

شبکه‌های نوآوری در محصولات با سیستم‌های پیچیده

■ مهدی الیاسی

استادیار دانشکده مدیریت دانشگاه علامه طباطبائی

تهران، اتوبان همت، بعد از پل کن، میدان دهکده المپیک،

دانشگاه علامه طباطبائی

■ مهرداد شفیعی⁺*

دانشجوی دکتری مدیریت فناوری دانشگاه علامه

طباطبائی

تهران، اتوبان همت، بعد از پل کن، میدان دهکده المپیک،

دانشگاه علامه طباطبائی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۱ و تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۲/۲۱

چکیده

پیدایش مفهوم "محصولات با سیستم‌های پیچیده" ابتدا از ادبیات سیستم‌های نظامی، پیچیدگی‌های سیستم، مکتب سیستم‌های فنی بزرگ، مدیریت پروژه و مطالعات سازمان صنعتی آغاز شد. محصولات پیچیده که از لحاظ فنی در شرکت‌های پیشرفته تولید می‌شود، کالاهای سرمایه‌ای با فناوری‌های پیشرفته است و سرمایه‌گذاری در بخش ایجاد ظرفیت برای تولید آنها یکی از نشانه‌های مهم قدرت اقتصاد ملی است. در حوزه محصولات پیچیده ساختار صنعت به طور عمده متشکل از تعداد بسیار کمی از بنگاه‌های بسیار بزرگ تامین‌کننده، سازنده و مشتری است. این تعداد کم بنگاه‌ها همگی در فرآیند طراحی، تحقیق و توسعه، یکپارچه‌سازی سیستم‌ها، بهبودهای آتی محصول و نگهداری محصول مشارکت دارند. پیشرفت‌های اقتصادی هم‌اکنون نیازمند تجاری‌سازی و توسعه فناوری‌های پیچیده است که نوآوری در آنها تنها از طریق شبکه‌های پیچیده و خودسازماندهی شده اتفاق می‌افتد. بنابراین یکی از وجوه تمایز این محصولات این است که مکانیزم و مدیریت نوآوری در اینگونه محصولات با محصولات ساده تولید انبوه متفاوت است.

واژگان کلیدی: محصولات با سیستم‌های پیچیده، مدیریت نوآوری، شبکه‌های نوآوری

* عهده دار مکاتبات

+ شماره نمابر: ۰۷۱-۳۶۳۶۰۳۰۳ و آدرس پست الکترونیکی: shafiee@fstp.ir

۱- مقدمه

عملیات تولید، نگهداری و کاربرد محصولات پیچیده جزء فعالیت‌های مربوط به ظرفیت تولید ملی است. به همین دلیل برخی از کشورهای آسیایی همچون تایوان، سنگاپور، هنگ کنگ و چین به منظور حفظ توان رقابت فناورانه وارد این حوزه‌ها شده‌اند [۲].

پیشرفت‌های اقتصادی هم اکنون نیازمند تجاری‌سازی و توسعه قابلیت در فناوری‌های پیچیده است که نوآوری در آنها تنها از طریق شبکه‌های همکاری خودسازماندهی شده اتفاق می‌افتد. بنابراین یکی از وجوه تمایز این محصولات این است که مکانیزم و مدیریت نوآوری در اینگونه محصولات با محصولات ساده تولید انبوه متفاوت است [۳].

۲- تعریف و مشخصات محصولات با سیستم‌های پیچیده

درک بهتر پویایی‌های نوآوری در محصولات پیچیده مستلزم شناخت ویژگی‌های این محصولات است [۱۲]. ساده‌ترین راه برای توصیف مشخصه‌های محصولات پیچیده تمایز آنها از محصولات تولید انبوه است. یکی از این تفاوت‌ها هزینه بالای محصولات پیچیده به دلیل پیچیدگی و تعدد زیر مجموعه‌هاست. اغلب محصولات پیچیده با مشارکت سازمان‌های مختلف و از طریق پروژه ساخته می‌شود. به طور خلاصه ویژگی‌های زیر را می‌توان برای محصولات پیچیده در نظر گرفت [۲۲]:

سرمایه‌ای بودن، ارزش زیاد تجاری و سیاسی، دارا بودن ساختارهای پیچیده، چند عملکردی بودن، فناوری سطح بالا، داشتن یک یا چند مشتری خاص، تولید در یک شبکه همکاری، نیاز به دانش و مهارت زیاد، نیاز شدید به نرم‌افزار، چرخه عمر طولانی.

از نظر غنای مفهومی و ارجاعات نظری نخستین تعریف این مفهوم را مایک هابدی در سال ۱۹۹۴ به این شرح ارائه کرد: محصولات با سیستم‌های پیچیده عبارتند از: تولیدات، سیستم‌ها، شبکه‌ها و زیرساخت‌های با هزینه بالا با نیاز به مهندسی سطح بالا، فناوری سطح بالا و سفارشی شده. برای توضیح مفهوم "پیچیده" می‌توان گفت واژه پیچیده برای انعکاس تعداد اجزاء سفارشی شده، وسعت دانش و مهارت مورد نیاز، دانش جدید به کار رفته در محصول و سایر ابعاد محصول به کار می‌رود [۲۰].

به عنوان مثال‌هایی از این محصولات هابدی به هواپیما، سیستم‌های ارتباطی، سیستم‌های اتوماسیون بانکداری، قطارهای سریع، فناوری هسته‌ای، حفاری در اقیانوس‌ها و... اشاره می‌کند. این محصولات دارای ارزش‌های سیاسی و اقتصادی مهمی برای

