمع تأسیساتی زیرزمینی است که با حفر تونل در دل سنگ‌ها و کوه‌ها در اعماق زمین ایجاد می‌شود. تفاوت این نوع تأسیسات نسبت به تأسیسات نوع دوم، صرفاً عمق زیاد آن‌ها است، به‌طوری که به‌علت عمق زیاد این نوع تأسیسات، سلاح‌های نافذ در زمین به‌طور مستقیم قادر به نفوذ در آن‌ها نمی‌باشند. عمق این نوع تأسیسات از ۲۰ متر تا بیش از یک کیلومتر است. این تونل‌های عمیق بر خلاف تونل‌های تأسیسات نوع دوم که از سطح زمین به سمت پایین حفر می‌شوند، اغلب از پهلو به طرف پایه کوه حفر می‌شوند. برای احداث این تونل‌ها همانند تأسیسات نوع دوم می‌توان از تونل‌ها و غارهای طبیعی استفاده کرد [۵].

۵-۲. تأسیسات صنعتی زیر زمینی

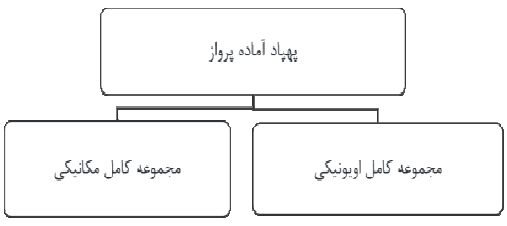
یکی از پیچیده‌ترین تأسیسات زیر زمینی، تأسیسات صنعتی و به‌ویژه تأسیسات صنعتی نظامی است که می‌بایست علاوه بر پارامترهای متداول، پارامترهای ویژه و خاصی نیز برای آن در نظر گرفت. از جمله برای آسایش و راحتی کارکنان در محیط کار، تأسیسات تهویه و سرمایش و گرمایش ویژه، قابلیت کار کردن در مواقع بحران و جنگ، عدم انتقال مواد ناشی ار سلاح‌های NBC[2] و نیز عدم انتقال و انتشار موج انفجار[3] به داخل سازه باید تمهیدات خاص (سازه‌ای، دسترسی، زیست محیطی، تأسیسات زیربنایی، امنیت، حفاظت فیزیکی و ...) مدنظر قرار گیرد [۶].

یکی از کاربرد این تأسیسات در کشور ما، ایجاد چنین تأسیساتی برای ساخت و تولید هواپیمای بدون سرنشین است که در ادامه به اصول و ضوابط طراحی خط تولید آن پرداخته می‌شود.

۶. اصول و ضوابط طراحی خط تولید هواپیمای بدون سرنشین در فضای امن مدفون

۶-۱. فرآیند تولید پهپادها

از اینجا به بعد در نظر داریم اصول و ضوابط طراحی خط تولید پهپاد در فضای امن مدفون را تشریح نموده تا با بسط و تعمیم آن به مدلی بر اساس طراحی سیستماتیک چیدمان (SLP[4]) برای طراحی خط تولید صنعتی در فضاهای زیرزمینی دست یابیم. بنابراین، ابتدا به فرآیند تولید پهپادها به‌عنوان ورودی مدل طراحی خط تولید آن در سازه مدفون می‌پردازیم. شکل (۲) تجهیزات کلی پهپاد را نشان می‌دهد. در ضمن شکل (۳) یک نمونه از این پهپادها را نشان می‌دهد.



شکل۲. تجهیزات کلی پهپاد

[1] Cut & Cover

[2] سلاح های هسته‌ای، بیولوژیک و شیمیایی NBC

[3] Blast

[4] Sistematic Layout Planing

شکل ۳. یک نمونه پهپاد

تجهیزات مکانیکی پهپاد به‌طور کلی شامل موارد زیر است (شکل ۴):

۱- بدنه: ساخته شده از مواد مرکب که کلیه تجهیزات و ساب سیستم‌ها روی آن نصب می‌شود.

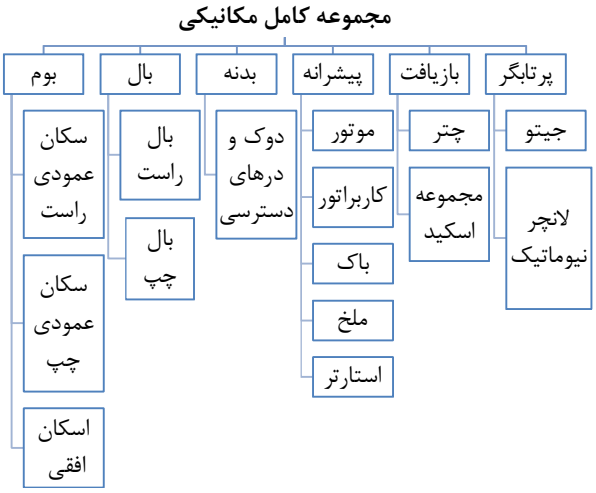
۲- بال: ساخته شده از مواد مرکب.

۳- سکان‌های افقی و عمودی + متعلقات: مجموعه انتقال هواپیما به جهت‌های مختلف.

۴- پیشرانه: (موتور + ملخ + باک) مجموعه‌ای که باعث حرکت هواپیما و موجب رانش آن می‌شود.

۵- کن: محفظه‌ای که برای بسته‌بندی هواپیما بوده و متناسب با هواپیما و تایپ آن تغییر می‌کند.

۶- چتر: جهت فرود هواپیما از ارتفاع معین به‌جای فرود با اسکید [۶].



شکل ۴. مجموعه کامل مکانیکی پهپاد

تجهیزات الکترونیکی پهپاد[۱]:

کنترل و هدایت پهپاد به‌وسیله تجهیزات الکتریکی، الکترونیکی و مخابرات رادیویی انجام می‌شود که این کنترل و هدایت (ناوبری) به دو صورت نیمه‌اتوماتیک و یا تمام‌اتوماتیک انجام می‌گیرد.

اطلاعات پروازی پهپاد توسط تجهیزات الکترونیکی محاسبه و پردازش شده و از طریق خط مخابراتی رادیویی به ایستگاه کنترل زمینی به‌منظور نمایش، ارسال می‌شود.

قطعات اویونیکی: این تجهیزات مربوط به کنترل و هدایت پهپاد به‌صورت اتوماتیک یا نیمه‌اتوماتیک است (شکل ۵).

تجهیزات الکتریکی: این تجهیزات مربوط به تأمین و توزیع توان الکتریکی است.

تجهیزات هوایی: این تجهیزات مربوط به سیستم‌های تصویربرداری هواپیما بوده که شامل تجهیزات تصویربرداری، پلتفرم و تجهیزات عکس‌برداری می‌باشند.

سیستم‌های مخابراتی: پهپاد به‌جز هنگام کنترل توسط سیستم هدایت کنترل خودکار (Auto Pilot) برای دراختیار ماندن و هدایت‌پذیری، نیازمند داشتن ارتباط رادیویی با ایستگاه زمینی می‌باشد که بتواند فرامین کنترلی را پس از ارسال از ایستگاه دریافت کند.

