نشریه علمی - پژوهشی
مدیریت نوآوری
سال هفتم، شماره ٤، زمستان ۱۳۹۷
صفحه ۶۴-۳۵

مدیریت نوآوری

# کاوشی در ساخت محصولات پیچیده؛ شناسایی، اولویت‌بندی و تعیین روابط میان قابلیت‌های موردنیاز در ساخت‌وتولید محصولات و سیستم‌های پیچیده (COPS)

محمدحسین کریمی گوارشکی[1*]، جعفر قیدر خلجانی[2]، پوریا کریمی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۱۷

## چکیده

**محصولات و سیستم‌های پیچیده (COPS) نقش مهمی در صنعت، اقتصاد و فناوری کشورها ایفا می‌کنند. از طرفی دشواری توسعه و ساخت این محصولات به دلیل پیچیدگی فراوان و نیازمندی به دانش عمیق و سطح بالا، سازمان‌ها را با چالش‌هایی روبرو نموده است. سازمان‌ها برای موفقیت در ساخت این محصولات احتیاج به شناخت عمیق قابلیت‌های موردنیاز دارند. به‌همین منظور پژوهش حاضر از طرفی قابلیت‌ها و توانمندسازهای موردنیاز برای ساخت‌و تولید محصولات پیچیده را شناسایی می‌نماید و از طرف دیگر به تجزیه‌وتحلیل روابط علی معلولی میان توانمندسازها می‌پردازد. تعیین اهمیت این عوامل جهت برنامه‌ریزی دقیق سازمان نیز هدف دیگر پژوهش بوده است. با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته قابلیت‌های مذکور شناسایی و با توزیع پرسش‌نامه اعتبارسنجی شد. درنهایت ۱۰ قابلیت اصلی و ۴۶ مؤلفه فرعی شناسایی و تأیید شدند. در مرحله بعدی روابط میان عوامل مذکور با استفاده از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) تعیین و به چهار سطح تقسیم شدند. به‌منظور تعیین اوزان و رتبه‌بندی عوامل نیز از تحلیل شبکه‌ای(ANP) استفاده شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد قابلیت‌های شبکه‌سازی، مدیریت پروژه‌های کلان، یکپارچه‌سازی و تعاملات در سطوح کلان از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ساخت محصولات پیچیده بوده و تأثیرات زیربنایی بر سایر عوامل دارند.**

**واژگان کلیدی: محصولات و سیستم‌های پیچیده (COPS)، قابلیت، ساخت‌وتولید، ANP, ISM..**



۱*- استادیار و عضو هیئت‌علمی گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران، ایران./ **نویسنده مسوول مکاتبات Mh_karimi@aut.ac.ir**
۲- استادیار و عضو هیئت‌علمی گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران، ایران.
۳- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران، ایران.

## ۱- مقدمه

ایده اولیه این موضوع که می‌توان یک دسته‌بندی تحقیقاتی جدید برای محصولات و سیستم‌های پیچیده ایجاد کرد، ابتدا از ادبیات سیستم‌های نظامی نشئت گرفت. ماحصل پژوهش‌های دانشمندانی که روی اندازه‌گیری پیچیدگی سیستم، سیستم‌های فنی کلان نظامی و صنعتی، مدیریت پروژه و مدیریت سازمان‌های صنعتی کار می‌کردند منجر به شکل‌گیری مفهوم محصولات و سیستم‌های پیچیده شد. تا آن زمان محققانی مانند هابدی (۱۹۹۸) اشاراتی گذرا به این محصولات داشتند اما تعاریفی در این خصوص ارائه نکرده و علیرغم وجود صنایعی مرتبط با محصولات و سیستم‌های پیچیده مانند صنعت هواپیماسازی، مطالعه فرآیند توسعه این محصولات به‌عنوان یک حوزه مجزا موردتوجه نبود (Hobday,1998). محصولات و سیستم‌های پیچیده که با ویژگی‌هایی از قبیل سفارشی بودن، مؤلفه‌های[1] به‌هم‌پیوسته و پرهزینه، تولید در مقادیر کم، نیازمندی به دانش و قابلیت‌های وسیع و مشارکت نقش‌آفرینان متعدد شناخته می‌شود، امروزه نقش مهمی در اقتصاد کشورها دارند (Naghizadeh, 2016). گستره این‌چنین محصولاتی وسیع بوده و از سیستم‌های بزرگ مانند نیروگاه‌های هسته‌ای، تجهیزات پالایش نفت و برج‌های مخابراتی تا محصولات پیچیده‌ای مانند سیستم‌های هدایت و کنترل هواپیما، موتور هواپیما و توربین‌های گازی ترکیبی را در برمی‌گیرد (Hobday,1998).

یکی از زمینه‌های حضور پررنگ کشورها در عرصه‌های صنعتی همچنین بهبود و تأثیرگذاری بر اقتصاد داخلی، حوزه محصولات و سیستم‌های پیچیده است. در کنار اقتصادهای پیشرفته دنیا، اقتصادهای نوظهور و کشورهای درحال‌توسعه نیز تلاش‌های زیادی در این عرصه از خود نشان داده‌اند (الیاسی و شفیعی، ۱۳۹۳). این کشورها که در اصطلاح کشورهای متأخر[2] یا تازه‌وارد نامیده می‌شوند درصدد هستند تا با سرمایه‌گذاری و سیاست‌گذاری کلان و تسهیل‌کننده در مسیر تولید چنین محصولاتی گام بردارند. در حال حاضر کشورهای معدودی ازجمله آمریکا، ژاپن و کشورهای اتحادیه اروپا در این حوزه فعال بوده و کشورهایی مانند کره جنوبی، چین و تایوان به دلیل نقش این محصولات در شکل دادن به مزیت رقابتی، سعی در حضور موفق در حوزه محصولات و سیستم‌های پیچیده دارند. کشورها جهت استفاده از منافع این محصولات می‌بایست در جهت تحقیق و توسعه، سرمایه‌گذاری و تولید این محصولات گام بردارند؛ بنابراین انجام مطالعات دانشگاهی به‌عنوان پیش‌شرط‌هایی جهت شناخت محصولات پیچیده ضروری به نظر می‌رسد. بنا بر تحقیقات سازمان‌ها جهت تضمین موفقیت در تولید محصولات و سیستم‌های پیچیده باید تمامی قابلیت‌های موردنیاز را کسب و تقویت نمایند و بر قابلیت‌های محدود اکتفا نکنند (Park & Kim, 2014).

در ادبیات، قابلیت‌های گوناگونی برای ساخت محصولات و سیستم‌های پیچیده وجود دارد؛ به‌طوری‌که این تحقیقات در ابتدا خواص و ابزارهای مدیریت و توسعه این محصولات را هدف قرار می‌داد. رفته‌رفته تحقیقات به سمت قابلیت‌های کلیدی، ساختارهای سازمانی، نقش سیاست‌گذار و دولت گرایش پیدا کرد (Safdari Ranjbar, 2018). این قابلیت‌ها در پژوهش‌های خارجی و داخلی عمدتاً بر پایه پژوهش‌های کیفی بوده و دیدگاهی وسیع و کلان نسبت به این موضوع داشته؛ همچنین تمرکز بر واحدهای مختلف سازمان اعم از طراحی، مهندسی و تولید کمتر بوده است. در تحقیقات پیشین، بحث و بررسی قابلیت‌های تأثیرگذار بر حوزه‌هایی مانند مدیریت تولید، مدیریت زنجیره‌تامین، طراحی و مهندسی و سایر حوزه‌های فنی کمتر به چشم می‌خورد. با توجه به سیاست‌های کلان کشور، وجود موانع متعدد در صنایع، همچنین کمیت پایین تحقیقات داخلی نیز به‌خودی‌خود گویای اهمیت پژوهش‌های هر چه بیشتر در این حوزه است. این پژوهش درصدد پاسخ به این پرسش است که سازمان‌های تولیدکننده COPS به چه توانمندسازهایی نیازمندند؛ به‌عبارت‌دیگر چه قابلیت‌هایی کلیدی و ضروری برای ساخت‌وتولید محصولات و سیستم‌های پیچیده موردنیاز است و اساساً این عوامل، چه روابطی با یکدیگر دارند. با توجه به خلأ موجود در ادبیات در خصوص توانمندی و قابلیت‌های مرتبط با عملیاتی‌سازی ساخت و تولید محصولات پیچیده، بررسی، شناسایی و تجزیه‌وتحلیل این قابلیت‌ها می‌تواند یاری‌رسان مدیران و تصمیم‌گیران سازمان‌ها جهت برنامه‌ریزی، بهینه‌سازی و سرمایه‌گذاری مناسب برای ساخت محصولات و سیستم‌های پیچیده باشد. در کنار این امر، با توجه به‌دشواری، پیچیدگی و هزینه‌های سنگینی که ساخت محصولات و سیستم‌های پیچیده با خود به همراه دارند، ژرف‌نگری در کشف روابط و اهمیت این عوامل می‌تواند به تبیین هر چه عمیق‌تر این حوزه کمک شایانی بنماید. بدین روی در این پژوهش و باهدف پاسخ به سؤال مطروحه ، شناسایی و کشف، اولویت‌بندی و تعیین روابط علّی معلولی قابلیت‌های موردنیاز در فرآیند ساخت‌وتولید محصولات پیچیده انجام خواهد گرفت.

## ۲- مبانی نظری پژوهش

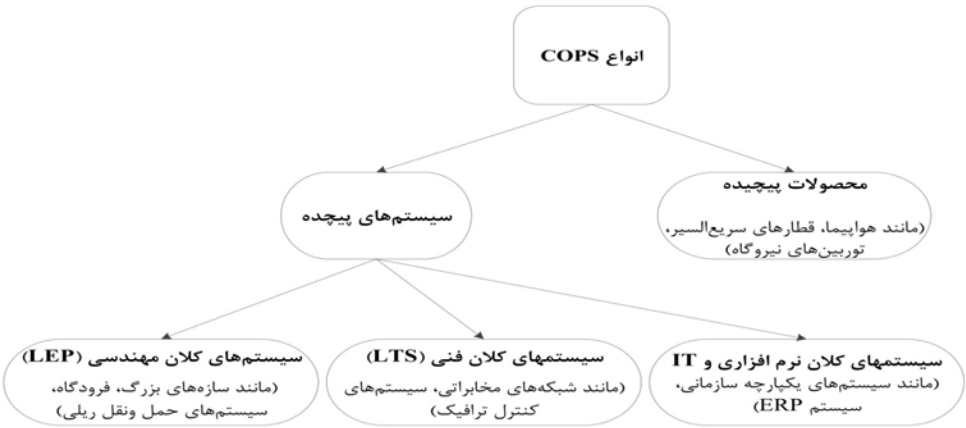
### ۲-۱- مفاهیم و ویژگی‌های محصولات و سیستم‌های پیچیده

محصولات و سیستم‌های پیچیده شامل انواع محصولات، سیستم‌ها، کالاهای سرمایه‌ای، واحدهای کنترل، شبکه‌ها و سازه‌هایی با فنّاوری و ارزش بالا هستند. تمرکز ساخت این محصولات بر روی طراحی، مدیریت پروژه، مهندسی سیستم و یکپارچه‌سازی سیستم[۳] است. برخی از این محصولات و سیستم‌ها به‌نوعی نقش

زیرساخت‌های صنعتی و اقتصادی کشورها را ایفا می‌کنند (Hobday & Rush, 1999). طبق تعاریف اولیه‌ای که در ادبیات برای محصولات و سیستم‌های پیچیده ارائه‌شده است دست‌کم سه مشخصه در آن‌ها موجب تمایزشان با محصولات تولید انبوه[۴] شده است. اول این‌که آن‌ها کالاهای سرمایه‌ای پرهزینه‌اند که متشکل از عناصر به هم مرتبط و غالباً سفارشی هستند. این محصولات معمولاً برای مشتریان و یا بازارهای خاص طراحی‌شده‌اند. اغلب زیرسیستم‌های بکار رفته در محصولات پیچیده (به‌عنوان‌مثال سیستم هدایت خودکار در هواپیما) خود نیز پیچیده، سفارشی و پرهزینه هستند. دومین خاصیت این است که محصولات پیچیده تمایل به نشان دادن خواص غیرخطی در طول زمان‌دارند، به این معنا که از نسلی به نسل دیگر، تغییرات کوچک در یک بخش از طراحی سیستم می‌تواند به تغییرات بزرگ‌تر در سایر قسمت‌ها منجر شود. مورد سوم این‌که مدیران ساخت محصولات پیچیده تمایل دارند محصولات خود را در پروژه‌ها یا در دسته‌های کوچک تولید کنند که در آن صورت میزان بالایی از دخالت مستقیم کاربران را امکان‌پذیر می‌کند. این رویکرد متفاوت با رویکرد مرسوم برای کالاهای مصرفی است که معاملات تجاری بازار دخالت کاربران و مشتریان را امکان‌پذیر می‌کند (Hobday, 1998; Hobday & Rush, 1999).