پیدایش مفهوم "محصولات با سیستم‌های پیچیده" ابتدا از ادبیات سیستم‌های نظامی، پیچیدگی‌های سیستم، مکتب سیستم‌های فنی بزرگ، مدیریت پروژه و مطالعات سازمان صنعتی آغاز شد [۲۰]؛ لیکن این مفهوم در هیچ یک از این روندهای مطالعاتی هسته مرکزی نبود و به طور عمده به عنوان مطالعه موردی، مثال، مدل‌سازی و... مورد توجه قرار می‌گرفت. در سال‌های پایانی قرن بیستم، تغییرات سریع در محیط رقابتی ناشی از کوتاه شدن دوره عمر محصولات و تنوع تقاضای مشتریان اهمیت این محصولات را بیشتر کرد؛ چراکه پیچیدگی‌های فناورانه آنها می‌توانست به عنوان یک مزیت مهم رقابتی عمل کند و فاصله فناورانه بنگاه‌های پیشرو را حفظ نموده و افزایش دهد. به موازات این واقعیت، تلاش‌های دانشگاهی برای درک چستی این محصولات و چگونگی امکان رقابت و نوآوری در آنها پررنگ‌تر شد. در یکی دو دهه اخیر اهمیت محصولات پیچیده به خوبی مشخص شده و این مقوله در مراکز تحقیقات دانشگاهی همواره مورد بررسی قرار گرفته است. به نحوی که محصولات پیچیده هم‌اکنون به عنوان یک خط تحلیلی و تحقیقی مجزا مورد ملاحظه واقع می‌شود. در واقع تولید محصولات پیچیده جزء فعالیت‌های خاص اقتصادی است. محصولات پیچیده از لحاظ فنی در شرکت‌های پیشرفته تولید می‌شود و کالاهای سرمایه‌ای با فناوری‌های پیشرفته به شمار می‌رود. برخلاف محصولات متعارف که با تعداد زیاد بنگاه‌ها و رقابت بین آنها مشخص می‌شود، در حوزه محصولات پیچیده ساختار صنعت به طور عمده متشکل از تعداد بسیار کمی از بنگاه‌های بسیار بزرگ تامین‌کننده، سازنده و مشتری است. این تعداد کم بنگاه‌ها همگی در فرآیند طراحی، تحقیق و توسعه، یکپارچه‌سازی سیستم‌ها، بهبود آتی محصولات و نگهداری محصول مشارکت دارد. این محصولات عموماً در پیچیدگی و طی زمانی که به تدریج فناوری پیشرفت می‌کند و تامین‌کنندگان به محیط اقتصادی و تقاضاهای نوآوری خریداران متعدد پاسخ می‌دهند، رشد و توسعه پیدا می‌کند [۱۴]. به همین دلیل این محصولات به شدت نیازمند توانمندی‌های مهندسی سطح بالا است تا بتواند به نیازهای خاص هر مشتری جواب دهد. از دیدگاه کلان، سرمایه‌گذاری در بخش ایجاد ظرفیت محصولات پیچیده، یکی از نشانه‌های مهم قدرت اقتصاد ملی است. طراحی، مهندسی،

1 Complex Product Systems (CoPS)

براین اساس می‌توان این پروژه‌ها را به‌عنوان بخشی از یک محصول پیچیده دانست. همچنین سیستم‌های فنی بزرگ^۳ را می‌توان نوعی از محصول پیچیده تصور کرد. پروژه‌های نرم‌افزاری بزرگ نیز می‌تواند یک محصول پیچیده یا بخشی از یک محصول پیچیده بزرگتر باشد [۲].

فرآیند تولید یک محصول پیچیده در یک سازماندهی پروژه‌ای انجام می‌شود. با توجه به پیچیدگی محصول، در یک محصول پیچیده از اجزاء بسیار کوچک گرفته تا زیرسیستم‌های بسیار بزرگ در کنار هم قرار می‌گیرند. از طرفی ترکیب و ماهیت محصولات پیچیده با فرآیند تولید آنها کاملاً مرتبط است و تعریف هر یک به دیگری وابسته است. پروژه محصول پیچیده یک همکاری موقت سازمان‌هاست و این پروژه به‌طور عمومی شامل مراحل پیش تولید، طراحی مفهومی و تفصیلی، تولید، تحویل و نصب، نوآوری‌های پس از تولید، نگهداری و... است. به‌عنوان ابعاد مهم یک محصول پیچیده، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- شاخص‌های پیچیدگی متعدد و متنوع که به‌طور معمولی به تعدد اجزا و تعاملات آنها، سلسله مراتب یکپارچه‌کننده آنها و حدود بدیع بودن فناوری ارتباط دارد. البته پیچیدگی، سلسله مراتب و... دارای طیف است و می‌تواند درجات مختلفی داشته باشد؛
 - ۲- ساختار محصول که به یکپارچه کردن اجزا به‌منظور شکل‌دهی به یک کل برمی‌گردد. این یکپارچه‌سازی به دانش در مورد طراحی اجزا، کارکرد اجزا و تعاملات آنها بستگی دارد؛
 - ۳- مسیرهای طراحی و چرخه‌های بازخورد به‌منظور اطمینان از اینکه آنچه در شبکه‌های همکاری اتفاق می‌افتد با نیازها و تقاضای مشتری منطبق است؛
 - ۴- وسعت دانش و مهارت موردنیاز محصول که باید توسط مدیر پروژه یکپارچه شود و اینکه این دانش و مهارت در اختیار چه کسانی است؛
 - ۵- همکاری بین واحدهای مختلف و متفاوت پیچیدگی و نیاز به هماهنگی را بیشتر می‌کند. این واحدها می‌توانند کاربران، تامین‌کنندگان، قانون‌گذاران و... باشند؛
 - ۶- آمیختگی با نرم‌افزار در محصول و فرآیند هر چقدر بیشتر باشد، نیاز به هماهنگی را افزایش می‌دهد.
- در میان محصولات پیچیده می‌توان از ابرسیستم‌های بسیار بزرگ تا زیرسیستم‌ها، اجزا و محصولات منحصر به فرد را یافت.

تولیدکنندگان و استفاده‌کنندگان هستند [۲۴]. در مطالعه‌ای دیگر، هابدی به ویژگی‌های این محصولات و تفاوت آنها با محصولات تولید انبوه می‌پردازد و منطق تفاوت بنیادی این دو حوزه را دنبال می‌کند [۲۳]. این ویژگی‌ها عبارتند از:

- ۱- تولیدکنندگان این محصولات معمولاً یکپارچه‌کنندگان سیستم هستند و به شایستگی‌های مدیریتی متمایز برای تعریف و مدیریت پروژه‌های بزرگ پیچیده نیاز دارند؛
- ۲- یکپارچه‌کنندگان علاوه بر نیاز به مدیریت فعالیت‌های داخلی خود، مجبورند در فعالیت‌های نوآورانه با سایرین در یک شبکه گسترده همکاری کنند. این شبکه شامل بنگاه‌های کوچک، کاربران اصلی، شرکا، قانون‌گذاران، دولت و... است؛
- ۳- پیچیدگی سازمانی عموماً مستلزم این است که مسیر نوآوری به‌صورت گذشته میان بازیگران توافق شود؛
- ۴- به دلیل استفاده وسیع از نرم‌افزار پیچیدگی سازمانی افزایش می‌یابد؛
- ۵- این محصولات تولید انبوه نمی‌شوند، گرچه تولید دسته‌ای در بعضی موارد امکان دارد؛
- ۶- عمده دانش مورد نیاز فرآیند تولید این محصول ضمنی است؛
- ۷- چرخه عمر این محصولات طولانی است؛
- ۸- کاربران در بسیاری از جنبه‌های فرآیند نوآوری مشارکت و درگیری دارند. چه بسا بسیاری از خریداران به‌طور غیررسمی پیشران فرآیند نوآوری هستند.