سیستم‌های وایرینگ: سیم‌کشی (وایرینگ) در پهپاد به‌منظور انتقال ولتاژ و سیگنال اطلاعات از یک نقطه به نقطه دیگر هواپیما می‌باشد و با توجه به اینکه در پهپاد از انواع سنسورها، انواع سروها و تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی و مخابرات رادیویی استفاده می‌شود، لازم است بین این قسمت‌ها ارتباط الکتریکی به‌صورت مطلوب انجام پذیرد و برای رسیدن به این منظور، سیم‌کشی باید توانایی لازم را دارا باشد.

سروها: جهت انتقال فرامین به سطوح متحرک و کنترل گاز موتور استفاده می‌شود.

ایستگاه زمینی: به‌منظور هدایت و کنترل پهپاد و دریافت تصاویر بلادرنگ (Real time) طراحی و ساخته می‌شود. این دستگاه در داخل یک اتاقک به‌نام شیلتر نصب شده است.

خودروی حمل هواپیما: خودرویی که به‌منظور حمل هواپیما تجهیز می‌شود.

خودروی حمل تجهیزات: خودرویی که به‌منظور حمل تجهیزات و اقلام یدکی تجهیز می‌شود.

پرتابگر: دستگاه مخصوص پرتاب هواپیما که متناسب با هواپیما و تایپ آن تغییر می‌یابد [۶].

۶-۲. انتخاب بخش‌های کلیدی از فرآیند تولید پهپاد جهت انتقال به فضای امن مدفون

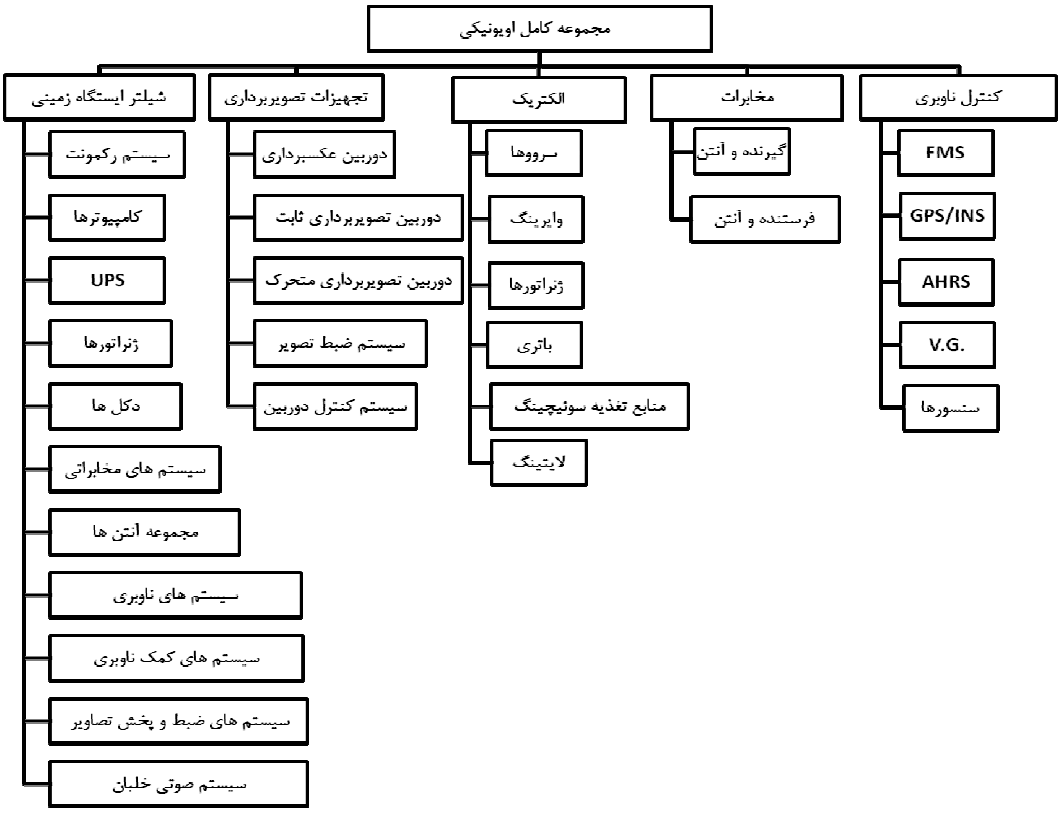
همان‌گونه که گفته شد، به‌دلیل هزینه و صعوبت زیاد ایجاد فضاهای امن زیرزمینی، انتقال کل فرآیند صنعت به‌صورت آنچه روی سطح زمین است، نه امکان‌پذیر است و نه اقتصادی می‌باشد. بنابراین باید فرآیند کلیدی تولید پهپاد را با تکنیک خاصی شناسایی کرد. برای این منظور بر اساس فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)،

[۱] پهپاد مخفف "پرنده هدایت پذیر از دور" می‌باشد.

ابتدا یک سری معیار (مانند حفظ دانش فنی، حفظ امنیت در مقابل تهدیدات خارجی، حساسیت، نیروهای انسانی خاص، تجهیزات تولیدی منحصر به فرد، عدم افشاء اطلاعات و...) [۵-۳] تعریف، سپس با استفاده از نظر خبرگان و صاحب‌نظران دست‌اندرکار از طریق مصاحبه و اخذ نظر آن‌ها و تعیین ضریب اهمیت هر شخص نظر دهنده، نسبت به شناسایی و انتخاب فرآیند کلیدی اقدام و آنگاه با مداخله خطرات ذاتی بخش‌های تولیدی (خطرات داخلی) و نیز نوع تهدیدات متصور خارجی (تهدیدات انفجاری، الکترومغناطیس و...) و با رعایت و ملاحظات فنی و مدنظر قراردادن محدودیت‌ها (از جمله محدودیت‌های مترتب بر فرآیند تولید)، به این فضاها منتقل کرد و آن قسمت از فرآیند تولید را که امکان برون‌سپاری و استفاده از منابع بیرونی برای تولید را دارا هستند، از این طریق و یا روش‌های مشابه تأمین نمائیم تا ضمن رعایت اصل پراکندگی پدافند غیرعامل، از گسترش فضای زیرزمینی بکاهیم. به‌عبارتی دیگر، باید فرآیند تولید صنعت را به‌نحو اصولی کوچک‌سازی کرد تا انتقال آن به داخل فضای زیرزمینی میسر باشد، به‌طوری که اولاً به مأموریت صنعت در قبال تولیدات خود لطمه‌ای وارد نشود و ثانیاً افت راندمان و بازدهی کارکنان را در پی نداشته باشد.

برای نیل به این هدف، تمام قطعات تولید پهپاد را مورد بررسی قرار داده و با تعریف معیارها و شاخص‌هایی مطابق جدول (۱) و با استفاده از روش امتیازدهی (از نمره ۱ تا ۹ به‌طوری که عدد ۹ با اهمیت‌ترین و عدد ۱ کم اهمیت‌ترین می‌باشد) و نظرخواهی از خبرگان دست‌اندرکار، بخش کلیدی و هسته مرکزی فرآیند تولید پهپاد را انتخاب می‌کنیم. ماحصل بررسی‌ها و مصاحبه با خبرگان به‌طور خلاصه در جدول (۱) آمده است.