**۲-۲- دسته‌بندی و قلمرو محصولات و سیستم‌های پیچیده**

سیستم‌های پیچیده در ساختارهای پروژه‌ای و یا دسته‌ای تولید می‌شوند. بسیاری از پروژه‌های پرهزینه با فرآیندهای تکراری (مانند اتوبان‌ها یا سازه‌های ساختمانی ساده) به دلیل استفاده از دانش و مهارت‌های محدود و مؤلفه‌ها و مواد استاندارد جزء محصولات و سیستم‌های پیچیده دسته‌بندی نمی‌شوند. در ادبیات پروژه‌های پیچیده نرم‌افزاری و مرتبط با فناوری اطلاعات را به دلیل درجات بالایی از طراحی سیستمی و مهندسی و مسائل مربوط به ارتباط با عوامل انسانی، در زمره سیستم‌های محصولات و سیستم‌های پیچیده تلقی کرده‌اند (Ren & Yeo, 2006). تحقیقات وسیعی در حوزه‌هایی مانند محصولات پیچیده مستقل، پروژه‌های کلان مهندسی[۵]، سیستم‌های کلان فنی[۶] و سیستم‌های کلان نرم‌افزاری وجود دارد. محصولات پیچیده مستقل را محصولات و مصنوعات فیزیکی تشکیل می‌دهند. محصولاتی مانند هواپیما، توربین‌های نیروگاه، کشتی‌های تجاری در این زمره قرار می‌گیرند. پروژه‌های کلان مهندسی عمدتاً سازه‌هایی مانند فرودگاه، نیروگاه و ... را شامل می‌شود و سیستم‌های کلان فنی به شبکه‌ها و ساختارهای ارتباطی و اطلاعاتی اشاره دارد. سیستم‌های کلان نرم‌افزاری نیز شامل سیستم‌های مبتنی بر فناوری اطلاعات در سازمان‌ها، مراکز صنعتی و حتی سیستم‌های شهری می‌شود. سلسله‌مراتب دقیق‌تر این محصولات در شکل (۱) قابل‌مشاهده است.




**شکل (۱): دسته‌بندی محصولات و سیستم‌های پیچیده (Ren & Yeo, 2006)**

### ۲-۳- تفاوت‌های میان توسعه محصولات پیچیده و سایر محصولات

محققان به این نتیجه رسیده‌اند که سازوکار توسعه و مدیریت نوآوری در محصولات پیچیده با محصولات ساده تولید انبوه متفاوت است. درنتیجه دو رویکرد متفاوت برای توسعه در این محصولات وجود دارد. در حالت اول فرض بر این است که محصولات چرخه عمر مشخص و کوتاهی دارند. در این حالت سازمان‌ها در فضایی رقابت می‌کنند که مشتریان تصمیم می‌گیرند کدام محصولات موفق شوند. این حالت به تولید انبوه و کالاهای مصرفی مرتبط است؛ چراکه سازمان سعی در رقابت بر سر ایجاد یا تغییر مرزهای بازار دارد؛ اما در محصولات پیچیده که به‌هیچ‌وجه تولید انبوه نمی‌شود، چرخه عمر محصول ممکن است چند دهه طول بکشد. در محصولات پیچیده ساختار بازار تفاوت‌های ساختاری داشته و معمولاً انحصاری یا کنترل‌شده است (الیاسی و شفیعی، ۱۳۹۳; Hobday, 1998; Ren & Yeo, 2006). جدول (۱) مقایسه میان مشخصه‌های محصولات پیچیده و محصولات مصرفی انبوه از ابعاد گوناگون است. اگر به لحاظ سطح پیچیدگی محصولات انبوه را به دودسته فرآیندمحور[۷] و طراحی‌محور[۸] دسته‌بندی کرد، مقایسه آن دو با محصولات پیچیده به روشن شدن تفاوت‌های میان دو رویکرد تولیدی محصولات پیچیده و انبوه کمک می‌نماید.

## ۳- پیشینه پژوهش

خواص و مشخصه‌های محصولات و سیستمهای پیچیده، ابزارها و روش‌های مدیریتی، قابلیت‌های کلیدی، ساختارهای سازمانی، نقش سیاست‌گذار و دولت، تأثیرات اقتصادی محصولات پیچیده و

**جدول (۱): مقایسه ویژگی‌های مختلف محصولات پیچیده، فرآیندمحور و طراحی‌محور (Binz, et al., 2017)**

| ویژگی‌ها | محصولات فرآیندمحور | محصولات طراحی‌محور | محصولات و سیستم‌های پیچیده |
|---|---|---|---|
| حساسیت طراحی | پایین | بالا | بالا |
| مقیاس سرمایه‌گذاری | کارخانه‌های مونتاژ | خوشه‌های صنعتی و تولیدی | مبتنی بر پروژه، سفارشی |
| فرآیند ساخت‌وتولید | – تولید انبوه به‌طور تمام‌خودکار<br>– دسته‌های بسیار بزرگ | – تولید انبوه نیمه‌خودکار<br>– دسته‌های بزرگ | – پروژه منحصربه‌فرد<br>– طراحی اختصاصی |
| نوع یادگیری | – یادگیری با جستجو (علوم پایه، تحقیق و توسعه در آزمایشگاه)<br>– یادگیری در عمل | – یادگیری در عمل (در آزمایش‌ها)<br>– یادگیری با تعامل (نوآوری جمعی) | – یادگیری مبتنی بر پروژه (نقاط کلیدی)<br>– یادگیری در عمل (تجربه در کارخانه‌ها) |
| مشتریان و کاربران | مشتریان خصوصی، خانوارها، مبادلات بازاری | توسعه‌دهندگان، سرمایه‌گذاران خصوصی یا نهادها | دولت، صنایع همگانی، سرمایه‌گذاران خصوصی |
| نوع محصول و بازار | – محصولات استانداردشده برای مشتریان استاندارد<br>– تقاضای همگن در بازارهای انبوه<br>– رقابت بر اساس قیمت‌های رقابتی | –محصولات استانداردشده برای مشتریان خاص<br>– سفارشی‌سازی<br>– رقابت بر اساس عملکرد سیستم | – درجه بالایی از سفارشی‌سازی<br>– مشتریان بسیار خاص (صنایع همگانی یا دولتی)<br>– رقابت بر اساس شبکه‌های انحصاری |
| قابلیت‌های ضروری | – توانایی تولید انبوه<br>– تدارکات، تجزیه‌وتحلیل بازار و توزیع عمده<br>– شایستگی در تحقیق و توسعه علمی | – توانایی طراحی نوآورانه و صنعتی<br>– همکاری بلندمدت با توسعه‌دهندگان<br>– تخصص در خصوص مؤلفه‌های اصلی | – قابلیت‌های مدیریت پروژه و یکپارچه‌سازی سیستم<br>– تسلط بر بافتارهای[9] نهادی (قوانین، مقررات، تسهیلگرها)<br>– تخصص در زیر فرآیندها |

درنهایت همپایی[10] کشورهای تازه‌وارد ازجمله محورهای تحقیقاتی محققان در دو دهه اخیر بوده است (Safdari Ranjbar, 2018).

در ابتدای پیدایش مفاهیم محصولات و سیستم‌های پیچیده محققان مختلفی سعی در ارائه الزامات و نیازمندی‌های موردنیاز در صنعت محصولات و سیستم‌های پیچیده می‌کردند. دیویس و بردلی (۲۰۰۰) یک مدل سه عاملی معرفی کردند که در آن قابلیت‌های راهبردی، وظیفه‌ای و پروژه‌ای را به‌عنوان سه قابلیت اساسی در توسعه محصولات پیچیده مطرح کردند(Davies & Brady, 2000). دیویس و هابدی (۲۰۰۵) در مورد بنگاه‌های پروژه‌ای به شرح بیشتر این مدل پرداخته و این نکته را ذکر کردند که این سه قابلیت منتج شده از منابع سازمان است؛ و قابلیت‌های راهبردی را شامل قابلیت یکپارچه‌سازی

سیستم و تمرکز راهبردی بر راهکارهای داخلی و خارجی مشتریان شمرده‌اند، قابلیت‌های پروژه را شامل مدیریت پروژه به‌صورت نرم و سخت، سازمان‌دهی پروژه و یادگیری از پروژه دسته‌بندی کرده و درنهایت قابلیت‌های وظیفه‌ای را شامل مهندسی سیستم، مهندسی نرم‌افزار و فناوری اطلاعات و خدمات موردنیاز (آموزش، پشتیبانی، تأمین مالی) در نظر گرفتند (Davies & Hobday, 2005). نایتینگل (۲۰۰۰) عواملی مانند مدیریت پروژه، مدیریت ریسک، برنامه‌ریزی احتمالات، ارتباط و رهبری پروژه، استفاده از فناوری‌های جدید یا قبلی، تحلیل‌های حین طراحی، شبیه‌سازی، تغییر سازمانی و کانال‌های ارتباطات رسمی را به‌عنوان راهکارهای مواجهه با چالش‌های محصولات و سیستم‌های پیچیده شناسایی و پیشنهاد نمود (Nightingale, 2000). ایگل و همکارش (۲۰۰۲) قابلیت‌ها را در دودسته اصلی قابلیت‌های فناورانه و قابلیت‌های تجهیزکننده قراردادند. قابلیت‌های فناورانه شامل قابلیت تحقیق و توسعه و طراحی، قابلیت کشف و بهره‌برداری از فناوری و قابلیت‌های تولید و مهندسی بود. قابلیت‌های تجهیزکننده نیز قابلیت اکتساب، قابلیت‌های خدماتی و بازاری، قابلیت توسعه منابع انسانی و قابلیت یکپارچه‌سازی را در برمی‌گرفت (Wei & Igel, 2010; Igel & Wei, 2002).

به‌تدریج با جا افتادن مفاهیم مربوط به محصولات و سیستم‌های پیچیده در عرصه علمی، پژوهشگران به توسعه و بسط قابلیت‌های کلیدی روی آوردند. هاردستون (۲۰۰۴)، در مقاله‌ای از سه منظر قابلیت، راهبرد و ساختار، بنگاهی صنعتی را مطالعه کرده و درنهایت قابلیت‌های مدیریت پروژه، مدیریت شبکه‌های همکاری، قابلیت‌های بازاری و یکپارچه‌سازی سیستم در سطوح مختلف را به‌عنوان کلیدی‌ترین قابلیت‌های مدنظر در توسعه محصولات پیچیده شناسایی کرد (Hardstone, 2004). اوشری و نیوول (۲۰۰۵) دیگر محققانی بودند که بامطالعه صنایع هوافضا قابلیت‌های کلیدی موردنظرشان را در چهار بخش دسته‌بندی کردند. آن‌ها ساختارهایی سازمانی و انطباق پذیر جهت مدیریت پروژه، قابلیت تضمین روابط به‌هم‌پیوسته میان سطوح پروژه‌ای، وظیفه‌ای و راهبردی، استفاده از روش‌های طراحی مانند شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای و سیستم‌های طراحی به کمک رایانه[11]، سازوکارهای یادگیری و سازمان پروژه محور را از الزامات کلیدی موفقیت در تولید محصولات پیچیده برشمردند (Oshri & Newell, 2005). رن و یئو (۲۰۰۶) نیز در تحقیقات خود چندین قابلیت محوری ازجمله یکپارچه‌سازی سیستم، مدیریت پروژه‌های کلان، مدیریت لجستیک و زنجیره تأمین‌های پیچیده، مدیریت دانش، مدیریت ریسک و برخی مهارت‌های نرم ضمنی مانند شیوه مناسب رهبری و هدایت پروژه و مهارت‌های سیاسی، مدیریت میان فرهنگی افراد مختلف و درنهایت خبرگی در مسائل قانونی و حقوقی را نام بردند. (Ren & Yeo, 2006). قابلیت مدیریت دانش در محصولات و سیستم‌های پیچیده یکی دیگر از قابلیت‌هایی است که محققان مختلف در مقالاتی به آن اشاره

داشته‌اند. اکثر این محققان به نقش دانش‌های بین‌رشته‌ای به‌عنوان یک ورودی مهم و کلیدی جهت توسعه محصولات پیچیده اشاره‌کرده‌اند (Chen, et al., 2007; Ngai, et al., 2008; Li, et al., 2018).