پیشتر گفتیم که موضوع محصولات و سیستم‌های پیچیده از ابتدا از ادبیات سیستم‌های نظامی، پیچیدگی‌های سیستم، مکتب سیستم‌های فنی بزرگ، مدیریت پروژه و مطالعات سازمان صنعتی آغاز شد. یکی از راه‌های پی بردن به طبیعت این محصولات مقایسه آنها با ریشه‌های شکل‌گیری این مفهوم یعنی سیستم‌های فنی بزرگ و سیستم‌های مهندسی بزرگ و... است. تفاوت محصولات و سیستم‌های پیچیده با اینگونه سیستم‌ها در این است که سیستم‌های فوق به خودی خود یک سیستم کامل و یکپارچه نیست؛ درحالی‌که محصولات پیچیده در واقع یک محصول و یک سیستم است. اساساً می‌توان گفت پروژه‌های بزرگ مهندسی، سیستم‌های فنی بزرگ و سیستم‌های فناوری اطلاعات بزرگ همگی متعلق به گروه محصولات پیچیده است [۲]. پروژه‌های بزرگ مهندسی^۴ غالباً زیرساخت‌هایی مانند سیستم‌های حمل‌ونقل شهری، فرودگاه‌ها، سیستم‌های نیرو و... است و بخش مهمی از کسب‌وکارها و بنگاه‌ها را شامل می‌شود.

محصول، فعالیت‌های نظام‌مند مدیریت پروژه برای هماهنگ کردن همه فعالان زنجیره تولید و کاربرد محصول و ساختارهای نهادی پیچیده برای کنترل عدم اطمینان‌ها نیاز است [۳]. در اثر تفاوت بنیادی بین این دو گونه فرآیند و محصول، نیاز به تئوری، راهبرد و سیاستگذاری متفاوتی در هر حوزه وجود دارد و با روال‌های متداول در تولید انبوه نمی‌توان با محصولات با سیستم‌های پیچیده برخورد و رفتار کرد [۱۹]. برخلاف محصولات متعارف که با تعداد زیاد بنگاه‌ها و رقابت بین آنها مشخص می‌شود، در حوزه محصولات پیچیده ساختار صنعت به‌طور عمده متشکل از تعداد بسیار کمی از بنگاه‌های بسیار بزرگ تامین‌کننده، سازنده و مشتری است. این تعداد کم بنگاه‌ها همگی در فرآیند طراحی، تحقیق و توسعه، یکپارچه‌سازی سیستم‌ها، بهبودهای آتی محصول و نگهداری محصول مشارکت دارد. این محصولات به‌طور معمول در پیچیدگی و طی زمانی که به تدریج فناوری پیشرفت می‌کند و تامین‌کنندگان به محیط اقتصادی و تقاضاهای نوآوری خریداران متعدد پاسخ می‌دهند، رشد و توسعه پیدا می‌کنند [۱۴]. به همین دلیل این محصولات به شدت نیازمند توانمندی‌های مهندسی سطح بالا است تا بتواند به نیازهای خاص هر مشتری جواب دهد. سفارش سازی زیاد محصول نهایی، زیرسیستم‌ها و اجزای کلیدی، ظهور ویژگی‌های جدید و افزایش پیچیدگی طی زمان که از خلال تقاضاهای فزاینده برای کارآیی، ظرفیت و قابلیت اطمینان حاصل می‌شود و درگیری مستقیم زیاد کاربر/ مشتری در فرآیند نوآوری از ویژگی‌های مهم نوآوری در این محصولات است [۲۲]. می‌توان در روند تولید یک محصول پیچیده سه گونه نوآوری متمایز را نشان داد: نوآوری معماری، نوآوری اجزا و نوآوری سیستمی. هر یک از این نوآوری‌ها در یکی از فازهای چرخه عمر محصول وجه غالب را دارند. در فاز تولد و مراحل اولیه توسعه یک محصول پیچیده نوآوری معماری غالب است و فرآیند نوآوری به شدت تحت تاثیر قانون‌گذاران، تامین‌کنندگان، تدوین‌کنندگان استانداردها و کاربران بزرگ قرار دارد. در این مرحله تاکید بر توسعه و تست معماری سیستم است. در فازهای بعدی اهمیت نوآوری اجزا و نوآوری سیستمی افزایش می‌یابد و نسل‌های متعددی از محصول بدون تغییر اساسی در طراحی معماری عرضه می‌شوند [۲۱]. الگوی تکامل محصول پیچیده با الگوی متعارف چرخه عمر محصولات تولید انبوه متفاوت است. دو فاز تکامل در این محصولات قابل شناسایی است: فاز معماری و فاز نسل‌های جدید محصول. در فاز معماری معمولاً تاخیری طولانی بین معرفی مفهوم جدید سیستم و تجاری شدن اولین محصول

لیکن این نکته را باید مدنظر قرار داد که مقایسه این محصولات با محصولات تولید انبوه نباید به‌صورت صفر و یکی انجام شود. پیچیدگی محصول یک طیف است که از محصولات کاملاً ساده شروع شده و به محصولات بسیار پیچیده می‌رسد. حتی یک محصول می‌تواند در برخی ابعاد پیچیده و در برخی ابعاد ساده باشد. این ابعاد شامل بدیع بودن فناوریانه، سفارشی‌سازی اجزا و معماری محصول، سلسله مراتب، مسیرهای جایگزین طراحی و مهارت‌ها و دانش‌های موردنیاز می‌شود. لیکن این نکته بدیهی است که هر چقدر هزینه و پیچیدگی بالاتر باشد، عدم قطعیت، نیاز به حلقه‌های بازخورد از ابتدا تا انتهای پروژه و ریسک بالاتر است و هر چه اینها بالاتر باشد همکاری و مدیریت پروژه سخت‌تر خواهد بود [۲۰].