با توجه به جدول (۱) ملاحظه می شود که قطعات اویونیکی از حساسیت ویژه‌ای برخوردار بوده و بیشترین امتیاز (از ۳۱/۵ =۲ ÷ ۶۳ امتیاز به بالا) را به‌خود اختصاص داده، ضمن اینکه این مجموعه‌ها خطر ذاتی (انفجاری و غیره) نداشته و از طرفی به‌دلیل آسیب‌پذیر بودن در مقابل تهدیدات الکترومغناطیس، لازم است برای مقابله با این‌گونه تهدیدات به فضای امن زیرزمینی منتقل شوند. همچنین به‌دلیل عدم وجود مواد آلاینده، تهویه هوای آلوده و تأمین هوای تازه برای کارکنان در فضای مدفون (به‌عنوان یکی از محدودیت‌های مهم و اساسی فضای زیرزمینی) به سهولت انجام می‌شود. بنابراین فرآیند تولید قطعات الکترواویونیک و نیز بخش مونتاژ نهایی محصول به‌همراه بخش ایستگاه کنترل زمینی پهپاد، برای انتقال به فضای امن مدفون انتخاب می‌شود. عمده قطعات مکانیکی را نیز می‌توان با برون‌سپاری و رعایت اصل پراکندگی و ملاحظات امنیتی، در بیرون از فضای مدفون تولید و برای مونتاژ بر روی محصول، به فضای امن مدفون انتقال داد.



شکل ۵. مجموعه کامل اویونیکی پهپاد

جدول ۱. ارزیابی سالن‌های تولید پهپاد فرضی بر اساس ملاحظات پدافند غیرعامل جهت انتقال به فضای مدفون

معیارها / سالن ها	حفظ دانش فنی	حفظ امنیت در برابر تهدیدات	حساسیت	نیروی انسانی خاص	تجهیزات منحصر به‌فرد	آلایندگی محیطی	عدم جبران خسارت	مجموع امتیاز مکسوبه
مخابرات	۹	۹	۹	۸	۸	۹	۹	۶۱
کنترل ناوبری	۹	۹	۹	۹	۸	۹	۹	۶۲
الکتریک	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۶۳
تجهیزات هوایی	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۶۳
انبار قطعات	ــــ	۹	۹	ــــ	۹	۹	۹	۴۵
مونتاژ نهایی	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۶۳
انبار محصول	ــــ	۹	۹	ــــ	۹	۹	۹	۴۵
انبار مرکزی	ــــ	۹	۹	ــــ	۹	۹	۹	۴۵
بال و بدنه	۵	۶	۵	۴	۲	۱	۱	۲۴
بوم	۶	۶	۵	۳	۲	۱	۱	۲۴
پیشرانه (موتور)	ــــ	ــــ	ــــ	ــــ	ــــ	ــــ	ــــ	تولید نمی‌شود
پرتابگر	۴	۳	۵	۲	۲	۱	۱	۱۸
بازیافت	۳	۲	۳	۳	۲	۱	۱	۱۵

با این توضیح، فضاهایی را که برای تولید مجموعه قطعات الکترواویونیک پهپاد لازم است، به‌شرح زیر تعریف می‌کنیم:

- سالن ۱: مخابرات
- سالن ۲: کنترل ناوبری
- سالن ۳: الکتریک
- سالن ۴: تجهیزات هوایی
- سالن ۵: انبار قطعات (مجموعه‌های نیمه ساخته)
- سالن ۶: سالن مونتاژ نهایی
- سالن ۷: انبار محصول نهایی
- سالن ۸: انبار مرکزی
- سالن ۹: آرشیو فنی

البته علاوه بر فضاهای فوق، جهت ایجاد هماهنگی در تولید، نیاز به فضاهای پشتیبانی (پشتیبانی فنی، خدمات و پشتیبانی عمومی و امور اداری) نیز می‌باشد.

حال به استخراج نیازمندی‌ها و نیز شرح فرآیند تولید در هر یک از سالن‌ها و فضاهای پیش گفته (بر اساس انتخاب سیستم سلولی برای تولید و با استفاده از تکنولوژی گروهی برای چیدمان تجهیزات و ماشین‌آلات) می‌پردازیم. فضاهایی که برای تولید مجموعه قطعات الکترواویونیک پهپاد لازم است در جدول (۲) آمده است.

قبل از ارائه جدول های نیازمندی‌های هر سالن تولیدی، لازم به توضیح است که این نیازمندی‌ها منطبق بر اصول و ملاحظات پدافند غیرعامل از جمله اصل کوچک‌سازی جهت انتقال به فضای امن مدفون، تعریف شده، به‌طوری که هم فضای کمتری اشغال کنند و هم به اصل مأموریت صنعت آسیبی وارد نشود. به‌عنوان نمونه؛ مساحت روی سطحی سالن مونتاژ نهایی پهپاد، حدود ۱۵۰۰ متر مربع با ارتفاع مفید ۷ متر بوده که متشکل از فضای تولیدی، اداری، دفتر طراحی و پشتیبانی است. در حالی که این سالن در فضای مدفون، با متمرکز کردن قسمت‌های اداری، دفتر طراحی و پشتیبانی در سالن پشتیبانی عمومی و نیز تعریف الگوی مناسب جریان مواد و همچنین چیدمان مناسب تجهیزات و از طرفی حذف فرآیندهای غیرضرور و به‌تبع آن حذف فضاهای پرت، به مساحت ۷۲۰ متر مربع و ارتفاع مفید ۶/۵ متر کاهش یافته است. ضمن اینکه، این بهینه‌سازی فضا ناشی از طراحی صنعتی، باعث کاهش نیروی انسانی شده که این خود سبب کاهش بار حرارتی و برودتی و نیز کاهش تعداد دفعات تعویض هوای تازه برای کل فضا شده که به نوبه خود کاهش هزینه ایجاد تأسیسات وابسته را در پی خواهد داشت.

پس از آن که محصول نهایی تکمیل شد، در پالت های مخصوصی بسته‌بندی شده و به این سالن حمل می‌شوند تا آماده تحویل به مشتری گردد. مساحت مورد نیاز این سالن حدود ۶۰۰ متر مربع و ارتفاع مفید آن ۶/۵ متر برآورد می‌شود.

جدول ۲. فضاهای مورد نیاز جهت تولید مجموعه قطعات الکترواویونیک پهپاد

شماره سالن	کاربرد	مساحت مفید (مترمربع)	ارتفاع مفید (متر)	فضای تفکیک شده (عدد)	کارکنان موجود (حداکثر) (نفر)	عرض ورودی (متر)
یک	مخابرات	۲۰۸	۳/۵	۷	۲۰	۲
دو	کنترل ناوبری	۱۸۰	۳/۵	۶	۲۱	۲
سه	الکتریک	۲۰۸	۳/۵	۸	۲۶	۵
چهار	تجهیزات هوایی	۲۱۲	۳/۵	۱۵	۳۷	۲
پنج	انبارقطعات(مجموعه‌های نیمه ساخته)	۲۸۴	۴	۱	۵	۳
شش	سالن مونتاژ نهایی محصول	۴۲۰	۶/۵	۱اصلی-۵ فرعی	۲۱	۶
هفت	انبار محصول نهایی	۳۱۳	۴	۶	۴	۶
هشت	انبار مرکزی	۳۴۴	۴	۱	۳	۳
نه	آرشیو فنی	۶۵	۳	۱	۳	۲

۶-۳. تعریف مدلی برای طراحی خط تولید صنعتی در فضای امن مدفون

در ادامه این مقاله، به دنبال تعریف مدلی برای طراحی خط تولید پهپاد در فضای مدفون بر اساس رهیافت SLP می‌باشیم.