سو و لئو (۲۰۱۲) سه بعد اصلی به‌اضافه شش بعد فرعی مرتبط با توسعه محصولات پیچیده شناسایی کردند. قابلیت اول درک نیازمندی‌های مشتری که شامل دو بعد توانایی در دنبال کردن و همسویی با سیاست‌گذاری‌های کشوری به‌اضافه ظرفیت سرمایه اجتماعی مدیریت ارشد است. بعد دوم قابلیت کنترل شبکه‌های چند سازمانی است که خود شامل مدیریت شبکه و شبکه‌های خودسازمان‌ده می‌شود. درنهایت قابلیت جذب یادگیری سازمانی با دو زیر قابلیت اکتساب فناوری و یادگیری سازمانی ازجمله شایستگی‌های شناسایی‌شده بود (Su & Liu, 2012). پارک (۲۰۱۲) سه قابلیت اصلی و موردنیاز پروژه‌های محصولات و سیستم‌های پیچیده را شبکه‌سازی، دانش اکتساب و اهرم سازی نهادها و قوانین برشمرد.. بعدازآن در پژوهشی دیگر، برقراری پایگاه تقاضای مستحکم به سه قابلیت تحقیقات قبلی آن‌ها افزوده شد (Park, 2012; Park & Ji, 2015).

پوتاناکول و همکاران (۲۰۱۶) تعداد ۳۸ پروژه کلان که دولت‌ها در توسعه و اجرای آن‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کردند موردبررسی قرار گرفت (Patanakul, et al., 2016). این پروژه‌ها طیف وسیعی از صنایع مختلف محصولات و سیستم‌های پیچیده را در برمی‌گرفتند که شامل صنایع دفاعی، فناوری اطلاعات و ارتباطات، صنایع حمل‌ونقل، صنایع هوایی و فضایی و پروژه‌های زیرساختی بودند. درنهایت شش ویژگی کلیدی و ۱۷ توصیه عملی برای این پروژه‌ها شناسایی و ارائه شد. نتایج این پژوهش در جدول (۲) گردآوری‌شده است.

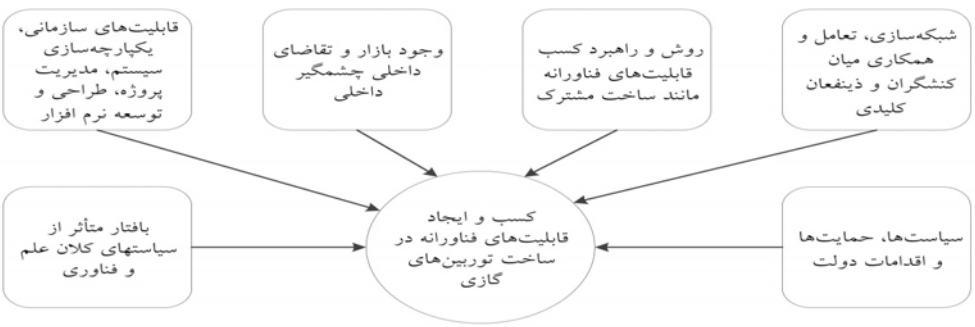
در پژوهش‌های داخلی، کیامهر و همکارن (۲۰۱۳) قابلیت یکپارچه‌سازی راهبردی در صنعت برق را شناسایی کردند که تمرکز بر داخل یا برون‌سپاری را در دل خود جای‌داده بود. قابلیت یکپارچه‌سازی وظیفه‌ای نیز دیگر قابلیت شناسایی‌شده بود که شامل مهندسی سیستم و نرم‌افزار، خدمات (عملیات، پشتیبانی، مالی) و تحقیق و توسعه می‌شد. درنهایت قابلیت یکپارچه‌سازی پروژه نیز در سه فاز مورداشاره محققان این پژوهش بود. فاز اول فعالیت‌های قبل پروژه مانند تعریف نیازمندی‌های مشتری، ارزش‌گذاری، جستجو و انتخاب و مذاکره با پیمانکاران و شرکا و آماده‌سازی مزایده‌ها و پیشنهادها را تشکیل می‌داد. فاز دوم فعالیت‌های حین پروژه مانند مدیریت پروژه شامل طراحی، مهندسی، تدارک، نصب، تست و راه‌اندازی را بیان می‌کرد. فاز سوم نیز فعالیت‌های بعد از پروژه مانند خدمات پس از تحویل، یادگیری نیازمندی‌های جدید و بازخوردهای طراحی سیستم را در خود جای می‌داد (Kiamehr, et al., 2013).

صفدری‌رنجبر و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی قابلیت‌های موردنیاز در نوآوری سیستم‌ها و محصولات

**جدول (۲): مشخصه‌های کلیدی پروژه‌های کلان و راهکارهای عملی برای پیشبرد پروژه‌ها (Patanakul, et al., 2016)**

| مشخصه‌های پروژه‌های کلان | راهکارها |
|---|---|
| عدم دنبال کردن اهداف و عواید مالی | - تمرکز بر مدیریت منافع مالی در طول پروژه<br>- تعیین سود هدف به‌طور جامع، مشخص و قابل‌دستیابی<br>- ایجاد توافق بر روی شیوه‌های تعیین اهداف مالی بین بازیگران |
| بهره‌برداری طولانی‌مدت | - تمرکز بر طراحی منعطف و پابرجا و درنظرگرفتن نیازمندی‌های آتی<br>- ایجاد فرآیند مدیریت کیفیت اثربخش<br>- توسعه راهبردهای اتخاذ فناوری |
| ذینفعان چندگانه | - مشارکت دادن ذینفعان با توجه به تأثیرات آن‌ها در پروژه<br>- ایجاد مشارکت و توافقات بین سازمانی |
| پیچیدگی | - دانش و آگاهی پیرامون پیچیدگی و ابعاد پروژه<br>- ماژولارسازی و تقسیم‌بندی پروژه به پروژه‌های کوچک‌تر<br>- استفاده از یک برنامه زمان‌بندی اصلی و یکپارچه برای هدایت فعالیت‌های پروژه |
| محیط سیاسی | - اطمینان از هماهنگی میان پروژه و قوانین جاری<br>- اطمینان از هماهنگی میان پروژه و راهبردهای دولت<br>- مهیا نمودن اختیارات بیشتر برای مدیر پروژه جهت سهولت پاسخگویی به ذینفعان |
| فرآیندهای رسمی | - ایجاد فرآیندهای مدیریت پروژه جهت هدایت و مدیریت پروژه‌های دولتی<br>- کسب اطمینان از بهره‌برداری کامل از فرآیندها<br>- بهبود حکمرانی در پروژه‌ها با تقویت مسئولیت‌های مالک ارشد |

دفاعی پرداختند. آن‌ها قابلیت‌هایی نظیر مدیریت دانش درون و برون‌سازمانی، مدیریت بازار و تعامل با مشتری، یکپارچه‌سازی سیستم، شبکه‌سازی، تعامل و همکاری، قابلیت‌های فناورانه، برنامه‌ریزی پروژه‌های کلان و توانمندی‌های تست و درنهایت ساخت و تولید را بررسی کردند (صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف). حسینی و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی پروژه بالگرد ملی سازمان صنایع هوایی، قابلیت‌های سازمانی، ساختار سازمانی، ادغام سیستم، یادگیری و مدیریت دانش را به‌عنوان عوامل کلیدی شناسایی نمودند. در پژوهشی دیگر صفدری رنجبر و همکاران بامطالعه موردی شرکت توربو کمپرسور نفت ایران، پیشران‌های کسب و ایجاد قابلیت‌های فناورانه محصولات و سیستم‌های پیچیده در بنگاه‌های متأخر را مورد تحقیق و بررسی قراردادند (صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–ب). این عوامل در شکل (۲) به نمایش گذاشته شده است. صفدری و همکاران الگوی ساخت و انباشت قابلیت‌های فناورانه محصولات و سیستم‌های پیچیده که شامل سه مرحله خرید، مونتاژ و بهره‌برداری از توربین‌های وارداتی؛ ساخت مشترک توربین‌های گازی به‌صورت تحت لیسانس؛ و ساخت توربین‌های گازی به‌صورت




**شکل (۲): پیشران‌ها و عوامل مؤثر بر کسب و ایجاد قابلیت‌های فناورانه ساخت توربین‌های گازی (صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵-ب)**

مستقل در شرایط تحریم بود را برشماردند (صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵- پ).

کیامهر و همکاران (۲۰۱۵) نیز به بررسی راهبردهای بنگاه‌های متأخر و توسعه‌دهنده محصولات و سیستم‌های پیچیده پرداختند. آن‌ها ادراک و تحلیل‌های تیم رهبری ارشد سازمان در خصوص فرصت‌ها و چالش‌های خارجی به‌اضافه امکانات و محدودیت‌های داخلی، داشتن افق در خصوص دستاوردهای آتی و میزان سرمایه‌گذاری را به‌عنوان عناصر ورودی تصمیمات معرفی کردند (Kiamehr, et al., 2015). کیامهر (۲۰۱۷) در پژوهش خود به تحلیل سازوکارهای یادگیری با اتکا به مفهوم یادگیری در پروژه، مهندسی محور بودن وظایف و برخی شیوه‌های انتقال دانش در صنعت نیروگاه‌های برق‌آبی پرداخته است (Kiamehr, 2017). نقی زاده و همکاران (۲۰۱۶) مدیریت یکپارچه‌سازی را به‌عنوان نقطه تمرکز خود قراردادند. حوزه مطالعه آن‌ها برنامه طراحی هواپیمای داخلی IR-150 بود که یکی از پروژه‌های ملی به‌حساب می‌آید. یافته‌های آن‌ها در مواردی مانند یکپارچه‌سازی دانش و قابلیت‌های بازیگران مختلف، تأمین مالی و توزیع مناسب منابع مالی، سیاست‌گذاری و وضع قوانین مناسب شبکه‌های نوآوری، برنامه‌ریزی برای نیازمندی‌های مرتبط با پویایی پروژه‌های محصولات و سیستم‌های پیچیده، ارتباطات عمیق میان بازیگران شبکه و فعالیت‌هایشان و درنهایت یکتایی ابزارهای یکپارچه‌سازی جهت مدیریت موفق پروژه‌های محصولات و سیستم‌های پیچیده در کشورهای درحال‌توسعه، خلاصه می‌شود. (Naghizadeh, et al., 2016). مجیدپور (۲۰۱۶) صنعت ساخت و تولید توربین‌های گازی را مطالعه نموده و بیان کرد راهبردهای شرکت، رژیم‌های فناورانه، سیاست‌گذاری‌های دولت و ساختار بازار عوامل تأثیرگذار کلان در موفقیت بازارهای محصولات پیچیده هستند (Majidpour, 2016).

## ۴- روش پژوهش

پژوهش حاضر ازنظر هدف کاربردی و توسعه‌ای است؛ ازنظر نحوه گردآوری داده‌ها و روش تحقیقی، توصیفی- پیمایشی است. در پژوهش فعلی، هم از روش کیفی و هم روش کمی استفاده شده است؛ بنابراین می‌توان بیان کرد که روش تحقیق موردنظر این پژوهش آمیخته‌ای از روش کمی و کیفی است. پژوهش در سه‌گام به صورت زیر صورت می‌پذیرد.