۳- نوآوری در محصولات با سیستم‌های پیچیده

منطق اساسی تحلیل نوآوری در محصولات پیچیده این است که مکانیزم و مدیریت نوآوری در اینگونه محصولات با محصولات ساده تولید انبوه متفاوت است. در نتیجه دو مدل متداول نوآوری و مدل مخصوص نوآوری در این محصولات خواهیم داشت [۶]. در مدل متداول فرض بر این است که محصولات چرخه عمر مشخصی را طی می‌کند و بنگاه‌ها در فضایی رقابت می‌کنند که مشتریان تصمیم می‌گیرند کدام محصولات موفق شوند. این مدل به‌طور ضمنی به تولید انبوه و کالاهای مصرفی مرتبط است؛ چراکه واحد تحلیل آن یک بنگاه است که به‌عنوان یک هویت مستقل در نظر گرفته می‌شود و بنگاه سعی در رقابت بر سر خلق یا بازتعریف مرزهای بازار دارد. در چرخه عمر محصول در ابتدا نرخ نوآوری محصول بسیار بالاست و پس از اینکه طرح غالب، معین شد، نوآوری در فرآیند شدت می‌گیرد. اما در محصولات پیچیده که به‌هیچ‌وجه تولید انبوه نمی‌شود، چرخه عمر محصول ممکن است چند دهه طول بکشد [۲۰]. در برخی موارد نوآوری در این محصولات پس از تحویل و به خاطر افزودن موارد جدید اتفاق می‌افتد. یک محصول ساده می‌تواند با قطعات استاندارد - گرچه بسیار زیاد- و به‌صورت انبوه تولید شود ولی یک محصول پیچیده چنین نیست. سلسله مراتب سیستمی چنین محصولی بسیار زیاد است، طراحی معماری پیچیده است و طراحی کاملاً به بازار و مشتری خاص بستگی دارد. در نتیجه پیچیدگی سیستم، توسعه یک محصول پیچیده جدید به درک عمیق محدودیت‌ها و امکانات معماری سیستم، توانمندی تامین‌کنندگان و نیاز کاربران حرفه‌ای بستگی دارد [۲]. در مدل نوآوری برای محصولات پیچیده به مشارکت فعالانه کاربران و مشتریان در روند تولید

بنگاه‌ها در یک شبکه همکاری یا بخش‌هایی از یک ادغام عمودی در یک بنگاه توسعه پیدا می‌کنند و مساله توسعه فناوری کاملاً به همکاری سازمان‌ها وابسته است [۴]. در یک محصول پیچیده عملکرد یک جزء پیشرفته نه تنها به توانایی آن جزء بلکه به توانایی سایر اجزا نیز بستگی دارد. تمام اجزا یک سیستم باید با یکدیگر و در صورت لزوم با یک جزء جایگزین شده پیشرفته‌تر هماهنگ شوند و بنابراین نوآوری سیستمی به منظور اطمینان از ارتقا عملکرد سیستم به‌عنوان یک کل هماهنگ ضروری است. هر جزء یا زیر سیستم از محصول پیچیده مفاهیم طراحی اصلی خود را دارد و سیستم به‌عنوان یک کل شامل مجموعه‌ای از طراحی‌های اصلی مرتبط با یکدیگر است که هر یک دانش و مهارت خاص خود را دارد. اگر اجزا یا زیر سیستم‌ها توسط تولیدکنندگان مختلف تامین شوند، همکاری باعث توسعه نوآوری سیستمی می‌شود [۱۰]. بدون یکپارچگی ممکن است بین بخش‌های مختلف درگیر در توسعه محصول کمبودی در اطلاعات یا سرمایه‌گذاری لازم در دارایی‌های تخصصی برای تجاری‌سازی نوآوری سیستمی روی دهد. بنابراین وابستگی‌های متقابل فناورانه بین اجزای سیستم منطبق اصلی ایجاد یکپارچگی عمودی است [۷].

بر این اساس، ملاحظاتی در مورد همکاری و مدیریت در این محصولات به شرح زیر ارائه شده است [۲۰]:

۱- طبیعت شبکه‌های محصولات پیچیده؛
عموماً پروژه‌های محصولات پیچیده در شبکه‌های تولید که همکاری‌ها در آنها به‌صورت رسمی برای سازماندهی نوآوری توسعه می‌یابد، مجسم می‌شود. این محصولات به‌صورت تکی و برای مشتری خاص توسعه می‌یابد. به دلیل نیاز به کیفیت بالا بازخورهای مداوم بین کاربران، مدیریت پروژه، مهندسی سیستم و طراحی و همچنین ارتباط نزدیک مشتری و سازنده مورد نیاز است. در پروژه‌های بسیار پرهزینه محصولات پیچیده معمولاً دولت‌ها و قانون‌گذاران برای فرموله کردن و قاعده‌مند کردن شرایط و پرداخت‌های مالی وارد می‌شوند. در بعضی موارد مکانیزم بازار در مورد این محصولات کاربردی ندارد و خریده‌ها بستگی به سیاست‌های دولتی پیدا می‌کند. در بسیاری کشورها دولت صاحب محصول پیچیده است یا آن را کنترل می‌کند یا از نزدیک بر روند تولید و کاربرد آن نظارت دارد. هر چقدر محصول پیچیده‌تر و هزینه بالاتر باشد، همکاری‌ها بیشتر متکی بر تراکنش‌های غیرقاعده‌مندتر بازاری، قیمت‌گذاری غیربازاری، سیاست‌های خرید جانبدارانه و رقابت‌های قانونی خواهد بود. این نکته که مکانیزم بازار تا چه حد در مورد این محصولات کارآمد

وجود دارد. به دلیل هزینه‌های سنگین، بنگاه‌های بسیار کمی می‌توانند وارد فرآیند توسعه و طراحی بدون تضمین بازار آتی محصول شوند. نوآوری معماری به‌طور معمول در این دوره روی می‌دهد. نوآوری معماری به تغییرات در کارکردهای اجزا و زیرسیستم‌ها و اینکه چگونه این اجزا برای دستیابی به یک هدف واحد کنترل می‌شوند، اشاره دارد. پس از تجاری شدن اولین محصول، فاز دوم آغاز می‌شود. طراحی، معماری پذیرفته شده مسیرهای ممکن برای نوآوری‌های بعدی را نشان می‌دهد. در این مرحله، نسل‌های متعدد محصول بدون تغییر اساسی در ویژگی‌های پایه‌ای معرفی می‌شود. معرفی استانداردهای صنعت در این مرحله با تشکیل همکاری‌های متعدد میان بازیگران به یک فرآیند پر چالش تبدیل می‌شود. در این مرحله، بنگاه‌ها دوران ثبات را طی می‌کنند و حمایت‌های مالی دولتی و همکاری‌ها شکل می‌گیرند. نوآوری اجزا و نوآوری سیستمی در این مرحله روی می‌دهد. نوآوری اجزا عبارتست از: تغییرات فنی بدون اصلاح سایر اجزا یا تغییر آرایش سیستم. نوآوری سیستمی نیز عبارتست از: تغییر در طراحی یا کارکرد یک جز یا مورد که نمی‌تواند بدون تغییر یا بازآرایی در طراحی یا کارکرد سایر اجزا روی دهد. ممکن است چرخه عمر برای هر یک از اجزای یک محصول پیچیده متفاوت باشد اما سیستم اصلی دارای چرخه عمر طولانی است. نوآوری اجزا و نوآوری سیستم به شدت در این مرحله اتفاق می‌افتد و پشت سر هم بهبودهایی در محصول اصلی ایجاد می‌کند [۲۱].