در شکل (۶) مدل طراحی صنعتی در فضای امن مدفون با استفاده از راهکار اصلاح شده SLP همراه با موشکافی تحلیلی نشان داده شده است. مطابق این شکل گام‌های اساسی و لازم برای استفاده از مدل‌های تحلیلی، شامل مرحله تحلیل و بررسی، نحوه جستجو برای یافتن گزینه‌ها، روش های گوناگون طراحی چیدمان و درنهایت انتخاب طرح مورد نظر می‌باشد [۲].

ویژگی‌های مدل: همان‌گونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، گام اول و آغازین ارائه مدل، تهیه داده‌های ورودی و فعالیت‌های تولیدی می‌باشد که این گام با توجه به صنعت مورد نظر و نوع تولید آن، شامل بخش‌های مهم و کلیدی منتخب از فرآیند تولید می‌شود. در گام دوم، از تلفیق جریان مواد و ارتباط فعالیت‌ها، نمودار رابطه فعالیت‌ها به‌دست می‌آید و در گام سوم با مد نظر قراردادن فضای مورد نیاز تولیدی و فضای در دسترس (فضای بهینه)، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد (فاز تجزیه و تحلیل مدل). در گام چهارم، نمودار رابطه با بررسی تحلیلی و دخیل دادن محدودیت‌های عملی ناشی از فرآیند تولید و یا فضای در دسترس و نیز تعدیل مفروضات اولیه، به طراحی چیدمان می‌انجامد (فاز جستجوی مدل). در این فاز با توجه به نمودار و جدول رابطه فعالیت‌ها، به چیدمان‌های مختلف می‌رسیم که در گام پنجم و نهایی، مورد ارزشیابی قرار می‌گیرند تا بهترین طرح چیدمان که طراح را به هدف خود برساند، استخراج شود (فاز انتخاب) [۷].

حال با توجه به توضیحات فوق به بررسی و گنجاندن موارد تخصصی هواپیمای بدون سرنشین در مدل فوق در گام‌های پنج گانه می‌پردازیم.

تعریف: مونتاژ هواپیمای بدون سرنشین در سازه امن مدفون با اولویت تولید قطعات الکترواویونیک و مخابرت و نیز مونتاژ نهایی محصول شامل پرنده و ایستگاه کنترل زمینی.

هدف: ارائه مدلی برای طراحی خط تولید صنعتی در فضای مدفون به‌طوری که: میزان فضای مورد نیاز بهینه شده و از فضای در اختیار بیشترین و بهترین استفاده به‌عمل آید و در انجام مأموریت صنعت خللی پیش نیاید.

مراحل انجام: طراحی و ارایه یک مدل بر اساس ورودی‌های منتخب از فرآیند خط تولید و با مد نظر قرار دادن محدودیت‌های فضای مدفون و تجزیه و تحلیل آن‌ها و درنهایت خروجی مدل به‌صورت طرح چیدمان تجهیزات جهت دستیابی به فضای بهینه زیرزمینی.

مراحل اجرایی مدل: مراحل اجرایی به شرح زیر هستند:

گام اول: تعریف ورودی مدل

همان‌گونه که اشاره شد ورودی مدل شامل فعالیت‌ها، قطعات و تجهیزات می‌باشد که عبارت است از:

- قطعات مکانیکی هواپیمای بدون سرنشین (به‌صورت برون‌سپاری و با استفاده از منابع بیرونی تولید شده و سپس به فضای مدفون منتقل می‌شوند که شرح آن گذشت)
- قطعات الکترواویونیکی هواپیمای بدون سرنشین (در فضای امن مدون تولید می‌شوند و شرح آن گذشت)
- قطعات کنترلی و مخابراتی هواپیمای بدون سرنشین (در فضای امن مدفون تولید می‌شوند و شرح آن گذشت)
- تجهیزات[1] (شامل تسترها، ماشین‌آلات، ابزار کار و...) و تسهیلات[2] (شامل لیفتراک، جرثقیل، چرخ‌های حمل قطعات و...)

[1] Equipment
[2] Facility

- الگوی جریان مواد (بر اساس محصول محوری و با استفاده از تکنولوژی گروهی و چیدمان سلولی برای تجهیزات)
- ارتباط فعالیت‌ها (در ادامه، شرح مربوط به چگونگی ارتباط فعالیت‌های منتخب از فرآیند تولید خواهد آمد)

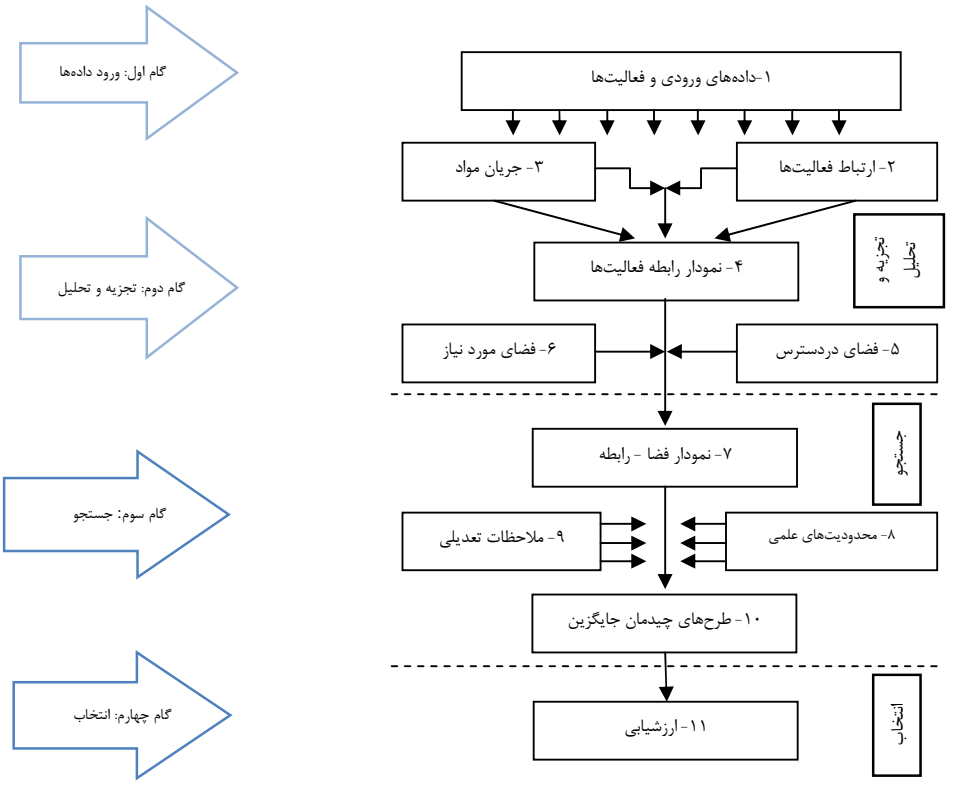
گام دوم: تعریف ارتباط فعالیت‌ها

سالن‌های تولیدی پهپاد و مشخصات آن‌ها و شرح وظایف قسمت‌های مستقر در هر سالن از نظر خبرگان گذشت.