### ۴-۱- شناسایی و دسته‌بندی قابلیت‌های کلیدی

جهت شناسایی قابلیت‌ها ابتدا با بررسی ادبیات موضوع در دو دهه اخیر و انجام مطالعات کتابخانه‌ای اقدام به جمع‌آوری اولیه قابلیت‌های موردنیاز محصولات پیچیده شده است. جهت سنجش اعتبار عوامل، غنا بخشی و دسته‌بندی آن‌ها، مصاحبه با خبرگان این حوزه صورت گرفت. این مصاحبه‌ها به‌صورت فردبه‌فرد و با سازوکار مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته انجام شد؛ به این صورت که برای استخراج دانش ضمنی همچنین عدم جهت‌دهی به ذهن خبره، سؤالات به‌صورت باز مطرح‌شده و پس از کشف قابلیت‌های جدید، تأیید و دسته‌بندی قابلیت‌های احصا شده و رسیدن به مرز اشباع ادامه یافت. برای بررسی نهایی، رد یا تایید قابلیت‌ها پرسش‌نامه‌ای تهیه شد و میان خبرگان بیشتری توزیع شد. جهت سنجش روایی پرسش‌نامه‌ها از روش روایی محتوایی استفاده گردید و روایی پرسش‌نامه توسط خبرگان تایید شد؛ همچنین پایایی به‌وسیله آلفای کرونباخ محاسبه شد. کلیه محاسبات آماری پژوهش به کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام گرفت.

### ۴-۲- تعیین روابط میان عوامل مستخرج با روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری

به‌منظور تعیین روابط علی معلولی و سطح‌بندی عوامل از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری استفاده شد. ماتریس مقایسات این روش که ماتریس خودتعاملی ساختاری نامیده می‌شود در میان افراد توزیع شد. مدل‌سازی ساختاری تفسیری، یک روش برای ایجاد و فهم روابط میان عناصر یک سیستم پیچیده است. برای تشکیل این ماتریس لازم است عوامل شناسایی‌شده دوبه‌دو بررسی شوند و نوع رابطه بین آن‌ها مشخص شود (طلایی و همکاران، ۱۳۹۶). در این روش، از نمادهای O، X، A و V برای نشان دادن نوع رابطه بین عوامل استفاده می‌شود. نحوه استفاده از نمادها به‌صورت زیر است (طلایی و همکاران، ۱۳۹۶):

- حرف V: اگر عنصر i بر عنصر j اثر داشته باشد ولی عنصر j بر عنصر i اثر نداشته باشد.
- حرف A: اگر عنصر i بر عنصر j اثر نداشته باشد ولی عنصر j بر عنصر i اثر داشته باشد.
- حرف X: اگر هردو عنصر بر یکدیگر اثر داشته باشند.

• حرف O: اگر دو عنصر هیچ اثری بر یکدیگر نداشته باشند.

در ادامه با استفاده از یک سری قواعد حروف تخصیص داده‌شده به اعداد صفر و یک تبدیل می‌شود. قواعد تبدیل ماتریس خود تعاملی ساختاری به ماتریس دسترس‌پذیری اولیه به‌قرار زیر است (طلایی و همکاران، ۱۳۹۶):

• اگر درایه (i,j) در SSIM برابر V باشد، آنگاه درایه (i,j) در ماتریس دسترس‌پذیری برابر ۱ و درایه (j,i) برابر ۰ است.

• اگر درایه (i,j) در SSIM برابر A باشد، آنگاه درایه (i,j) در ماتریس دسترس‌پذیری برابر ۰ و درایه (j,i) برابر ۱ است.

• اگر درایه (i,j) در SSIM برابر X باشد، آنگاه درایه (i,j) در ماتریس دسترس‌پذیری برابر ۱ و درایه (j,i) برابر ۱ است.

• اگر درایه (i,j) در SSIM برابر O باشد، آنگاه درایه (i,j) در ماتریس دسترس‌پذیری برابر ۰ و درایه (j,i) برابر ۰ است.

پس‌ازاینکه ماتریس دستیابی اولیه ایجاد گردید، باید به بررسی ویژگی انتقال‌پذیری ماتریس پرداخته شود. خاصیت انتقال‌پذیری به معنای آن است که اگر عامل I بر روی عامل J اثرگذار باشد و عامل J نیز بر روی عامل K اثرگذار باشد، آنگاه عامل I نیز بر عامل K اثرگذار خواهد بود. پس از برقراری خاصیت انتقال‌پذیری در ماتریس دستیابی اولیه، ماتریس دستیابی نهایی حاصل میشود. پس‌ازآن برای تقسیمبندی عوامل به سطوح مختلف، باید مجموعه‌های زیر تعریف شود:

• مجموعه دسترس‌پذیری برای هر عنصر i: شامل عواملی است که عنصر i بر آن‌ها اثر می‌گذارد؛ به‌علاوه خود عنصر i.

• مجموعه مقدم برای هر عنصر i: شامل عواملی است که بر عنصر i اثر می‌گذارند؛ به‌علاوه خود عنصر i.

• مجموعه اشتراک برای هر عنصر i: اشتراک بین مجموعه دسترس‌پذیری و مقدم

نحوه سطح‌بندی عوامل بدین گونه است که هر عنصری که مجموعه دسترس‌پذیری و اشتراک یکسان دارد، در سطح ۱ قرار می‌گیرد. سپس عنصر مذکور از مجموعه عوامل حذف می‌گردد و این روند برای عوامل دیگر انجام می‌شود تا تمامی عوامل سطح‌بندی گردند. درنهایت پس‌ازاینکه کلیه عوامل تقسیمبندی شدند و محل قرار گرفتن همه آن‌ها در مدل مشخص گردید، مدل گرافیکی ترسیم می‌شود. پس از ترسیم مدل ساختاری تفسیری می‌توان تحلیل هدایت – وابستگی میان عوامل را انجام داد (طلایی و همکاران، ۱۳۹۶).

**۴-۳- اولویت‌بندی و تعیین اهمیت عوامل با روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای**

در گام بعدی پژوهش پس از تعیین نوع تأثیرگذاری قابلیت‌های کلیدی، تعیین وزن هر یک از عوامل با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای صورت پذیرفت.

در این روش، وزن دهی میان قابلیت‌ها را با توجه به روابط مستخرج از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری انجام می‌شود. به همین دلیل حجم زیادی از محاسبات کاهش خواهد یافت. در قدم اول در روش تحلیل شبکه‌ای تعریف ساختار شبکه انجام شد. پس‌ازآن پرسش‌نامه‌های ویژه روش تحلیل شبکه‌ای به‌منظور انجام مقایسات زوجی مشخص‌شده، بین اعضای نمونه توزیع شد. در قدم بعدی نیز به کمک نرم‌افزار سوپردسیژن[۱۲] محاسبات مربوطه انجام‌گرفته است.

## ۵- تجزیه‌وتحلیل یافته‌های پژوهش

یافته‌های پژوهش مبتنی بر نظرات کارشناسان و خبرگان درگیر در پروژه‌های توسعه محصولات پیچیده بوده است. با توجه به نوپا بودن این حوزه در کشور و دشواری‌های موجود برای دسترسی به متخصصان این حوزه از نمونه‌گیری هدف‌دار استفاده‌شده است تا هم در بخش مصاحبه و هم در بخش پرسش‌نامه‌ها افراد واجد شرایط و کلیدی شناسایی و انتخاب شوند. جدول (۳) مشخصات جمعیت‌شناختی اعضای نمونه برای مراحل مصاحبه و توزیع پرسش‌نامه را نشان می‌دهد.

**۵-۱- قابلیت‌های موردنیاز در ساخت‌وتولید محصولات و سیستم‌های پیچیده**

پس از مطالعات کتابخانه‌ای و انجام مصاحبه با خبرگان درنهایت ۱۰ قابلیت (توانمندساز) کلیدی به‌عنوان عوامل اصلی و ۴۶ مؤلفه یا عامل فرعی شناسایی شدند. این قابلیت‌ها اساسی‌ترین و مهم‌ترین توانمندسازهای موردنیاز سازمان برای موفقیت در ساخت‌وتولید محصولات پیچیده محسوب می‌شوند که در جدول (۴) ذکرشده‌اند. لازم به ذکر است که قابلیت‌های فرعی که اجزای تشکیل‌دهنده قابلیت‌های اصلی محسوب می‌شوند، به‌عنوان گویه‌های پرسش‌نامه مورداستفاده قرار گرفتند.

برای بررسی نهایی و رد یا تأیید قابلیت‌ها، پرسش‌نامه‌ای بین خبرگان توزیع شد. جهت سنجش روایی پرسش‌نامه که محقق ساخته بود، روش روایی ظاهری و محتوایی به‌صورت کیفی استفاده شد؛ به‌گونه‌ای که پرسش‌نامه در اختیار ۷ تن از خبرگان موجود قرار گرفت و میزان هماهنگی محتوای ابزار اندازه‌گیری و هدف پژوهش، سادگی، وضوح و ضروری بودن آن‌ها تأیید شد. برای سنجش پایایی پرسش‌نامه نیز در روش آلفای کرونباخ تمامی متغیرها همچنین کل سؤالات پرسش‌نامه بزرگ‌تر از ۰٫۷ گزارش شد. این

**جدول (۳): ویژگی‌های جمعیت‌شناختی اعضای نمونه پژوهش**

| ابزار جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات | مجموع افراد (نفر) | میانگین سنی افراد (سال) | میزان تحصیلات | | | میزان سوابق کاری مرتبط با توسعه محصولات پیچیده (سال) | | | سمت سازمانی و عنوان شغلی | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | کارشناسی | کارشناسی ارشد | دکتری | ۱ تا ۵ | ۵ تا ۱۰ | ۱۰ تا ۲۰ | کارشناس طراحی و مهندسی | مدیر تولید و عملیات | مدیر تحقیق و توسعه | استاد دانشگاه و پژوهشگر حوزه محصولات و سیستم‌های پیچیده |
| مصاحبه‌های خبرگی | ۱۰ | ۴۲ | – | ۳ | ۷ | ۱ | ۲ | ۷ | ۲ | ۳ | ۲ | ۳ |
| پرسش‌نامه قابلیت‌ها | ۲۱ | ۴۰ | ۴ | ۶ | ۱۱ | ۲ | ۶ | ۱۳ | ۴ | ۶ | ۴ | ۷ |
| پرسش‌نامه روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری | ۲۱ | ۴۰ | ۴ | ۶ | ۱۱ | ۲ | ۶ | ۱۳ | ۴ | ۶ | ۴ | ۷ |
| پرسش‌نامه روش تحلیل شبکه‌ای | ۲۱ | ۴۰ | ۴ | ۶ | ۱۱ | ۲ | ۶ | ۱۳ | ۴ | ۶ | ۴ | ۷ |

بدان معناست که پرسش‌نامه از پایایی مناسب برخوردار است.

پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه‌ها، از آزمون کلوموگروف–اسمیرنوف استفاده شد. نتایج آزمون نشان می‌دهد که متغیرهای مربوط به طراحی و مهندسی، شبکه‌سازی، همکاری و تعاملات کلان و مدیریت بازار و مشتریان به دلیل سطح معناداری بزرگ‌تر از ۰٫۰۵ دارای توزیع نرمال بوده ولی سایر متغیرهای موجود دارای توزیع نرمال نیستند؛ بنابراین برای رد و تأیید متغیرهای نرمال از آزمون‌های پارامتریک و برای سایر متغیرها از آزمون‌های ناپارامتریک استفاده گردید.

به‌این‌ترتیب آزمون پارامتریک تک نمونه‌ای T برای متغیرهای نرمال استفاده شد. سطح معناداری تمامی متغیرها ۰ و کمتر از ۰٫۰۵ بود؛ پس فرض بدیل (تأثیر قابلیت برساخت محصول پیچیده) تأیید می‌شود؛ بنابراین تمامی متغیرهای فوق مؤثر در ساخت محصولات پیچیده هستند. برای متغیرهای غیر نرمال نیز از آزمون ناپارامتریک تک نمونه‌ای ویلکاکسون استفاده شد. سطح معناداری تمامی متغیرها ۰٫۰۰ گزارش شد که طبق آن، اثرگذاری تمامی متغیرهای ساخت و تولید، تست و آزمون، یکپارچه‌سازی، سیستم‌های اطلاعاتی، مدیریت پروژه و مدیریت مالی تأیید می‌شود. در پایان با توجه به هر دو آزمون T و ویلکاکسون تمامی متغیرهای تحقیق تأیید شد. نتایج حاصل از آزمونها در جدول (۵) آمده است.