بعد از شروع به کار، یک محصول پیچیده می‌تواند سال‌ها مسیر نوآوری را طی کند. یک محصول پیچیده می‌تواند در اثر تعاملات مستمر اجزا شاهد بروز موقعیت‌ها و اتفاقات نوظهور باشد و یک تغییر کوچک در یک جزء یا زیر سیستم منجر به تغییرات بزرگ در کل سیستم شود. واحد تحلیل در محصولات پیچیده یک پروژه است و نه یک بنگاه [۳]. بحث اصلی نوآوری در این محصولات تنها مدیریت پروژه نیست؛ بلکه یکپارچه کردن اهداف پروژه با مدل‌ها و روندهای کسب‌وکار بنگاه و مدیریت شبکه نوآوری است. شبکه‌ای شامل سازندگان، تامین‌کنندگان، سرویس‌دهندگان، دولت، قانون‌گذاران، کاربران، نیروهای اجتماعی و... که همگی در طراحی و ساخت یک محصول پیچیده دخیل هستند [۱۹].

۴- شبکه نوآوری در محصولات سیستم‌های پیچیده

اجزا و زیرسیستم‌های یک محصول پیچیده توسط تعدادی از

اجازه می‌دهد تا نیازهای خود را مستقیماً در طراحی، تولید و توسعه محصول دخیل کند. تعریف و مدیریت یک پروژه پیچیده باید از سمت مشتری آغاز شود. این مساله نیاز به تغییری راهبردی در دیدگاه بنگاه‌ها دارد. بنگاه باید مدل کسب‌وکار خود را از حالتی که محصول را محور فعالیت خود قرار می‌دهد، به سمت حالتی که راه‌حل را برای رفع نیاز مشتری محور فعالیت قرار می‌دهد، تغییر دهد. یک بنگاه محصول تولید نمی‌کند؛ بلکه راه‌حلی برای رفع نیازها و مشکلات مشتریانش ارائه می‌دهد [۱۷].

بنابراین علاوه بر معیارهای معمول مدیریت پروژه (هزینه، جدول زمانی، ویژگی‌های فنی) باید خواسته‌های مشتری هم به معیارها اضافه شود. یک پروژه پیچیده زمانی موفق محسوب می‌شود که بتواند مشکلات فعلی و آتی مشتری خود را حل کند.

با استناد به ماهیت و طبیعت محصولات پیچیده (مخصوصاً هزینه و پیچیدگی فنی) استدلال می‌شود که این ماهیت در شکل‌دهی فرآیند نوآوری، شکل‌های سازمانی و همکاری‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کند. پروژه و سازماندهی پروژه‌های یک شکل طبیعی برای تولید این محصولات است، برخلاف محصولات ساده تولید انبوه که عمدتاً در سازماندهی‌های وظیفه‌ای تولید می‌شود. بنابراین واحد تحلیل در این حوزه پروژه‌های چند سازمانی است. رقابت اولیه برای قرار گرفتن در شبکه یک پروژه وجود دارد و فرآیند انتخاب عموماً در فضایی بوروکراتیک و سیاسی انجام می‌شود نه با مکانیزم بازار [۱۱ و ۲۰]. از آنجایی که واحد تحلیل در مطالعات و تئوری‌های مدیریت یک بنگاه و سازمان منفرد است و در محصولات پیچیده یک پروژه متشکل از چندین سازمان و نهاد؛ بنابراین لازم است که به این موضوع توجه جدی شود. در این محصولات بنگاه‌ها، بازارها را در شبکه‌ها ایجاد می‌کنند و مزیت‌های خود را در درون پروژه‌های چند سازمانی گسترش می‌دهند. بنابراین همکاری و آمادگی برای مدیریت پروژه‌ها براساس شایستگی محوری تولیدکنندگان این محصولات است. همکاری درون بنگاهی نیز جزئی از راهبرد بنگاه‌ها برای تولید این محصولات است. یکی از وظایف اصلی پیمانکاران اولیه این محصولات همراستا و هماهنگ کردن منابع انسانی و فیزیکی میان بنگاه‌ها به منظور دستیابی به اثر بخشی است. توانمندی پیش بردن و به نتیجه رساندن توافق اولیه میان تولیدکننده، کاربر و قانون‌گذار، برای موفقیت طولانی‌مدت یک بنگاه پروژه محور بسیار مهم است [۲۰].

4 Product Centric
5 Customer Centric

است، سوالی است که همچنان باید در مورد آن بررسی بیشتری انجام شود [۱].

۲- تعیین‌کننده‌های پیشرفت فنی؛

در بسیاری از محصولات پیچیده به دلیل مشارکت فعال کاربران، نوآوری توسط کاربر یا طرف تقاضا به پیش رانده می‌شود؛ از طرفی ممکن است به علت موانع ورود و هزینه‌های سنگین گاهی یک بنگاه با عملکرد ضعیف مدت‌ها بازار را علی‌رغم پیشرفت فنی کم در اختیار داشته باشد [۶].

۳- پروژه به‌عنوان مکانیزم همکاری؛

شکل همکاری در محصولات پیچیده، پروژه است. پروژه مسوول شناسایی بازار، تصمیمات هماهنگی میان بنگاه‌ها، مشارکت خریداران و تسهیم منابع مالی و تخصصی است [۱۲]. دلیل عمده ایجاد اینگونه ساختارها توان واکنش در برابر تکامل سریع و بنیادی فناوری‌ها و یکپارچگی محصول در بین وظایف مختلف و تغییر در نیازهای مشتری است؛ چراکه ساختار وظیفه‌ای به‌طور معمول با فقدان انعطاف‌پذیری برای پاسخگویی به الزامات در حال تغییر پروژه و همگامی با پیچیدگی‌های آن مواجه است [۱۲].