در فرآیند تولید هواپیمای بدون سرنشین، تمام سالن‌های تولیدی، مواد اولیه مورد نیاز خود را از انبار مرکزی تحویل می‌گیرند. پس از تولید قطعه (مجموعه نیمه ساخته)، ارتباط تمامی سالن‌ها (کارگاه‌ها) با انبار قطعات می‌باشد و لازم است انبار مذکور علاوه بر ارتباط با دیگر سالن‌ها، با سالن مونتاژ نهایی محصول نیز ارتباط داشته باشد. بدین معنی که در هر سالن (یا کارگاه)، قطعات تولیدی که به‌طور عمده به‌صورت برد الکترونیکی می‌باشند، در همان سالن، مراحل تولید و تست خود را طی فرآیندی، بر اساس تولید سلولی و منطبق بر تکنولوژی گروهی برای چیدمان تجهیزات سپری کرده و پس از تأیید تست‌های مربوطه، به سالن انبار قطعات منتقل می‌شوند. در واقع هر سالن تولیدی، به‌طور مستقل از دیگر سالن‌ها، چرخه فرآیند تولید خود را طی کرده و خروجی آن‌ها که قطعات هواپیما می‌باشد، ورودی سالن انبار قطعات خواهد بود.

قطعات مکانیکی هواپیما نیز که در اینجا به‌صورت برون‌سپاری تولید می‌شوند، پس از تهیه و انجام تست‌های لازم و مثبت بودن نتایج تست‌ها، به انبار قطعات وارد می‌شوند تا برای مونتاژ نهایی محصول آماده شوند. به‌عبارتی برای تولید پهپاد در فضای امن مدفون، پس از بررسی فرآیند تولید و اعمال محدودیت‌ها و با تعریف معیارهایی از جمله حساس بودن، غیر قابل جبران بودن تولید آن‌ها، عدم ایجاد آلودگی محیطی، منحصر به‌فرد بودن تجهیزات و غیره و پایش آن‌ها و نیز مشاوره با خبرگان امر، به این نتیجه می‌رسیم که فقط تولید قطعات حساس الکترونیکی را در فضای مذکور تولید کنیم و قطعات مکانیکی را با برون‌سپاری و پراکندگی، از منابع بیرونی تهیه و برای مونتاژ روی هواپیما به داخل فضای مدفون حمل نمائیم (مرحله انتخاب بخش کلیدی فرآیند تولید) [۸].

با این توضیحات، ارتباط فعالیت‌های تولید پهپاد به‌همراه درجه اهمیت ارتباط بین قسمت‌های مختلف تولیدی را می‌توان به‌صورت زیر نمایش داد (شکل ۷).



شکل ۶. مدل طراحی صنعتی در فضای امن مدفون با استفاده از راهکار SLP

گام سوم: تعریف فضاهای مورد نیاز

فضاهای مورد نیاز برای طراحی خط تولید بخش‌های کلیدی منتخب از فرآیند تولید پهپاد (مجموعه اویونیک) به‌همراه نیازمندی‌های آن‌ها، به‌طور مفصل از نظر خوانندگان گذشت. این فضاها به‌طور خلاصه عبارتند از:

- سالن مخابرات به مساحت ۲۸۸ مترمربع
- سالن کنترل و ناوبری به مساحت ۱۸۰ مترمربع
- سالن الکتریک به مساحت ۲۸۸ مترمربع
- سالن تجهیزات هوایی به مساحت ۲۵۲ مترمربع
- سالن مونتاژ نهایی محصول به مساحت ۷۲۰ مترمربع
- سالن انبار قطعات به مساحت ۳۸۴ مترمربع
- سالن انبار مرکزی به مساحت ۵۴۴ مترمربع
- سالن انبار محصول به مساحت ۶۰۰ مترمربع
- سالن آرشیو فنی به مساحت ۷۲ مترمربع

فضاهای خدمات فنی و پشتیبانی درمجموع به مساحت ۸۳۲ مترمربع

همان‌گونه که قبلاً توضیح داده شد، فضای روسطحی مورد نیاز هر یک از سالن‌های تولیدی فوق بیشتر از مساحت‌های ذکر شده در بالا است، منتهی برای امکان انتقال صنعت و نیز جهت بهینه‌سازی فضای زیرزمینی و از طرفی در راستای کوچک‌سازی، فعالیت‌های غیرمهم هر سالن به همراه فضاهای پرت آن‌ها حذف شده تا به حداقل مساحت مورد نیاز، که مخل انجام مأموریت هر سالن نشود، دست پیدا کنیم. این موضوع باعث بهینه شدن تجهیزات، تسهیلات و نیز نیروی انسانی شده که خود سبب کاهش هزینه‌های تجهیز صنعتی فضای زیرزمینی و همچنین کاهش ظرفیت تأسیسات تهویه مطبوع خواهد شد [۹].

گام چهارم: تعریف محدودیت‌ها و طراحی چیدمان‌های جایگزین

محدودیت‌های طراحی خط تولید صنعتی در فضای امن مدفون ناشی از فضای کاری و شرایط محیطی و نیز موارد ایمنی و امنیتی عبارتند از:

۱- محدودیت فضای کاربری

۲- محدودیت ارتفاع

۳- محدودیت شرایط محیطی (شامل درجه حرارت محیط، میزان رطوبت محیط، میزان شدت روشنایی و...)

۴- محدودیت تهویه هوای داخل فضای مدفون (شامل تهویه هوای آلوده، تأمین هوای تازه و...)

۵- محدودیت‌های ایمنی

۶- محدودیت‌های امنیتی و پدافند غیرعامل

۷- محدودیت‌های ترافیک (شامل تردد نیروی انسانی، حمل مواد، حمل قطعات و...)

با بررسی به‌عمل آمده و دخیل کردن این محدودیت‌ها و تعدیل مفروضات اولیه طراحی، به این نتیجه می‌رسیم که فضاهای تعریف شده در گام سوم مدل، حداقل مساحت مورد نیاز برای تولید بخش‌های مهم پهپاد بوده که باید در فضای امن مدفون برای سالن‌های مذکور، ایجاد شوند.

در ضمن، همان‌گونه که گفته شد، نوع چیدمان تجهیزات در هر سالن تولیدی، بر اساس چیدمان سلولی با استفاده از تکنولوژی گروهی[1] و نوع الگوی جریان مواد مستقیم یا I و بر پایه محصول محوری می‌باشد. نکته مهم و حائز اهمیت در انتخاب نوع الگوی جریان مواد و نیز نوع چیدمان تجهیزات، در نظر گرفتن شرایط زیستی مناسب برای کارکنان به‌منظور بالا بردن کارایی و راندمان آن‌ها می‌باشد، چرا که به‌دلیل وجود صنعت تولیدی در سازه مدفون، شرایط کار برای کارکنان بسیار سخت‌تر از فضای روزمینی است. بنابراین در زمان مطالعات و طراحی فضای مدفون، طراح صنعتی در تعامل با طراح معماری داخلی باید چیدمان ماشین‌آلات و تجهیزات را طوری انتخاب کند که باعث خستگی و فرسودگی در کارکنان نشود.