**جدول (۴): قابلیت‌های اصلی و زیر قابلیت‌های شناسایی‌شده پژوهش**

| عوامل اصلی | عوامل فرعی | مرور ادبیات | مصاحبه |
|---|---|---|---|
| قابلیت‌های ساخت‌وتولید | طراحی، مدیریت و برنامه‌ریزی سیستم‌های تولیدی و عملیاتی | (Hobday, 1999; Wei & Igel, 2010; DOD, 2012; DUA, 2010; Ulrich & Eppinger, 2008) | ✓ |
| | اکتساب و تهیه فناوری‌های جدید تولیدی و تجهیزات ساخت اعم از نرم و سخت | (Nightingale, 2000; Wei & Igel, 2010; Su & Liu, 2012; Kiamehr, et al., 2015; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف) | ✓ |
| | انعطاف‌پذیری در تجهیزات و سیستم‌های تولیدی (ماژولاریتی، ادغام‌پذیری، سفارشی‌سازی، مقیاس‌پذیری و...) | – | ✓ |
| | پشتیبانی فنی و لجستیکی از فرآیند (نگهداری‌وتعمیرات، مدیریت‌وتضمین کیفیت، مدیریت و کنترل موجودی و ...) | (Wei & Igel, 2010; Kiamehr, et al., 2013; DOD, 2012) | - |
| قابلیت‌های تست‌وآزمون | تست و آزمون شاخص‌های اصلی (تست عملکرد/ کارکرد اجزا، قابلیت اطمینان، محیطی، ایمنی، مکانیکی، سازگاری، دوام، حرارتی، عمر و ...) | (DOD, 2012; Ulrich & Eppinger, 2008; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف) | ✓ |
| | طراحی و پیاده‌سازی تست‌های جامع و یکپارچه | (DOD, 2012; Ulrich & Eppinger, 2008) | ✓ |
| | طراحی و ایجاد محیط‌های تست محصول شامل آزمایشگاهی، میانی، شبه نهایی | (DOD, 2012; Ulrich & Eppinger, 2008; DUA, 2010) | ✓ |
| قابلیت‌های طراحی و مهندسی | طراحی و معماری ماژولار اجزاء و محصول | (Hobday, 1999; Prencipe, 2000; Ulrich & Eppinger, 2008; Wei & Igel, 2010; Kossiakoff, et al., 2011; Blanchard & Blyler, 2016) | ✓ |
| | طراحی و مهندسی به کمک رایانه (CAE/CAD) | (Hobday, 1999; Davies & Hobday, 2005; Oshri & Newell, 2005) | ✓ |
| | طراحی عوامل هدف[۱۳] و برقراری توازن بین آن‌ها (عوامل شامل ساخت‌پذیری، مونتاژپذیری، هزینه، کیفیت، انعطاف‌پذیری، قابلیت اطمینان، پابرجایی و ...) | (Nightingale, 2000; DOD, 2012; DUA, 2010; Ulrich & Eppinger, 2008) | - |
| | توسعه یکپارچه محصول و فرآیند[۱۴] | (DOD, 2012; DUA, 2010) | ✓ |
| | هدایت و مدیریت گروه‌های چندمهارته و یکپارچه و مرکب از واحدهای سازمان (واحد طراحی، تحقیق‌وتوسعه، مهندسی، ساخت‌وتولید و ...) | (Ren & Yeo, 2006; DOD, 2012; Anderson, 2014; Thomassen & Alfnes, 2017) | |
| | نمونه‌سازی/ نمونه‌سازی سریع | (Nightingale, 2000; Ulrich & Eppinger, 2008; Wei & Igel, 2010; DOD, 2012; Anderson, 2014; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف) | ✓ |
| | شبیه‌سازی و مدل‌سازی مفهومی، فیزیکی و رایانه‌ای محصول و فرآیندها | (Nightingale, 2000; Oshri & Newell, 2005; Ulrich & Eppinger, 2008; Wei & Igel, 2010; DOD, 2012; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف) | ✓ |
| | استانداردسازی اجزاء و فرآیندها | (Wei & Igel, 2010; Ulrich & Eppinger, 2008; Anderson, 2014; Thomassen & Alfnes, 2017; DOD, 2012; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف) | - |

| عوامل اصلی | عوامل فرعی | مرور ادبیات | مصاحبه |
|---|---|---|---|
| قابلیت‌های یکپارچه‌سازی و مهندسی سیستم | یکپارچه‌سازی دانش، مهارت، فناوری‌ها و توانمندی‌های منابع انسانی بازیگران شبکه ساخت (مانند تأمین‌کنندگان، شرکای تجاری، مؤسسات علمی‌وتحقیقاتی و ...) | (Hobday, 1999; Davies & Brady, 2000; Davies & Hobday, 2005; Oshri & Newell, 2005; Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Kiamehr, et al., 2013; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف) | - |
| | یکپارچه‌سازی اجزاء، مؤلفه‌ها، زیرسیستم‌ها و سیستم‌های فیزیکی و نرم‌افزاری | (Hobday, 1999; Davies & Brady, 2000; Nightingale, 2000; Davies & Hobday, 2005; Oshri & Newell, 2005; Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Su & Liu, 2012; Patanakul, et al., 2016; حسینی و همکاران، ۱۳۹۵) | ✓ |
| | یکپارچه‌سازی منابع فیزیکی، تجهیزات، ماشین‌آلات و ادوات درون‌سازمانی و شرکای برون‌سازمانی | (Hobday, 1999; Davies & Brady, 2000; Nightingale, 2000; Davies & Hobday, 2005; Oshri & Newell, 2005; Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Kiamehr, et al., 2013; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف) | - |
| | مدیریت و پایدارسازی چرخه اکتساب محصول | (Ulrich & Eppinger, 2008; Wei & Igel, 2010; DOD, 2012; Anderson, 2014; Thomassen & Alfnes, 2017; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف) | - |
| | مدیریت ریسک در ابعاد مختلف فرآیند توسعه محصول | (Nightingale, 2000; Ulrich & Eppinger, 2008; Wei & Igel, 2010; DOD, 2012; Anderson, 2014; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف) | ✓ |
| | قابلیت و اجرای فرآیندهای مهندسی سیستم (مانند مدیریت فرآیندهای فنی، مدیریت پیکره‌بندی و تغییرات محصول، تحلیل تصمیمات، طرح‌ریزی فنی و ...) | (Hobday, 1999; Nightingale, 2000; Prencipe, 2000; ; Wei & Igel, 2010; Ulrich & Eppinger, 2008; Kossiakoff, et al., 2011; DOD, 2012; DUA, 2010; Blanchard & Blyler, 2016) | ✓ |
| سیستم‌های یکپارچه اطلاعاتی، ارتباطی و دانشی | ایجاد و مدیریت پروتکل‌های یکپارچه ارتباطی پرقدرت و ایمن میان بازیگران مختلف شبکه (تأمین‌کنندگان، کارفرما، نهادهای تحقیقاتی و...) | (Hobday, 1999; Davies & Brady, 2000; Nightingale, 2000; Davies & Hobday, 2005; Oshri & Newell, 2005; Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Kiamehr, et al., 2013; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف) | ✓ |
| | قابلیت‌های مهندسی نرم‌افزار و فناوری اطلاعات | (Hobday, 1999; Davies & Brady, 2000; Nightingale, 2000; Davies & Hobday, 2005; Oshri & Newell, 2005; Ren & Yeo, 2006) | ✓ |
| | راه‌اندازی و هدایت سیستم‌های یکپارچه طراحی، مهندسی و ساخت (CAD/CAE/CAD) | (Davies & Brady, 2000; Nightingale, 2000; Davies & Hobday, 2005; Oshri & Newell, 2005; Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Kiamehr, et al., 2013) | ✓ |
| | ایجاد و بهره‌برداری از سیستم‌های برنامه‌ریزی و مدیریت منابع و فرآیندهای سازمانی (مانند ERP، BPM و...) | – | ✓ |

| عوامل اصلی | عوامل فرعی | مرور ادبیات | مصاحبه |
|---|---|---|---|
| | طراحی و هدایت سیستم‌های مدیریت دانش درون و برون‌سازمانی | (Hobday, 1999; Chen, et al., 2007; Wei & Igel, 2010; Su & Liu, 2012; Park, 2012; Park & ji, 2015; Patanakul, et al., 2016; Naghizadeh, et al., 2016; Zhang, et al., 2013; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف؛ (صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–ب | ✓ |
| | ایجاد و بهره‌برداری از سیستم‌های مدیریت داده و اطلاعات و هوشمندی کسب‌وکار (DSS/MIS/BI/EIS) | – | ✓ |
| قابلیت مدیریت پروژه‌های کلان | قابلیت رهبری و حکمرانی محیط‌های چند سازمانی پروژه‌محور | (Hobday, 1999; Davies & Brady, 2000; Nightingale, 2000; Davies & Hobday, 2005; Oshri & Newell, 2005; Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Su & Liu, 2012; Kiamehr, et al., 2013; Patanakul, et al., 2016) | ✓ |
| | شناسایی، مدیریت و تخصیص بهینه منابع و ظرفیت‌های مستقل و مشترک، مولد و غیرمولد در درون سازمان و بین سایر شرکا | – | ✓ |
| | مدیریت الزامات و حوزه‌های دانشی پروژه (مانند برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه، مدیریت کیفیت پروژه، محدوده پروژه، ارتباطات و ذینفعان، قراردادها و ...) | (Hobday, 1999; Davies & Brady, 2000; Nightingale, 2000; Davies & Hobday, 2005; Oshri & Newell, 2005; Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Kiamehr, et al., 2013; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف | ✓ |
| | مدیریت و سازمان‌دهی ساختارها و گروه‌های پروژه‌ای و ماتریسی | (Hobday, 1999; Davies & Brady, 2000; Nightingale, 2000; Davies & Hobday, 2005; Oshri & Newell, 2005; Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Su & Liu, 2012; Kiamehr, et al., 2013; Patanakul, et al., 2016; حسینی و همکاران، ۱۳۹۵) | ✓ |
| قابلیت مدیریت مالی و هزینه‌ها | جذب و تأمین منابع مالی مناسب برای توسعه محصول و تخصیص بهینه آن میان بازیگران مختلف پروژه | (Patanakul, et al., 2016; Kiamehr, et al., 2013; Naghizadeh, et al., 2016) | ✓ |
| | شناسایی و تخمین هزینه‌های مختلف در مسیر توسعه محصول پیچیده و طراحی برنامه‌های مدیریت هزینه | (Kiamehr, et al., 2013; Naghizadeh, et al., 2016; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف | ✓ |
| | تسهیم درآمدها، منافع و جریان‌های مالی پروژه میان ذینفعان و بازیگران مختلف | (Patanakul, et al., 2016; Kiamehr, et al., 2013; Naghizadeh, et al., 2016) | ✓ |
| قابلیت مدیریت بازار و تعامل با مشتریان | پیاده‌سازی و مدیریت سازوکارهای ارتباط مستمر با مشتریان/کاربران جهت رسیدن به ادراک مشترک در تمامی مراحل توسعه محصول | (Davies & Hobday, 2005; Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Su & Liu, 2012; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف | ✓ |
| | قابلیت ایجاد سازوکارهای پشتیبانی فنی و لجستیکی، تعمیرات و نگهداری، آموزش، توانمندسازی کاربران و ارائه خدمات متنوع پس از فروش | (Davies & Hobday, 2005; Wei & Igel, 2010; Kiamehr, et al., 2013; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف | ✓ |
| | تضمین پایگاه مستحکم تقاضا برای محصولات تولیدی با هماهنگی نهادها و سازمان‌های بالادستی | (Park & ji ,2015; Majidpour, 2016; Zhang, et al., 2013; Lee & Yoon, 2015; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–ب | |
| | طراحی و اجرای برنامه‌های توسعه بازار و بازاریابی داخلی و بین‌المللی و اثرگذاری بر بازارهای انحصاری | (Wei & Igel, 2010; Majidpour, 2016; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–ب | |