۴- سازمان پروژه محور؛

در شبکه تامین محصولات پیچیده، بنگاه‌ها ساختار و راهبرد را حول نیازهای پروژه سازماندهی می‌کند که اغلب از مرزهای متداول وظیفه‌ای عبور می‌کند. سازمان‌های پروژه محور بزرگ‌تر بخش‌های وظیفه‌ای متداول را برای فراهم کردن منابع فنی، انسانی و مالی پروژه تشکیل می‌دهد. سازمان‌های پروژه محور زیادی برای تولید محصولات پیچیده وجود دارد، از پیمانکاران دست اول بزرگ تا پیمانکاران جزء کوچک که اجزا، سرویس‌ها و نرم‌افزارها را تدارک می‌بینند. هر پروژه‌ای ممکن است گروهی از این موارد را با قوانین مختلف جمع کند؛ به‌نحوی که یک بنگاه در پروژه‌های پیمانکار دست اول و در پروژه دیگر پیمانکار جزء باشد. بنگاه‌ها می‌توانند تمام تلاش خود را صرف یک پروژه بزرگ کنند و یا در پروژه‌های کوچک‌تر دیگری درگیر شوند. عموماً پیمانکار دست اول پروژه که یکپارچه‌کننده سیستم است نیاز شدیدی به شایستگی‌های مدیریتی دارد [۱۴].

۵- نقش محوری کاربر.

مشتری یا کاربر یک محصول پیچیده یک سازمان بزرگ است که ذی‌نفع خروجی پروژه است. نیاز این سازمان بزرگ فرآیند نوآورانه در محصول پیچیده را رهبری می‌کند. بسیاری از این محصولات کالاهای سرمایه‌ای هستند که بین دو کسب‌وکار مبادله می‌شود. رابطه بدون واسطه کاربر و تولیدکننده به خریدار

بخش گروه پروژه که تقریباً مستقل عمل می‌کند و سازمان مرکزی تقسیم می‌شود. بنابراین لازم است که بنگاه بتواند هم پروژه و هم فرآیندهای کسب‌وکار را مدیریت کند. درحالی‌که فرآیندهای کسب‌وکار مداوم و تکراری و پروژه موقتی است. فرآیندهای کسب‌وکار به تدریج فرایندهای روزمره‌ای را شکل می‌دهد و این فرایندها نوآوری‌ها را شتاب می‌بخشد. برای استانداردسازی شرایطی را فراهم می‌کند و می‌تواند فرآیندها را بهبود دهد. در صورتی‌که فرآیندهای پروژه‌ای عموماً امر عادی‌ای را تولید نمی‌کند و بنابراین فرصتی برای بهبود فرآیندها، استانداردسازی و صرفه‌های ناشی از مقیاس پدید نمی‌آید. عموماً ادبیات مدیریت پروژه نیز بر مدیریت پروژه‌ها تأکید دارد و نه بر مدیریت بنگاه‌های پروژه محور. درحالی‌که عملکرد چنین بنگاهی به جز پروژه به بسیاری از عوامل مانند وضعیت مالی، مالکیت، ساختار و... بستگی دارد. ویژگی‌های خاص بازارها، سازمان صنعتی، ساختارهای مدیریتی، فناوری‌ها و شایستگی‌ها در طراحی، مهندسی و ساخت، شکل نوآوری در سازمان‌های پروژه محور درگیر در محصولات پیچیده را تعیین می‌کند. در شبکه‌های تولیدی پروژه محور ارتباط بین بنگاه‌ها و سایر نهادها با دیگر رویکردهای تولید که در آنها مرزهای بنگاه‌ها، تراکنش‌ها و روابط کاملاً مشخص و شفاف است، متفاوت می‌باشد. عملکرد و رقابت‌پذیری یک بنگاه تنها به همان بنگاه بستگی ندارد، بلکه به عملکرد و اثربخشی کل شبکه مرتبط است [۱۴]. نوآوری در محصولات پیچیده به علت طبیعت گسسته فرآیندهای تولید پروژه‌محور آنها پیچیده است. این فرآیند عمدتاً پر از حلقه‌های ناقص یادگیری و بازخورد است؛ درحالی‌که سیستم تولید عمدتاً با تغییر شکل و محتوای پروژه روبروست. بنگاه‌های حاضر در شبکه یک پروژه محصول پیچیده، باید دائماً یادگیری را ارتقا دهد. ماهیت موقت و گذرای پروژه‌ها، یک چالش مهم برای یادگیری و توسعه قابلیت‌های تیم‌های کاری است. جابجایی افراد در پایان پروژه بین بخش‌های یک پروژه یا اتمام فاز یک پروژه، از یادگیری جلوگیری می‌کند [۱۶]. یادگیری از یک پروژه به پروژه دیگر و از پروژه به کل سازمان، برای بهره‌وری، کارایی و رشد عامل اساسی به‌شمار می‌رود. بیشترین عامل ایجاد پیچیدگی در فرآیند انتقال دانش بین سازمانی تعداد زیاد عوامل درگیر در پروژه است که هر یک ممکن است به شدت تخصصی باشند و این مساله به نوبه خود پیچیدگی را افزایش می‌دهد. در این پروژه‌ها جریان دانش و نوآوری بین سازمان‌ها باید در موقعیتی شامل شبکه‌های موقت و کوتاه مدت و لزوم ساخت و توسعه قابلیت‌ها در همکاری‌ها و یکپارچگی میان سازمان‌ها مدیریت

عموماً تأمین‌کنندگان محصولات پیچیده به مهارت‌های مدیریتی و راهبردهای خاصی نیاز دارند که حول آمادگی برای ورود به پروژه، طراحی و توسعه جریان دارد تا مزیت‌های ناشی از تولید انبوه. مدیریت پروژه‌ها باید با عدم قطعیت ناشی از وقایع نوظهور و درخواست‌های مشتری کنار بیاید. بنابراین کار در محیطی با حلقه‌های بازخورد متعدد، در مسیرهای متفاوت و در مراحل مختلف مدیریت پروژه یکی از توانایی‌های مهم شرکت‌های پروژه محور حاضر در یک شبکه همکاری است [۷].