حال برای طراحی چیدمان باید نمودار ارتباطات را برای تولید پهپاد بر اساس فرآیند ترسیم کنیم. در نمودار ارتباطات فعالیت‌ها با مربع‌های مساوی نمایش داده می‌شوند. تعدادی خط متناظر با درجه نزدیکی، این مربع‌ها را به‌هم متصل می‌کنند. مربع‌ها جابه‌جا می‌شوند تا وقتی رابطه مناسب و صحیحی بین فعالیت‌ها حاصل شود [۱۰].

برای این منظور باید ابتدا جدول رابطه فعالیت‌ها را بر اساس سالن‌ها و مساحت‌های تعریف شده در گام سوم مدل و نیز مطابق نمودار ارتباط فعالیت‌های تولید پهپاد (شکل ۸)، به‌دست آوریم.

اکنون با توجه به جدول رابطه فعالیت‌ها، می توان به نمودار ارتباطات فرآیند تولید پهپاد مطابق شکل (۹) دست یافت و با توجه به نمودار ارتباطات فوق، طرح چیدمان پیشنهادی برای تولید پهپاد در فضای امن مدفون به‌صورت شکل (۱۰) ارائه می‌شود.

در این طرح پیشنهادی، برای ارتباط بین سالن‌ها ملاحظات پدافند غیرعامل از جمله: کوچک‌سازی فضاهای هر سالن و به‌تبع آن بهینه شدن فضای کل مدفون، راحتی و آسایش پرسنل در حین انجام مأموریت، سهولت در انجام کامل مأموریت صنعت و ارتباط مناسب بین سالن‌ها لحاظ شده که از مزایای شاخص این طرح می‌باشد. البته در این مرحله می‌توان:

۱- با استفاده از الگوریتم‌های کامپیوتری ایجاد کننده ارتباطات

[1] Group Technology (GT)

(Planet, Aldep)، با واردکردن داده‌های مورد نیاز، نسبت به تهیه طرح‌های مختلف چیدمان، اقدام و سپس با استفاده از تکنیک AHP، طرح بهینه چیدمان را انتخاب کرد.

۲- نمودار "از – به"[1] را برای بررسی حالت‌های مختلف ترافیک (اعم از تردد نیروی انسانی، تبادل اطلاعات بین سالن‌ها، جابه‌جایی مواد، جابه‌جایی قطعات نیمه ساخته و...) تهیه کرد و بر اساس هر یک از آن‌ها طرح چیدمان پیشنهادی ارائه داد و پس از امتیازدهی و تبادل نظر با خبرگان مرتبط و با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP[2])، طرح بهینه چیدمان را انتخاب کرد تا موضوع ترافیک نیز در طراحی صنعتی لحاظ شود.

گام پنجم: ارزشیابی طرح

همان‌گونه که گام چهارم مدل شرح داده شد، در مرحله ارزشیابی طرح می‌توان با جابه‌جایی مربع‌های مربوط به فضاها در نمودار ارتباطات، به نمودارهای مختلف ارتباط بین فعالیت‌ها دست یافت و سپس با استفاده از طرح بلوکی و یا سه‌بعدی و نیز با توجه به الگوهای مختلف جریان مواد (I ، L ، U ، O ، S)، به طرح‌های مختلف چیدمان برای تولید پهپاد در فضای مدفون دست پیدا کرد. آنگاه با تعریف یک سری معیار و شاخص (از قبیل: راحتی پرسنل، انجام کامل مأموریت صنعت، بالا بودن راندمان و بازدهی کارکنان، انعطاف‌پذیری، حمل و نقل مواد و قطعات، هزینه احداث، راحتی در احداث، ترافیک، ایمنی و پدافند غیرعامل) برای بررسی طرح‌های موصوف، می‌توان از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و ترسیم درخت معیارها و زیرمعیارهای همگن و وزن‌دهی به آن‌ها، برای انتخاب طرح بهینه چیدمان استفاده کرد.

همچنین در این مرحله، می‌توان طرح چیدمان نهایی را با استفاده از تکنیک مهندسی ارزش[3] مورد بررسی و تحلیل مجدد قرار داد تا تمامی مراحل قبلی که منجر به طراحی خط تولید پهپاد در فضای امن مدفون (فضای تونلی) شده، مورد ارزشیابی قرار گرفته تا صحت طرح نهایی چیدمان به‌دست آمده مورد تأیید قرار گیرد.

۶-۴. اصول طراحی خط تولید صنعتی در فضای امن مدفون

در این بخش اصول و ملاحظات خط تولید در فضای امن مدفون که به‌عنوان پیش‌نیاز SLP مطرح بودند، آمده است. همان‌طور که در روش تحقیق گفته شد، این معیارها بر اساس روش دلفی وطی دو مرحله رفت و برگشت از ده نفر از مدیران پروژه‌های فضاهای امن مدفون در وزارت دفاع و سپاه پاسداران به‌دست آمده است. ما از بخش گام دوم به بعد با توجه به این اصول و ملاحظات طراحی چیدمان را انجام داده‌ایم این اصول به شرح ذیل می‌باشند:

اصل انجام مأموریت: انجام کامل و تمام مأموریت صنعت بدون ایجاد اختلال در اهداف آن از طریق انتخاب درست و اصولی الگوی جریان مواد و نیز طراحی مناسب چیدمان صنعتی.

اصل استمرار تولید در تمام شرایط (چه در زمان عادی و چه در زمان بحران): این اصل نیز از طریق طراحی اصولی چیدمان و دسترسی به فضاهای مناسب برای راحتی کار پرسنل و بررسی موضوع ترافیک و نیز همکاری و هماهنگی بین طراحان صنعتی و معماری به‌دست می‌آید.

اصل کاهش آسیب‌پذیری خط تولید: کاهش آسیب‌پذیری خط تولید صنعتی از طریق سلولی کردن تولید برای جلوگیری از آسیب‌پذیری بخش‌های دیگر و ادامه فعالیت آن‌ها در صورت آسیب دیدن یک بخش.

اصل حفظ راندمان و کارایی پرسنل: ایجاد راحتی برای پرسنل و کارکنان در انجام امور محوله از طریق تعریف درست ارتباط بین فعالیت‌ها و طراحی مناسب چیدمان صنعتی و بررسی موضوع ترافیک تولید.

اصل بهینه‌سازی فضای زیرزمینی: بهینه کردن فضای موردنیاز از طریق بررسی و انتخاب اصولی بخش کلیدی از فرآیند تولید و انتقال آن به فضای مدفون و طراحی مناسب چیدمان صنعتی.

اصل کوچک‌سازی: کوچک‌سازی فضاها از طریق بررسی فرآیند تولید هر سالن و حذف فرآیندهای اضافه و نیز حذف فضاهای پرت و همچنین ادغام فضاهای عمومی در یکدیگر.