| عوامل اصلی | عوامل فرعی | مرور ادبیات | مصاحبه |
|---|---|---|---|
| قابلیت شبکه‌سازی و مدیریت شبکه | طراحی و مدیریت شبکه و زنجیره تأمین‌کنندگان مختلف (اعم از تأمین‌کنندگان و پیمانکاران اصلی و فرعی، تأمین‌کنندگان مواد خام و قطعات و لایه‌های پایین‌دستی) | (Hobday, 1999; Priest & Sanchez, 2001; Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Ulrich & Eppinger, 2008; Wei & Igel, 2010; Su & Liu, 2012; Park, 2012; Park & ji, 2015; Patanakul, et al., 2016; Naghizadeh, et al., 2016; Zhang, et al., 2013; Anderson, 2014; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف؛ صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–ب) | ✓ |
| | منبع یابی و انعقاد اتحادها و سازوکارهای همکاری با سازمان‌ها و شرکت‌های صنعتی و تجاری گوناگون جهت تبادل دانش و فناوری/ محصول/ سرمایه‌های فیزیکی و فکری | (Hobday, 1999; Chen, et al., 2007; Su & Liu, 2012; Park, 2012; Park & ji, 2015; Patanakul, et al., 2016; Naghizadeh, et al., 2016; Zhang, et al., 2013; Anderson, 2014; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف؛ صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–ب) | - |
| | شبکه‌سازی و همکاری با نهادها و مؤسسات تحقیقاتی، دانشگاه‌ها و پژوهشکده‌های علمی و صنعتی | (Chen, et al., 2007; Su & Liu, 2012; ; Park, 2012; Park & ji, 2015; Patanakul, et al., 2016; ; Naghizadeh, et al., 2016; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف؛ صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–ب) | ✓ |
| | مدیریت و کنترل شیوه تعاملات، تخصیص مسئولیت‌ها، اختیارات تصمیم‌گیری و نحوه ارتباطات میان بازیگران مختلف شبکه | (Hobday, 1999; Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Su & Liu, 2012; ; Park & ji, 2015; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف؛ صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–ب) | ✓ |
| | مدیریت و کنترل حقوق مالکیت مادی و معنوی، مدیریت دعاوی و اختلاف‌ها میان ذینفعان متعدد و تضمین سلامت شبکه | (Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Patanakul, et al., 2016; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف) | ✓ |
| قابلیت همکاری و تعاملات در سطوح کلان | برقراری تعاملات و ارتباطات سازنده با دولت، وزارتخانه‌ها، نهادهای سیاست‌گذار و قانون‌گذار برای همسوسازی سیاست‌های کلان در جهت حمایت از ساخت محصولات پیچیده | (Hobday, 1999; Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Su & Liu, 2012; Park, 2012; Park & ji ,2015; Kiamehr, et al., 2015; Patanakul, et al., 2016; Naghizadeh, et al., 2016; Majidpour, 2016; Lee & Yoon, 2015; صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–الف؛ صفدری‌رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵–ب) | ✓ |
| | برقراری ارتباطات و تعامل با نهادهای دولتی و خصوصی در داخل یا خارج از کشور و جذب مشارکت و حمایت آن‌ها جهت سرمایه‌گذاری، استفاده از ظرفیت‌های متقابل | (Ren & Yeo, 2006; Chen, et al., 2007; Park, 2012; Park & ji, 2015; Kiamehr, et al., 2015; Patanakul, et al., 2016; Lee & Yoon, 2015) | ✓ |
| | جذب مشارکت و ایجاد تفاهم با سازمان‌های ذینفع یا مستقل داخلی و بین‌المللی (مانند سازمان محیط‌زیست، سازمان‌های استاندارد گذار و ...) | (Ren & Yeo, 2006; Park, 2012; Park & ji, 2015; Patanakul, et al., 2016; Lee & Yoon, 2015) | |

**جدول (۵): نتایج آزمون کلوموگروف-اسمیرنوف، آزمون T و آزمون ویلکاکسون**

| متغیرها | سطح معناداری آزمون کلوموگروف_ اسمیرنوف | نرمالیتی داده‌ها | نتایج آزمون T | | نتایج آزمون ویلکاکسون | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | سطح معناداری | وضعیت رد و تأیید متغیرها | سطح معناداری | وضعیت رد و تأیید متغیرها |
| ساخت‌وتولید | ۰,۰۱ | غیر نرمال | – | تأیید | ۰,۰۰ | تأیید |
| تست‌وآزمون | ۰,۰۳۳ | غیر نرمال | – | تأیید | ۰,۰۰ | تأیید |
| طراحی‌ومهندسی | ۰,۲ | نرمال | ۰,۰۰ | تأیید | – | تأیید |
| یکپارچه‌سازی | ۰,۰۰۱ | غیر نرمال | – | تأیید | ۰,۰۰ | تأیید |
| سیستم‌های‌اطلاعاتی | ۰,۰۰۸ | غیر نرمال | – | تأیید | ۰,۰۰ | تأیید |
| مدیریت پروژه | ۰,۰۱۳ | غیر نرمال | – | تأیید | ۰,۰۰ | تأیید |
| مدیریت مالی | ۰,۰۱ | غیر نرمال | – | تأیید | ۰,۰۰ | تأیید |
| شبکه‌سازی | ۰,۱۱۴ | نرمال | ۰,۰۰ | تأیید | – | تأیید |
| تعاملات کلان | ۰,۲ | نرمال | ۰,۰۰ | تأیید | – | تأیید |
| مدیریت مشتریان | ۰,۱۵۹ | نرمال | ۰,۰۰ | تأیید | – | تأیید |

### ۵-۲- روابط علی معلولی حاصل از مدل‌سازی ساختاری تفسیری

با استفاده از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری ارتباط میان عوامل و قابلیت‌ها به‌منظور طراحی مدل ارزیابی سنجش می‌شود. نتایج مراحل مختلف روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری برای ساخت مدل گرافیکی به ترتیب ارائه‌شده است. ابتدا برای تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری لازم است عوامل شناسایی‌شده دوبه‌دو بررسی شوند. به این منظور پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه مربوط به روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری از خبرگان، ماتریس مذکور به‌صورت جدول (۶) گزارش می‌شود. برای تشکیل نهایی ماتریس از مدنظرات خبرگان استفاده شده است.

سپس ماتریس دسترسی اولیه و ماتریس دسترسی نهایی طبق قواعد گفته‌شده در بخش قبل تشکیل می‌شود که در جدول (۷) آمده است.

پس از به دست آوردن ماتریس دسترسی نهایی نوبت به افراز و سطح‌بندی عوامل می‌رسد. هر عنصری که دارای اثرگذاری بالایی بر دیگر عوامل باشد، در سطح پایین‌تری قرار می‌گیرد. مدل ساختاری تفسیری شامل عوامل و روابط فی‌مابین آن‌ها مطابق شکل (۳) ترسیم گردیده است. در این شکل روابط یک‌سویه با خط صاف و روابط دوسویه (متقابل) با خط‌چین مشخص‌شده است.

**جدول (۶): ماتریس خودتعاملی ساختاری پژوهش**

| | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| قابلیت‌های موردنیاز جهت ساخت محصولات پیچیده | C1: قابلیت‌های ساخت‌وتولید | | O | O | A | A | A | A | A | O | O |
| | C2: قابلیت‌های تست و آزمون | | | O | A | A | A | A | A | O | O |
| | C3: قابلیت‌های طراحی و مهندسی | | | | A | A | O | A | A | O | A |
| | C4: یکپارچه‌سازی و مهندسی سیستم | | | | | A | X | V | A | O | O |
| | C5: سیستم‌های یکپارچه اطلاعاتی، ارتباطی و دانشی | | | | | | V | O | X | O | V |
| | C6: قابلیت مدیریت پروژه‌های کلان | | | | | | | V | X | A | V |
| | C7: قابلیت مدیریت مالی و هزینه‌ها | | | | | | | | A | A | A |
| | C8: قابلیت شبکه‌سازی | | | | | | | | | A | V |
| | C9: قابلیت تعاملات در سطوح کلان | | | | | | | | | | V |
| | C10: قابلیت تعامل با مشتریان و مدیریت بازار | | | | | | | | | | |

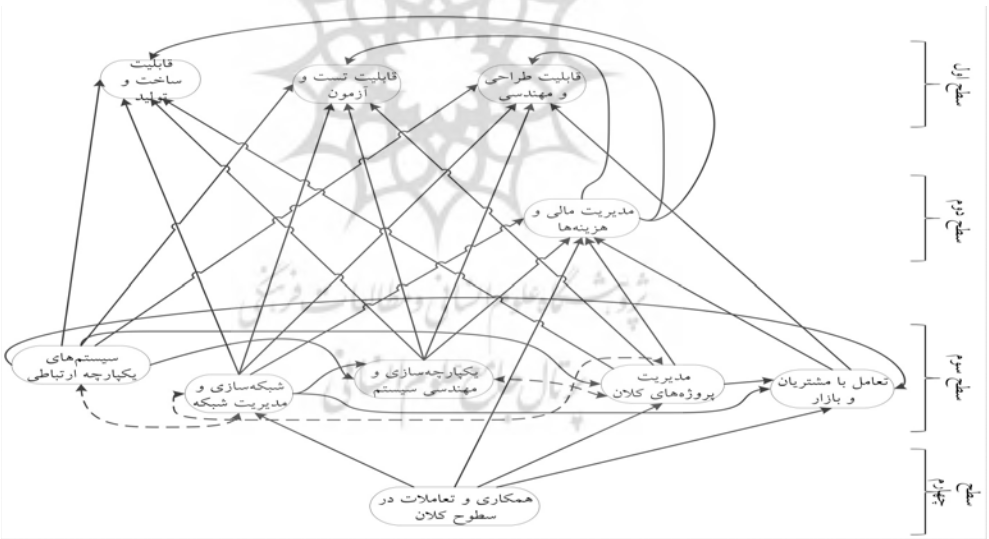
با توجه به شکل(۳) چهار سطح از عملیات افرازبندی عوامل به دست آمد که در آن همکاری و تعاملات در سطح کلان در پایین‌ترین سطح یعنی سطح چهارم، شبکه‌سازی، سیستم‌های ارتباطی، مدیریت پروژه‌های کلان، یکپارچه‌سازی و مدیریت مشتریان در سطح سوم، مدیریت مالی در سطح دوم و قابلیت‌های ساخت، تست و طراحی مهندسی در سطح اول قرار گرفتند.

شاخص همکاری و تعاملات در سطوح کلان و دولت از شاخص‌های دیگر تأثیرپذیری ندارد اما بر عوامل دیگر تأثیرگذار است. بعد از همکاری در سطوح کلان، عواملی نظیر شبکه‌سازی، مدیریت پروژه‌های کلان، یکپارچه‌سازی، تعامل با مشتریان و سیستم‌های اطلاعاتی به‌عنوان زیرساخت‌های موردنیاز برای تولید محصولات پیچیده محسوب می‌شوند. چراکه بدون این عوامل تحقق یک محصول با کارکردهای مورد انتظار دور از دسترس خواهد بود. پس از قابلیت مدیریت مالی که نقشی میانی دارد، قابلیت ساخت‌وتولید، تست و آزمون و طراحی مهندسی نیز قابلیت‌هایی خواهند بود که خود از دیگر عوامل زیرساختی تأثیرمی‌پذیرند.

با استفاده از مقادیر مربوط به قدرت نفوذ (هدایت، اثرگذاری) و وابستگی می‌توان نمودار هدایت وابستگی را ترسیم نمود. مقادیر مذکور از جمع سطرها و ستون‌های ماتریس دسترسی نهایی بدست می‌آید. این تحلیل می‌تواند عوامل مختلف در یک سیستم را به چهار دسته عوامل کلیدی، عوامل

**جدول (۷): ماتریس‌های دسترسی اولیه و نهایی مدل حاصل از مدل‌سازی ساختاری تفسیری**

| | ماتریس دسترسی اولیه | | | | | | | | | | | ماتریس دسترسی نهایی | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 |
| C1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | C1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | C2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | C3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | C4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| C5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | C5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| C6 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | C6 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| C7 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | C7 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| C8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | C8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| C9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | C9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | C10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |

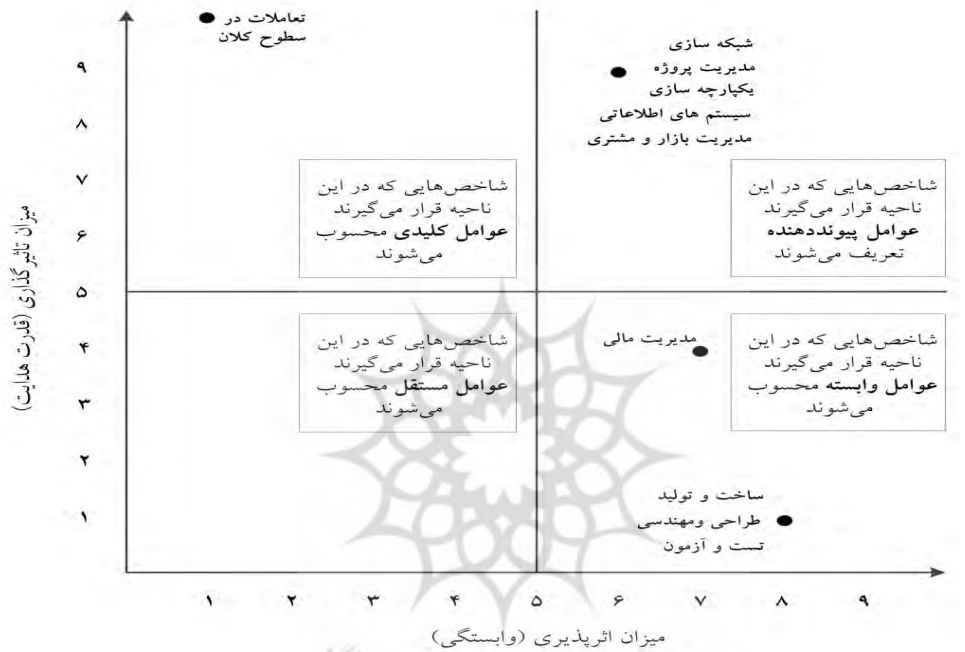



**شکل (۳): مدل گرافیکی نهایی مدل‌سازی ساختاری تفسیری**

مستقل، عوامل وابسته و عوامل پیونددهنده تقسیم نماید و می‌تواند سیاست‌های سازمان را در جهت سرمایه‌گذاری بهینه و تقویت عوامل مهم‌تر سوق دهند. جدول (۸) مربوط به مقادیر هدایت و وابستگی و شکل (۴) نیز بیانگر قرارگیری عوامل در نواحی مختلف است.