اگر چه محصولات پیچیده نمی‌تواند به‌صورت انبوه تولید شود و از قطعات استاندارد شده استفاده کند؛ اما می‌تواند راه‌های جایگزین یادگیری و مزیت ناشی از یادگیری را بیابد [۱۲]. تکنیک‌های سفارشی‌سازی، یکپارچه کردن سیستم و مهارت‌های مدیریت پروژه از جمله این راه‌هاست. در شرایط تولید انبوه با قاعده‌مند شدن و استاندارد شدن فعالیت‌ها یادگیری روندی طبیعی را طی می‌کند؛ اما در محصولات پیچیده به‌علت کار در پروژه‌های موقت و به شدت سفارشی شده، انتقال دانش از یک پروژه به پروژه دیگر مشکل است. علی‌رغم اینکه می‌توان اجزاء محصول را به‌صورت استاندارد شده تولید کرد، انحلال یک تیم در پایان یک پروژه تأثیر منفی بر روند یادگیری دارد [۱۵].

یکپارچه‌کنندگان سیستم به شایستگی‌های مدیریت پروژه برای برخورد با جدول‌های زمانی و فعالیت‌های مهندسی پیچیده مخصوصاً در پروژه‌های نرم‌افزاری نیاز مبرم دارد. بسیاری از ابزارهای استاندارد مدیریت مانند کنترل‌های آماری و تولید ناب برای تولید انبوه توسعه پیدا کرده‌اند و واحد تحلیل آنها یک بنگاه است و نه یک پروژه چند سازمانی. بنابراین قابلیت استفاده چندانی برای محصولات پیچیده ندارد. در این پروژه باید کل شبکه کار بهینه شود و نه تنها یک بنگاه منفرد [۱۶]. درحالی‌که از دید یک بنگاه که در یک پروژه محصول پیچیده مشارکت کرده است، چالش اصلی یکپارچه کردن هدف پروژه با روندهای کاری درونی و فرآیندهای کسب‌وکار است و نه موفقیت پروژه به‌عنوان یک کل [۱۴]. بنگاه‌های حاضر در شبکه یک پروژه عموماً با آنچه به‌عنوان سازمان به‌صورت متداول می‌شناسیم، متفاوت است. در این بنگاه‌ها مرز سازمان چندان شفاف نیست و حتی مرزهای داخلی بین واحدهای وظیفه‌ای نیز گاهی متداخل و متغیر است. در بسیاری از این بنگاه‌ها، نیروی انسانی بسیار بیشتر از آنچه با مدیر سازمان خود در ارتباط است با سایر کارکنان از سایر بنگاه‌های دخیل در پروژه فعالیت می‌کند و اصولاً ارزش افزوده خارج از بنگاه و با همکاری سایر بنگاه‌ها تولید می‌شود. در بسیاری از مواقع بنگاه درگیر در یک پروژه به دو

توانایی یکپارچه کردن سیستم عبارتست از توانایی فراهم‌آوری ورودی‌های مورد نیاز (کالا/ خدمات/ سیستم/ نرم‌افزار/ ساخت‌افزار) از سازمان‌ها و تامین‌کنندگان خارجی به‌منظور یکپارچه کردن دانش‌های متنوع و ایجاد طرحی که بتواند اجزاء فیزیکی را در یک سیستم کاراً ترکیب نماید. تکنیک‌های مهندسی سیستم مانند مهندسی همزمان و تقسیم سیستم به زیرسیستم‌های کوچک‌تر قابل مدیریت می‌تواند احتمال ایجاد خروجی‌های غیرقابل پیش‌بینی را کاهش دهد [۱۵]. شایستگی‌های مدیریت پروژه و ساماندهی براساس پروژه یکی از ویژگی‌های اصلی نوآوری در این محصولات است [۷]. بسیاری از بنگاه‌های موفق، باگسترش فرایندهای عادی پروژه و بهبود تدریجی آنها توانسته‌اند عملکرد خود را بهبود بخشند [۱۳]. این روندهای کاری در راهنماهای کاری شرکت، فرایندهای عادی و سیستم‌های اطلاعاتی که فرآیندهای کسب‌وکار را به پیش می‌رانند، مجسم شده است. این شایستگی‌های پروژه‌ای نه تنها برای بهبود اثربخشی عملیاتی بلکه برای دستیابی به راهبردهایی برای تنوع، حیاتی است. مزیت‌های رقابتی خاص و راهبردی از طریق پروژه‌هایی که منابع را به حرکت درآورده و به سمت فناوری‌ها و بازارهای جدید تنوع می‌دهد، ایجاد می‌شود [۱۳]. سازمان‌های پروژه‌محور با استفاده از منابع کلیدی و نیروی آموزش دیده برای گسترش و توسعه قابلیت‌های کاملاً جدید موردنیاز برای نیازها و چالش‌های نوآوری‌های آتی، می‌توانند درآمد و سود آینده خود را بسازند [۱۴]. نوآوری در محصولات پیچیده از طریق شبکه‌ای از سازمان‌ها شامل همکاران، تامین‌کنندگان، کاربران و... اتفاق می‌افتد. فرهنگ‌های سازمانی مختلف، روابط قراردادی متعدد و نیاز به یکپارچه کردن دامنه وسیعی از دانش، مدیریت پروژه‌های محصولات پیچیده را - مخصوصاً زمانی که با فناوری جدید سروکار دارد- بسیار سخت می‌کند [۱۴ و ۱۵].

شود [۱۵]. مکانیزم شراکت با تأکیدی که بر ارتباطات، تسهیم خطر و پاداش و توسعه اعتماد بین سازمان‌ها دارد، می‌تواند برای این منظور مفید باشد. لیکن اگرچه استفاده از قابلیت‌های سازمان‌های دیگر می‌تواند بالقوه مفید باشد، شراکت به خودی خود نمی‌تواند موجب انتقال دانش بین سازمان‌ها شود. انتقال دانش به عوامل متعددی بستگی دارد که برخی به اهداف هر طرف و برخی به ماهیت دانشی که منتقل می‌شود، مربوط است. هر دو این عوامل به نوبه خود تحت تاثیر روابط درون و بین سازمانی و فرهنگ سازمانی قرار دارد. انتقال‌پذیری دانش نیز به قابلیت آن برای کد شدن و ساختار یافتگی بستگی دارد. دانش صریح و دانشی که قابلیت کد شدن دارد راحت‌تر منتقل می‌شود. از طرفی این انتقال به مدت رابطه نیز بستگی دارد، هر چه قدمت روابط بیشتر باشد، انتقال راحت‌تر انجام می‌شود [۱۵].