اصل حذف یا کاهش اثر متقابل سالن‌های تولیدی بر همدیگر: خنثی‌سازی اثر متقابل سالن‌های تولید بر همدیگر چه از لحاظ امور فنی (ایجاد نویز و غیره) و یا اثر انفجاری و تخریبی، از طریق اجتناب از همجواری سالن‌های اثرگذار بر همدیگر، ناشی از تعریف مناسب ارتباط بین فعالیت‌ها.

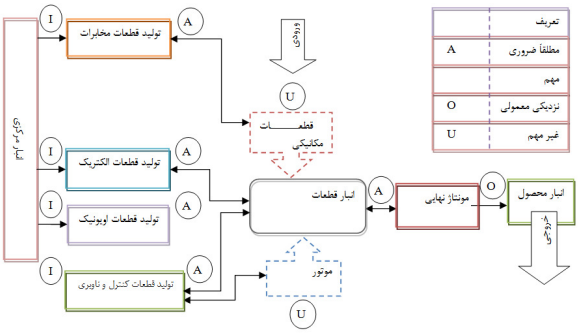
اصل خوداتکایی فضای زیرزمینی: عدم وابستگی فضای مدفون به بیرون و خوداتکا بودن فضای زیرزمینی در صورت آسیب دیدن تأسیسات و تجهیزات بیرونی. از جمله عدم وابستگی به عوامل بیرون جهت بخش تعمیرات داخلی تجهیزات، تسهیلات و تأسیسات سازه.

اصل رعایت ارگونومی: رعایت ارگونومی برای کارکنان از طریق طراحی چیدمان و جانمایی مناسب تجهیزات به‌منظور افزایش کارایی پرسنل.

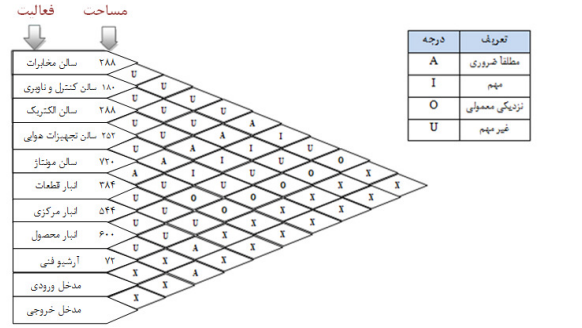
اصل امکان توسعه غیرفیزیکی: فضای زیرزمینی باید امکان توسعه غیر فیزیکی برای کارهای پیش‌بینی نشده آتی را داشته باشد که این مهم از طریق طراحی مناسب ارتباط بین فعالیت‌ها و پیش‌بینی طراح صنعتی در خصوص امکان تغییر در روش‌های تولید (بهبود روش‌ها) قابل وصول است.

اصل قابلیت تغییرپذیری در فرآیند تولید (قابلیت تحرک): سازه مدفون به‌دلیل هزینه‌های بالای اجرا، باید در مقابل تغییر در فرآیند تولید از قابلیت انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار باشد که این امر با تعریف اصولی و مناسب نوع چیدمان تجهیزات و ماشین‌آلات امکان‌پذیر است.

[1] From-To Chart
[2] Analytical Hierarchy Process (AHP)
[3] Value Engineering

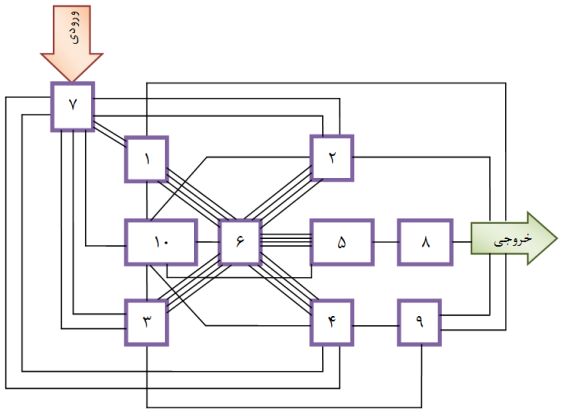


شکل ۷. ارتباط بین فعالیت‌های منتخب پهپاد



توضیح			توضیح			توضیح	
درجه A	مطلقاً ضروری	۱	مخابرات	۲۸۸ مترمربع	۷	انبار مرکزی	۴۵۴ متر مربع
درجه E	اهمیت ویژه	۲	کنترل و ناوبری	۱۸۰ مترمربع	۸	انبار محصول	۶۰۰ مترمربع
درجه I	مهم	۳	الکتریک	۲۸۸ مترمربع	۹	آرشیو فنی	۷۲ متر مربع
درجه O	نزدیکی معمولی	۴	تجهیزات هوایی	۲۵۲ مترمربع	۱۰	خدمات فنی، عمومی و	۸۳۲ مترمربع
درجه U	غیرمهم	۵	مونتاژ نهایی	۷۲۰ مترمربع			
درجه X	نامطلوب	۶	انبار قطعات	۲۸۴ مترمربع			

شکل ۸. نمودار رابطه فعالیت های تولید پهپاد

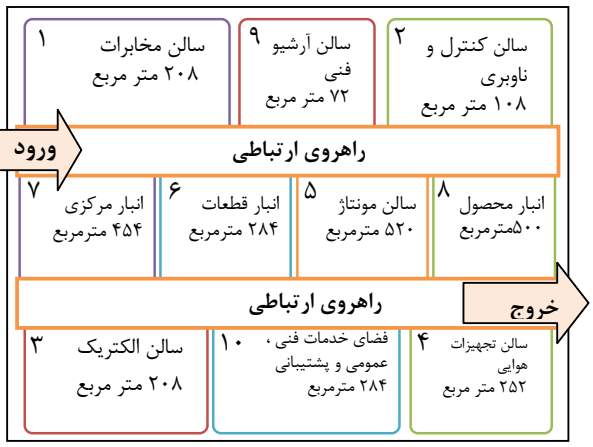


شکل ۹. نمودار ارتباطات فرآیند تولید پهپاد در فضای امن مدفون

۶-۵. ملاحظات طراحی خط تولید صنعتی در فضای امن مدفون

حال به ذکر ملاحظات طراحی خط تولید صنعتی در فضای امن مدفون می‌پردازیم.

- ملاحظات ایمنی و پدافند غیرعامل مکان احداث: مکان‌یابی اصولی و مطمئن محل احداث فضای مدفون بر پایه تعریف دقیق معیارها و زیرمعیارهای اساسی و مؤثر.