**جدول (۸): مقادیر هدایت و وابستگی متغیرها**

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | میانگین |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| قدرت هدایت | ۱ | ۱ | ۱ | ۹ | ۹ | ۹ | ۴ | ۹ | ۱۰ | ۹ | ۶,۲ |
| میزان وابستگی | ۸ | ۸ | ۸ | ۶ | ۶ | ۶ | ۷ | ۶ | ۱ | ۶ | ۶,۲ |




**شکل (۴): نمودار هدایت و وابستگی عوامل در چهار ناحیه**

با توجه به نمودار به‌دست‌آمده می‌توان این‌گونه استدلال کرد که قابلیت همکاری و تعاملات در سطوح کلان به دلیل قرار گرفتن در ناحیه متغیرهای کلیدی دارای اهمیت بالایی بوده و باید تمرکز مدیران سازمان برای شروع موفق سیستم بر روی این قابلیت‌ها باشد؛ زیرا در عین تأثیرگذاری بالا روی عوامل دیگر، اثرپذیری اندکی دارند، قابلیت‌های یکپارچه‌سازی و مهندسی سیستم، سیستم‌های یکپارچه اطلاعاتی، ارتباطی و دانشی، قابلیت مدیریت پروژه‌های کلان، قابلیت شبکه‌سازی و مدیریت شبکه، قابلیت تعامل با مشتریان و مدیریت بازار نیز متغیرهای پیونددهنده‌ای هستند که البته قدرت نفوذشان بیشتر از میزان وابستگی آن‌هاست و پس از تعاملات کلان در اولویت تمرکز سازمان خواهند بود.

مدیریت مالی، قابلیت‌ها و امکانات تولیدی، قابلیت‌های تست و آزمون و طراحی و مهندسی نیز در ناحیه

متغیرهای وابسته جای گرفتند که به همین خاطر تقویت دیگر عوامل خودبه‌خود منجر به تقویت این قابلیت‌ها نیز خواهد شد.

### ۵-۳- اوزان و اولویت‌های حاصل از روش تحلیل شبکه‌ای

به‌منظور دستیابی به اوزان هر یک از عوامل پرسش‌نامه‌های تحلیل شبکه‌ای طبق روابط به‌دست‌آمده از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری بین اعضای نمونه توزیع گردید. مقایسات زوجی میان دو عامل خاص بر مبنای ارتباط بین آن‌ها صورت پذیرفت. روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری کمک می‌کند تا فقط متغیرها و عواملی بررسی و مقایسه شوند که باهم ارتباط اثرپذیری، اثرگذاری و یا متقابل دارند و متغیرهای بی‌ارتباط مورد مقایسه قرار نمی‌گیرند که این امر خود موجب کاهش حجم محاسبات روش تحلیل شبکه‌ای می‌شود.

در نهایت اوزان هر یک از متغیرها به دست می‌آید که این اوزان نشان‌دهنده اهمیت هر یک از معیارهاست. این اوزان می‌تواند به‌عنوان معیار برنامه‌ریزی برای تقویت توانمندسازها و قابلیت‌های سیستم مورداستفاده قرار گیرد. جدول (۹) اوزان و رتبه‌بندی حاصل از عوامل را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج و اوزان مشخص‌شده در جدول (۹) در میان عوامل کلیدی مؤثر در ساخت محصولات و سیستم‌های پیچیده به ترتیب شبکه‌سازی، یکپارچه‌سازی و مدیریت پروژه با توجه به ارتباطات آن‌ها با سایر عوامل مهم‌ترین قابلیت‌های کلیدی شناسایی‌شده ازنظر خبرگان هستند. در تحلیل دلایل این موضوع می‌توان به این اشاره کرد که طراحی شبکه‌ای قوی و کارآمد میان بازیگران مختلف توسعه محصول و توان مدیریت

**جدول (۹): اوزان و رتبه‌بندی عوامل مستخرج**

| قابلیت‌های کلیدی ساخت محصولات پیچیده | اوزان حاصل از تحلیل شبکه‌ای | رتبه |
|---|---|---|
| شبکه‌سازی و مدیریت شبکه | ۰,۲۰۳۸۸۸ | ۱ |
| یکپارچه‌سازی و مهندسی سیستم | ۰,۱۹۶۳۴۸ | ۲ |
| مدیریت پروژه‌های کلان | ۰,۱۸۴۷۷۶ | ۳ |
| مدیریت مالی و هزینه | ۰,۰۸۴۵۷۵ | ۴ |
| طراحی و مهندسی | ۰,۰۷۵۱۱۸ | ۵ |
| ساخت و تولید | ۰,۰۷۱۲۳۹ | ۶ |
| سیستم‌های یکپارچه اطلاعاتی | ۰,۰۵۹۶۶۷ | ۷ |
| همکاری و تعاملات در سطوح کلان | ۰,۰۴۷۹۴۳ | ۸ |
| مدیریت مشتریان و تعامل با بازار | ۰,۰۴۳۵۸۴ | ۹ |
| تست و آزمون | ۰,۰۳۲۸۶۳ | ۱۰ |

آن، بر جنبه‌های دیگر توسعه محصول و کسب سایر قابلیت‌ها مؤثر خواهد بود زیرا موجب تجمیع شایستگی‌های سایر سازمان‌های همکار برای رسیدن به هدفی واحد خواهد شد.

مدیریت مالی مناسب و مدیریت بهینه هزینه‌ها، قابلیت‌های طراحی و مهندسی و قابلیت‌های ساخت‌وتولید نیز به ترتیب در اولویت‌های بعدی است. دلیل این امر نیز اهمیت شاخص هزینه در این‌گونه پروژه‌هاست چراکه بدون کنترل بهینه هزینه، رشد سریع آن موجب شکست و توقف پروژه می‌شود. سایر قابلیت‌ها نیز رتبه‌های بعدی را دارند. توجه به این موضوع مهم است که این قابلیت‌ها نیز در توسعه و ساخت محصولات و سیستم‌های پیچیده جایگاه ویژه خود را دارند و این اولویت‌بندی به معنای بی‌اهمیت بودن آن‌ها نیست؛ بلکه در اولویت‌های بعدی سازمان برای بهبود جای می‌گیرند.

## ۶- جمع‌بندی

اهمیت تولید و توسعه محصولات و سیستم‌های پیچیده در دنیای امروز موجب شده تا کشورها گام‌های بلندی برای تقویت دانش و توانمندی خود در این حوزه بردارند. به این منظور انجام پژوهش‌های صنعتی می‌تواند گامی در جهت شناخت عمیق‌تر شیوه‌ها و مؤلفه‌های مؤثر برای تولید محصولات و سیستم‌های پیچیده در سازمان‌های صنعتی باشد. در خلال مطالعه تحقیقات پیشین خلأ یک دسته‌بندی جامع‌ومانع که با دیدگاه مدیریت تولید قابلیت‌های کلیدی محصولات پیچیده را موردبررسی قرار دهد، حس می‌شود. به‌اضافه در ادبیات محصولات و سیستم‌های پیچیده مدل مفهومی مناسبی برای کشورهای نوپا که مدیران و تصمیم‌گیران سازمان‌ها بتوانند با استفاده از آن، به ادراکی عمیق از توانمندسازهای ضروری محصولات و سیستم‌های پیچیده دست یابند، به روابط میان مؤلفه‌ها و نوع اثرگذاری آن‌ها را به‌منظور آسیب‌شناسی و ریشه‌یابی مشکلات سازمان مسلط شده و اهمیت هر یک از آن‌ها را نیز مدنظر قرار دهند، کمتر به چشم می‌خورد. در کنار موارد ذکرشده در بالا، تحقیقات پیشین به بیان قابلیت‌های اساسی اکتفا کرده و به زیرعامل‌های آن‌ها توجه کمتری شده بود. زیرعامل‌ها و مؤلفه‌های سازنده عوامل اصلی ضمن جهت‌دهی و ساختاردهی به ذهن پژوهشگران و متخصصان این حوزه، می‌تواند به عمیق شدن مفاهیم و رسیدن به ادراک دقیق‌تر از روابط گوناگون میان متغیرهای مؤثر در ساخت محصولات پیچیده کمک نماید.

در این پژوهش ۱۰ قابلیت (توانمندساز) کلیدی به‌عنوان عوامل اصلی و ۴۶ مؤلفه یا عامل فرعی شناسایی شدند. عوامل اصلی شامل قابلیت‌های ساخت‌وتولید، قابلیت‌های تست‌وآزمون، قابلیت‌های طراحی و مهندسی، قابلیت‌های یکپارچه‌سازی و مهندسی سیستم، سیستم‌های یکپارچه اطلاعاتی، ارتباطی و دانشی،

قابلیت مدیریت پروژه‌های کلان، قابلیت مدیریت مالی و هزینه‌ها، قابلیت شبکه‌سازی و مدیریت شبکه، قابلیت همکاری و تعاملات در سطوح کلان و قابلیت مدیریت بازار و تعامل با مشتریان می‌شود. ۱۰ قابلیت شناسایی‌شده مذکور با محور قرار دادن حوزه مدیریتی ساخت‌وتولید، در نظر گرفتن قابلیت‌های نرم و سخت، موشکافی و تحلیل روابط و اهمیت هر یک از عوامل و توجه به قابلیت‌های تسهیلگر و زیرساختی؛ تا حدودی پژوهش‌های پیشین در این حوزه را تکمیل می‌نماید.

نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که مدیران سازمان‌ها باید روی عوامل اولویت‌دار مانند شبکه‌سازی و مدیریت شبکه، مدیریت پروژه، یکپارچه‌سازی سیستم و تعاملات کلان برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری‌های لازم را انجام دهند؛ زیرا اولاً این قابلیت‌ها اهمیت فراوانی جهت ساخت محصولات و سیستم‌های پیچیده داشته و ثانیاً این قابلیت‌ها با توجه به قرارگیری‌شان در سطوح پایینی مدل، عوامل کلیدی و زیربنایی برای رسیدن به اهداف سازمان محسوب شده و زیرساخت‌های حیاتی برای رسیدن به تولید محصولات پیچیده به شمار می‌روند. لازم به ذکر است که قابلیت تعاملات در سطوح کلان، به‌نوعی زیربنای قابلیت‌های شبکه‌سازی، مدیریت پروژه کلان، یکپارچه‌سازی و مدیریت مالی محسوب می‌شود. تعاملات با بخش‌های کلان کشور، دولت، وزارتخانه‌ها و مراکز قانون‌گذار می‌تواند موجب تسهیل فرآیندها و قابلیت‌های سازمانی شده و سیاست‌گذاری‌ها و رویکردهای عمومی و کلان کشور را با اهداف سازمان همسو نماید. در این صورت است که هماهنگی نهادی شکل‌گرفته و سازمان‌های داخلی توسعه‌دهنده محصولات پیچیده را به سمت کسب سایر قابلیت‌های موردنیاز در تولید این محصولات سوق می‌دهد. در یک سازمان بدون توانمندی در طراحی و مدیریت شبکه‌ای از همکاران و بازیگران همچنین بدون قابلیت مدیریت پروژه‌هایی که در ابعاد مالی، محصولی و تعدد شرکا بزرگ محسوب می‌شوند، امکان تحقق نهایی محصول پیچیده مورد انتظار پایین خواهد بود. سایر قابلیت‌ها با توجه به نقش پیوندی میان عوامل زیربنایی و عوامل وابسته نیز در اولویت‌های بعدی بهبود خواهند بود. قابلیت‌هایی نظیر سیستم‌های ارتباطی اطلاعاتی و مدیریت بازار و مشتری ازاین‌دست هستند.