در نوآوری‌های جدید در فناوری‌های پیچیده اغلب سیستم‌های موجود و پیچیده را یکپارچه‌سازی می‌کنند تا مسیرهای جدیدی ایجاد شود. شبکه‌ها مبتنی بر اعتماد و اصول مشترک هستند. در واقع، شبکه‌ها فراتر از معاملات ساده بازار یا روابط مسوولان رسمی عمل می‌کنند [۱۸]. مادامی که پیچیدگی‌های فنی و سازمانی افزایش می‌یابد و یک شبکه گسترش پیدا می‌کند، همکاری میان اعضای شبکه سخت‌تر می‌شود. تعامل در این مسیر در واقع پیامد برخورداری از دیدگاه‌های مشترک در میان اعضای شبکه است [۱۸].

۵- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

محصولات با سیستم‌های پیچیده به‌عنوان یک مقوله تحلیلی توسط هابدی و همکارانش در اواسط و اواخر دهه ۱۹۸۰ معرفی شد [۱۹، ۲۱، ۲۲ و ۲۴]. مطالعات پیشین چندان به ماهیت پیچیدگی سیستم‌ها در محصولات پیچیده اشاره‌ای نکرده‌اند. محصولات و سیستم‌های پیچیده یکی از اجزاء اصلی توانمندی فناورانه بنگاهی و ملی است [۱ و ۸]. این محصولات را می‌توان به‌عنوان سیستم‌ها، شبکه‌ها، زیر ساخت‌ها، کالاها و خدمات با ارزش و سرمایه‌ای که برای مشتری (مشتریان) خاص در تعداد بسیار محدود طراحی و تولید می‌شوند، تعریف کرد [۲۰]. غالباً مشتری این محصولات دولت‌ها و یا بنگاه‌های بسیار بزرگ هستند. این محصولات زیرساخت‌های اصلی توانمندی در حوزه فناوری‌های سطح بالا را می‌سازند [۳، ۵، ۶ و ۹]. دو شایستگی اصلی در محصولات با سیستم‌های پیچیده عبارتند از: یکپارچه کردن سیستم‌ها (شامل طراحی و مهندسی سیستم) و مدیریت پروژه [۷].

فهرست منابع

- [1] Abdon, Arnelyn; Bacate, Marife; Felipe, Jesus; Kumar, Ustav; "Product complexity and economic development", Structural Change and Economic Dynamics, Vol. 23, No. 1, 2012.
- [2] Park, Tae Young; "How a latecomer succeeded in a CoPS industry: Three case studies in the Korea from telecommunication systems". Industrial and Corporate Change, Vol. 22, No. 2, 2012.
- [3] Davies, Andrew; Brady, Tim; Prencipe, Andrea; Hobday, Michael; "Innovation in CoPS: Implication for project base organizations", Advances in Strategic Management, Vol. 28, No. 1, 2011.
- [4] Gil, Nuno; "On the value of project safeguards: Embedding real options in complex products and systems", Research Policy, Vol. 36, No. 7, 2007.
- [5] Ethiraj, Sendil K.; "Allocation of inventive effort in complex product systems", Strategic Management Journal, Vol. 28, No. 6, 2007.
- [6] Ren, Ying tao; Yeo, Khim teck; "Research challenges on complex product systems innovation", Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, Vol. 23, No. 6, 2006.
- [7] Hobday, Michael; Davis, Andrew; Prencipe, Andrea; "Systems integration: a core capability of the modern corporation", Industrial and Corporate Change, Vol. 14, No. 2, 2005.
- [8] Acha, Virginia; Davies, Andrew; Hobday, Michael; Salter, Ammon; "Exploring the capital goods economy: complex product systems in the UK", Industrial and Corporate Change, Vol. 13, No. 3, 2004.
- [9] Hardstone, G. A. P.; "Capabilities, Structures and Strategies Re-Examined: Incumbent Firms and the Emergence of Complex Product Systems (CoPS) in Mature Industries", Technology Analysis & Strategic Management, Vol. 16, No. 2, 2004.
- [10] Zülch, Gert; Jonsson, Uwe; Fischer, Jörg; "Hierarchical simulation of complex production systems by coupling of models", International Journal of Production Economics, Vol. 77, No. 2, 2002.
- [11] Hobday, Mike; Rush, Howard; Tidd, Joe; "Innovation in complex products and systems", Research Policy, Vol. 29, No. 7-8, 2000.
- [12] Hobday, Mike; "The project-based organisation: an ideal form for managing complex products and systems?", Research Policy, Vol. 29, No. 7-8, 2000.
- [13] Prencipe, Andrea; "Breadth and depth of technological capabilities in CoPS: the case of the aircraft engine control system", Research Policy, Vol. 29, No. 7-8, 2000.
- [14] Gann, David M; Salter, Ammon J.; "Innovation in project-based, service-enhanced firms: the construction of complex products and systems", Research Policy, Vol. 29, No. 7-8, 2000.
- [15] Barlow, James; "Innovation and learning in Offshore construction projects", Research Policy, Vol. 29, No. 7-8, 2000.
- [16] Geyer, Anthon; Davie, Andrea; "Managing project -system interfaces: case studies of railway projects in restructured UK and German markets", Research Policy, Vol. 29, No. 7-8, 2000.
- [17] Nightingale, P.; "Product - process - organization relationship in complex development projects", Research Policy, Vol. 29, No. 7-8, 2000.
- [18] Kash, Don; Roykoft, Robert; "Patterns of innovating complex technologies: a framework for adaptive network strategies", Research Policy, Vol. 29, No. 7-8, 2000.
- [19] Hansen, Karen Lee; Rush, Howard; "Hotspots in complex product systems: emerging issues in innovation management", Technovation, Vol. 18, No. 8-9, 1998.
- [20] Hobday, Mike; "Product complexity, innovation and industrial organization", Research Policy, Vol. 26, No. 6, 1998.
- [21] Davies, Andrew; "The Life Cycle of a Complex Product System", International Journal of Innovation Management, Vol. 1, No. 3, 1997.
- [22] Miller, Roger; Hobday, Mike; Leroux, Thierry; Olleros, Xavier; "Innovation in Complex System industries: the case of flight simulation", Industrial Corporation and Change, Vol. 4, No. 2, 1995.
- [23] "Tools, Management of Innovation in Complex Product Systems", Working Paper Prepared for CENTRIM/SPRU/OU Project on Complex Product Systems, 1996.
- [24] "Complex Product vs Mass Production Industries", Working Paper Prepared for CENTRIM/SPRU/OU Project on Complex Product Systems, 1996.