شکل ۱۰. طرح پیشنهادی چیدمان جهت تولید پهپاد در فضای امن مدفون

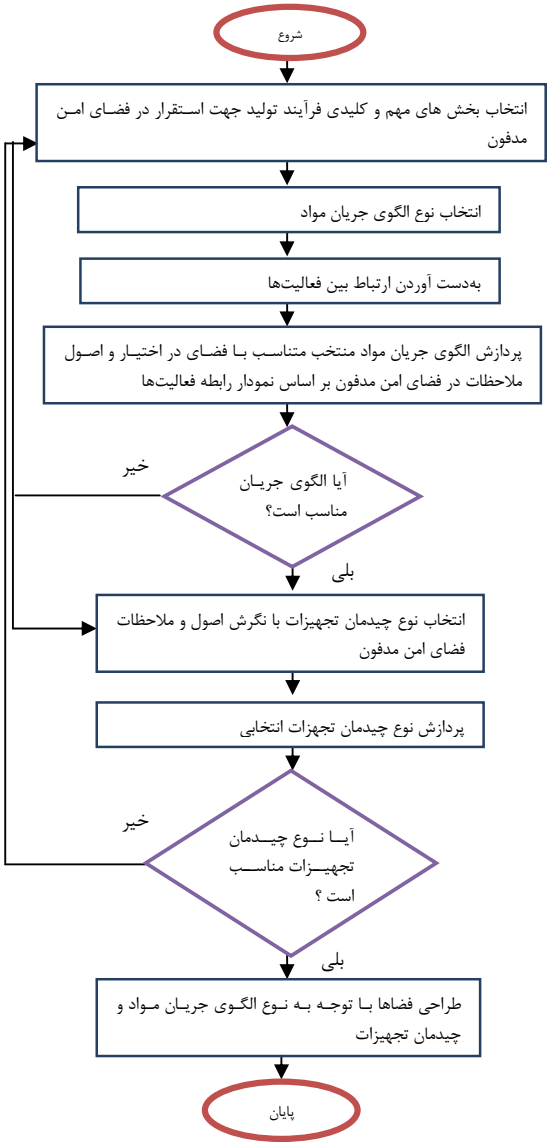
- ملاحظات طراحی و اجراء: طراحی و اجرای اصولی فضای مدفون و تأسیسات وابسته به‌ویژه در حوزه تأسیسات مکانیکی به‌منظور تهویه مناسب هوای آلوده داخل سازه.

- ملاحظات مبتنی بر اعمال محدودیت‌ها: تعریف دقیق محدودیت‌های عملکردی و نیز محدودیت‌های فضای زیرزمینی و تطبیق طرح چیدمان صنعتی با آن‌ها.

- ملاحظات مبتنی بر تعدیل مفروضات: تعدیل مفروضات اولیه و ادغام آن‌ها در همدیگر، به‌منظور تسهیل در طراحی چیدمان و جانمایی صنعتی.

- ملاحظات مربوط به ترافیک: بررسی و مد نظر قراردادن موضوع ترافیک در فضای زیرزمینی اعم از جابه‌جایی مواد، جابه‌جایی قطعات، تردد نیروی انسانی و تبادل اطلاعات

به‌طور کلی، فلوچارت طراحی خط تولید صنعتی در فضای امن مدفون با توجه به مدل ارائه شده، به‌صورت شکل (۱۱)، تعریف می‌شود. این مدل یک نقشه راه کلی برای راهنمایی طراحان فضای مدفون برای خطوط تولیدی در اختیار می‌گذارد. باید توجه داشت این الگو دقیقاً منطبق بر الگوی استاندارد SLP مطرح شده در مرجع [۲] است. این الگو توسط پدر علم چیدمان ومکان‌یابی یعنی "فرانسیس" مطرح شده است. این الگو در شکل (۶)، نشان داده شده است. ما در این الگو در بخش ۵ و ۸ و ۷ از گام سوم، اصول و ملاحظات فضای امن مدفون را قرار دادیم. البته این اصول و ملاحظات همان‌طور که قبلاً گفته شد، با استفاده از روش دلفی و نظرات ۱۰ مدیر با سابقه در امر فضاهای مدفون به‌دست آمده است.



شکل ۱۱. فلوچارت طراحی صنعتی فضاهای امن مدفون

۷. نتیجه‌گیری

بر پایه مطالعات انجام شده در خصوص تولید هواپیمای بدون سرنشین در فضای امن مدفون و طبق تجربه عملی نگارنده، بهترین گزینه در بخش سازه‌های امن دفاعی، ایجاد صنعت بر اساس فرآیند (فرآیند محوری) با استفاده از تکنولوژی گروهی (GT) جهت چیدمان تجهیزات و نوع الگوی جریان مواد گردشی (O) (بسته به فضای در اختیار) می‌باشد. چرا که با توجه به هزینه‌های زیاد احداث این سازه‌ها و از طرفی شرایط سخت و صعوبت در اجرای آن‌ها، صنعت فرآیند محوری از قابلیت انعطاف‌پذیری زیادی در نوع محصول و هماهنگی با تغییر در تکنولوژی محصولات برخوردار بوده ضمن اینکه چیدمان تجهیزات بر اساس تکنولوژی گروهی باعث کاهش فضای تونل (اعم از فضاهای مفید و دسترسی ها) و نیز کاهش نیروهای انسانی درگیر غیرمستقیم شده و درنتیجه سبب بهینه شدن کل فضای امن مورد نیاز و به‌تبع آن کاهش هزینه‌ها می‌شود. البته ایجاد شرایط زیستی مناسب برای کارکنان با توجه به مباحث ارگونومی محیط کار نیز باید مدنظر طراحان این گونه سازه‌ها باشد.

با توجه به مدل ارائه شده، مراحل طراحی خط تولید صنعتی در فضای امن مدفون به‌شرح زیر تعریف می‌شوند:

- تعریف فرآیند کلی تولید محصول
- انتخاب بخش حیاتی و کلیدی فرآیند تولید
- تعریف الگوی مناسب جریان مواد
- ترسیم جدول رابطه فعالیت‌ها
- ترسیم نمودار رابطه فعالیت‌ها (نمودار ارتباطات)
- به‌دست آوردن طرح های مختلف چیدمان صنعتی با اعمال محدودیت‌ها و تعدیل مفروضات
- تحلیل طرح‌های چیدمان و انتخاب طرح نهایی جانمایی تجهیزات.

۸. مراجع

[1] Samadifard, A. “Designing and Computing Mechanical Facilities of Industrial Tunnel-Defence with an Emphasis on Effects of Passive Defence”; Malek Ashtar Univ., Research Press, Tehran, Summer 2008 (In Persian).

[2] Richard, F.; White, J. “Facilities Layout and Location in Factory”; Sharif Univ. Press, Tehran, 2007 (In Persian).

[3] Pershia Gostar Co. “Studies on Selecting Key Process in Weaponry Industries of Defence Industry”; Defence Ministry Press, Tehran, 2010 (In Persian).

[4] Rabani, Y. “A Literature Survey in Outsourcing and Some Proposals for Industry in Iran”; Hormozgan Univ., 2010 (In Persian).

[5] Sahebari, N. “Protection Opposite of Non-Nuclear Weapons”; Maskan Ministry, No. 5, Tehran, 1987 (In Persian).

[6] Shahin Bana, M. “Roots and Considerations of Designing an Industrial Line Production in Buried Secure Space, Case Study, Production Industry of Drone”; MSc. Thesis, Malek Ashtar Univ., Tehran, 2011 (In Persian).

[7] Kagamiyama, H. SH. “Single and Multi Objective Defensive Location Problems on a Network”; European J. Operational Research 2008, 188, 76-84.

[8] Sklavounos, S.; Regas, F. “Estimation of Safety Distances in the Vicinity of Fuel Gas Pipelines”; J. Loss Prevention in the Process Industries 2006, 19, 12-27

[9] “Design of Blast Resistant Buildings in Petrochemical Facilities”; ASCE, 1997.

[10] “Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Explosions and Fire”; CCP Building Guidelines AICHE. 1995.