با توجه به این‌که سیاست‌گذاری‌های یک سازمان باید مبتنی بر شناخت عمیق نیازمندی‌ها بوده و اثربخشی لازم را داشته باشد؛ مدیران و تصمیم‌گیران بنگاه‌های صنعتی توسعه‌دهنده محصولات و سیستم‌های پیچیده می‌توانند ضمن شناخت ظرافت‌ها و پیچیدگی‌های موجود در توسعه محصولات پیچیده، تقویت قابلیت‌های کلیدی طبق اولویت‌های مطرح‌شده و اندازه‌گیری سطح آمادگی هر یک از قابلیت‌های مذکور در سازمان خود طرح و برنامه‌های اثربخش‌تری جهت ایجاد یا تقویت قابلیت‌ها ارائه دهند.

نتایج حاصل از تحقیق پیش رو به‌طور مشخص حاصل نظرات خبرگان فعال در توسعه محصولات

فیزیکی پیچیده بوده است؛ بنابراین در سایر دسته‌بندی‌های مرتبط با محصولات و سیستم‌های پیچیده مانند سیستم‌ها، سازه‌ها و تجهیزات زیربنایی پیچیده، ممکن است نظرات خبرگان، متفاوت بوده و نتایج تحقیق را تغییر دهد. به‌اضافه تمرکز تحقیق فعلی بر محور ساخت و تولید محصولات پیچیده بوده است؛ بنابراین قابلیت‌ها و پارامترهای حاصل از پژوهش عمدتاً به حوزه مدیریت تولید مرتبط است. تحقیقات آتی می‌تواند با تمرکز بر سایر حوزه‌ها مانند مدیریت نوآوری و فناوری، مدیریت منابع انسانی و سایر حوزه‌های مدیریتی موردتحقیق و بررسی قرار گیرد؛ در این راستا بررسی شاخص‌های فناورانه، شاخص‌های زیست‌پذیری، شاخص‌های ناظر بر توسعه پایدار و سایر شاخص‌های موردتوجه در دنیای امروز پیشنهاد می‌شود. برای تحقیقات بیشتر همچنین می‌توان به بررسی جزئی‌تر تک‌تک عوامل شناسایی‌شده این پژوهش پرداخت.

## ۷- مراجع

## References


Anderson, D. M. 2014. *Design for manufacturability: how to use concurrent engineering to rapidly develop low-cost, high-quality products for lean production*: CRC press.

Blanchard, B. S., & Blyler, J. E. 2016. *System Engineering Management*: John Wiley & Sons.

Chen, J., Tong, L. and Ngai, E.W., 2007. Inter-organizational knowledge management in complex products and systems: Challenges and an exploratory framework. *Journal of Technology Management in China*, 2(2), pp.134-144.

DAU. 2010. *Defense acquisition guidebook*. Defense Acquisition University.

Davies, A. and Brady, T., 2000. Organisational capabilities and learning in complex product systems: towards repeatable solutions. *Research policy*, 29(7-8), pp. 931-953.

Davies, A., Brady, T., Prencipe, A. and Hobday, M., 2011. Innovation in complex products and systems: implications for project-based organizing. In Project-Based Organizing and Strategic Management (pp. 3-26). Emerald Group Publishing Limited.

Davies, A. and Hobday, M., 2005. T*he business of projects: managing innovation in complex products and systems*. Cambridge University Press.

DOD. 2012. Defense Manufacturing Management Guide for Program Managers. United States: United States Department of Defense.

Hardstone, G.A.P., 2004. Capabilities, structures and strategies re-examined: incumbent firms and the emergence of complex product systems (CoPS) in mature industries. *Technology Analysis & Strategic Management*, 16(2), pp. 173-196.

Hobday, M., Davies, A. and Prencipe, A., 2005. Systems integration: a core capability of the modern corporation. *Industrial and corporate change*, 14(6), pp. 1109-1143.

Hobday, M. and Rush, H., 1999. Technology management in complex product systems (CoPS)-ten

questions answered. *International Journal of Technology Management*, 17(6), pp. 618-638.

Igel, B. and Wei, Z., 2002. A framework to analyse the competence to innovate complex product systems in the stored program control switchboard industry. *International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 2(6), pp. 537-556.

Kiamehr, M., 2017. Paths of technological capability building in complex capital goods: The case of hydro electricity generation systems in Iran. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume(122), pp. 215-230.

Kiamehr, M., Hobday, M. and Hamedi, M., 2015. Latecomer firm strategies in complex product systems (CoPS): The case of Iran's thermal electricity generation systems. *Research Policy*, 44(6), pp. 1240-1251.

Kiamehr, M., Hobday, M. and Kermanshah, A., 2013. Latecomer systems integration capability in complex capital goods: the case of Iran's electricity generation systems. *Industrial and corporate change*, 23(3), pp. 689-716.

Kossiakoff, A., Sweet, W.N., Seymour, S.J. and Biemer, S.M., 2011. *Systems engineering principles and practice* (Vol. 83). John Wiley & Sons.

Lee, J.J. and Yoon, H., 2015. A comparative study of technological learning and organizational capability development in complex products systems: Distinctive paths of three latecomers in military aircraft industry. *Research Policy*, 44(7), pp. 1296-1313.

Li, M., Liu, H. and Zhou, J., 2018. G-SECI model-based knowledge creation for CoPS innovation: the role of grey knowledge. *Journal of Knowledge Management*, 22(4), pp. 887-911.

Madni, A.M. and Sievers, M., 2014. Systems integration: Key perspectives, experiences, and challenges. *Systems Engineering*, 17(1), pp. 37-51.

Majidpour, M., 2016. Technological catch-up in complex product systems. *Journal of Engineering and Technology Management*, Volume (41), pp. 92-105.

Modrak, V. 2018. Mass customized manufacturing: theoretical concepts and practical approaches.

Naghizadeh, M., Manteghi, M., Ranga, M., & Naghizadeh, R. 2016. Managing integration in complex product systems: The experience of the IR-150 aircraft design program. *Technological Forecasting and Social Change*.

Ngai, E.W., Jin, C. and Liang, T., 2008. A qualitative study of inter-organizational knowledge management in complex products and systems development. *R&D Management*, 38(4), pp. 421-440.

Nightingale, P., 2000. The product–process–organisation relationship in complex development projects. *Research Policy*, 29(7-8), pp. 913-930.

Oshri, I. and Newell, S., 2005. Component sharing in complex products and systems: challenges, solutions, and practical implications. *IEEE transactions on engineering management*, 52(4), pp. 509-521.

Park, T.Y., 2012. How a latecomer succeeded in a complex product system industry: three case studies in the Korean telecommunication systems. *Industrial and corporate change*, 22(2), pp. 363-396.

Park, T.Y. and Ji, I., 2015. From mass production to complex production: case of the Korean telecom equipment sector. *Asia-Pacific Journal of Accounting & Economics,* 22(1), pp. 78-102.

Park, T.Y. and Kim, J.Y., 2014. The capabilities required for being successful in complex product systems: case study of Korean e-government. *Asian Journal of Technology Innovation*, 22(2), pp. 268-285.

Patanakul, P., Kwak, Y.H., Zwikael, O. and Liu, M., 2016. What impacts the performance of large-scale government projects? *International Journal of Project Management*, 34(3), pp. 452-466.

Prencipe, A., 2000. Breadth and depth of technological capabilities in CoPS: the case of the aircraft engine control system. *Research policy*, 29(7-8), pp. 895-911.

Priest, J. and Sanchez, J., 2012. *Product development and design for manufacturing: a collaborative approach to producibility and reliability*. CRC Press.

Ren, Y.T. and Yeo, K.T., 2006. Research challenges on complex product systems (CoPS) innovation. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 23(6), pp.519-529.

Safdari Ranjbar, M., Park, T. Y., & Kiamehr, M. 2018. What happened to complex product systems literature over the last two decades: progresses so far and path ahead. *Technology Analysis & Strategic Management*, 30(8), pp. 948-966.

Su, J. and Liu, J., 2012. Effective dynamic capabilities in complex product systems: experiences of local Chinese firm. *Journal of Knowledge-based Innovation in China*, 4(3), pp.174-188.

Thomassen, M. K., & Alfnes, E. 2017. *Mass customization challenges of engineer-to-order manufacturing Managing Complexity* (pp. 27-39): Springer.

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. 2008. Product design and development (4ed.): Tata McGraw-Hill Education.

Wei, Z., & Igel, B. 2010. *Competence to manage innovation in complex product systems*.

Zhang, L., Lam, W., & Hu, H. 2013. Complex product and system, catch-up, and sectoral system of innovation: a case study of leading medical device companies in China. *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, 6(3), pp. 283-302.

الیاسی، م.، شفیعی، م.، ۱۳۹۳. شبکه‌های نوآوری در محصولات با سیستم‌های پیچیده. دوفصلنامه توسعه فنّاوری صنعتی، (۲۳)، صص.۳۹-۳۱.

حافظ‌نیا، م.، ۱۳۹۳. روش‌های تحقیق در علوم انسانی. تهران: سمت.

حسینی، س.ع.، محمدی، م.، و حاجی‌حسینی، ح.، ۱۳۹۵. عوامل حیاتی موفقیت نوآوری در محصولات و سیستم‌های پیچیده (CoPS)؛ مطالعه موردی: پروژه بالگرد ملی سازمان صنایع هوایی. فصلنامه مدیریت توسعه فناوری، ۴(۱)، صص.۱۵۹-۱۸۶.

صفدری‌رنجبر، م.، قیدرخلجانی، ج.، طهماسبی، س.، توکلی، غ.، ۱۳۹۵-الف. قابلیت‌های کلیدی برای نوآوری و توسعه محصولات و سامانه‌های پیچیده دفاعی. فصلنامه مدیریت توسعه فناوری، (۱)۴، صص.۱۳۳-۱۵۸.

صفدری‌رنجبر، م.، رحمان‌سرشت، ح.، منطقی، م.، قاضی‌نوری، س.س.، ۱۳۹۵-ب. پیشران‌های کسب و ایجاد قابلیت‌های فناورانه ساخت محصولات و سامانه‌های پیچیده در بنگاه‌های متأخر: مطالعه موردی شرکت توربوکمپرسور نفت (OTC). مدیریت نوآوری، (۳) ۵، صص.۱-۲۶.

صفدری‌رنجبر، م.، رحمان‌سرشت، ح.، منطقی، م.، قاضی‌نوری، س.س.، ۱۳۹۵-پ. الگوی ساخت و انباشت قابلیت‌های فناورانه تولید محصولات و سامانه‌های پیچیده در کشورهای درحال‌توسعه: مطالعه موردی شرکت توربوکمپرسور نفت. فصلنامه مدیریت توسعه فناوری، (۳) ۴، صص.۹-۳۸.

طلایی، ح.، عالم‌تبریز، ا.، فارسیجانی، ح.، ۱۳۹۶. تحلیل توانمندسازهای سیستم تولید انعطاف‌پذیر با رویکردهای مدل‌سازی ساختاری تفسیری و فرایند رتبه‌بندی تفسیری. مطالعات مدیریت صنعتی، (۴۴) ۱۵، صص.۱-۲۶.

مؤمنی، م.، ۱۳۹۳. مباحث نوین تحقیق در عملیات (ویرایش سوم). تهران.

مؤمنی، م.، فعال‌قیومی، ع.، ۱۳۸۹. تحلیل‌های آماری با استفاده از spss. تهران: کتاب نو.

1 Component
2 Latecomer
3 System Integration
4 Mass Production
5 Large Engineering Product
6 Large Technical Systems
7 Process Intensive
8 Design Intensive
9 Context
10 Catch up
11 Computer aided Design
12 Super Desicion
13 Design for x (DFX)
14 Intergrated Product and Process Development (IPPD)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی