Technology Valuation Analysis Based on Dynamic Systems Approach (Case Study: Teflon Container Industry)

⁎ Hemgameh Abbasi ⁎⁎ Aliakbar Hasani ⁎⁎⁎ Jalil Gharibi

⁎ Master of Industrial Management, Department of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran abbasi.hengame@yahoo.com

⁎⁎ Associate Professor, Department of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran aa.hasani@shahroodut.ac.ir

⁎⁎⁎Manager of the Department of Commercialization and Technical and Specialized Services, Semnan Science and Technology Park, Semnan, Iran jalil_int@yahoo.com

Received: 07.11.2021 Accepted: 09.23.2023

P.203-224

Abstract

Today, with the advent of technology businesses and the formation of a knowledge-based economy, the importance of technology valuation has increased. A wide variety of factors in the form of a causal system will affect the issue of technology valuation. However, a significant portion of the feedback can appear over a period of time and with a not necessarily linear behavior. Therefore, the analysis of a set of factors affecting the category of technology valuation in the form of a systemic and at the same time dynamic view can affect the efficiency and effectiveness of relevant decisions. Therefore, in the present study, due to the dynamic nature of the decision-making problem and faced with various evaluation criteria in the process of analysis and selection of technology evaluation strategies, a combined analysis method based on the dynamic systems approach and multi-criteria decision-making is presented. The proposed model has been implemented to evaluate the technology of the Teflon container manufacturing industry as a case study. The results indicate the efficiency of the proposed dynamic model in analyzing the relationships between variables that have a direct and indirect impact on the issue of technology valuation. In addition, using the TOPSIS and analytical hierarchical process methods, strategies based on the simulation results are evaluated and finally prioritized.

Keywords: Technology Valuation, Dynamic Systems, Multi-Criteria Decision Making.

Corresponding Author: Aliakbar Hasani - Aa.hasani@shahroodut.ac.ir

تحلیل ارزش‌گذاری فناوری مبتنی بر رویکرد سیستم‌های پویا (موردمطالعه: صنعت تولید ظروف تفلون)

* هنگامه عباسی ** علی اکبر حسنی *** جلیل غریبی

* دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود ، شاهرود، ایران

abbasi.hengame@yahoo.com

** دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران aa.hasani@shahroodut.ac.ir

*** مدیر تجاری‌سازی و خدمات فنی و تخصصی، پارک علم و فناوری استان سمنان، سمنان، ایران jalil_int@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

صص: ۲۲۴- ۲۰۳

چکیده

امروزه با ظهور کسب‌وکارهای فناورانه و شکل‌گیری اقتصاد دانش‌بنیان، بر اهمیت مسئله ارزش‌گذاری فناوری افزوده شده است. عوامل بسیار متنوعی در قالب یک سیستم علی و معلولی بر مسئله ارزش‌گذاری فناوری تأثیر خواهند گذاشت. این در حالی است که بخش مهمی از بازخوردها می‌تواند در طی یک بازه زمانی و با رفتاری نه لزوماً خطی پدیدار شود. ازاین‌رو تحلیل مجموعه عوامل تأثیرگذار بر مقوله ارزش‌گذاری فناوری در قالب یک نگاه سیستمی و در عین حال پویا می‌تواند بر کارایی و اثربخشی تصمیمات مربوطه تأثیرگذار باشد. ازاین‌رو در پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت پویای مسئله تصمیم‌گیری مدنظر و مواجه با معیارهای ارزیابی متنوع و متفاوت در فرایند تحلیل و انتخاب راهبردهای ارزش‌گذاری فناوری، یک روش تحلیل ترکیبی مبتنی بر رویکرد سیستم‌های پویا و تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه شده است. مدل پیشنهادی جهت ارزش‌گذاری فناوری صنعت تولید ظروف تفلون به‌عنوان موردمطالعه پیاده‌سازی شده است. نتایج پژوهش حاکی از کارایی مدل پویای پیشنهادی در تحلیل روابط مابین متغیرهای دارای اثرگذاری مستقیم و غیرمستقیم بر مسئله ارزش‌گذاری فناوری است. اعتبار مدل پویای پیشنهادی با استفاده از رویکرد ارزیابی ساختار مدل و ارزیابی شرایط مرزی مورد بررسی و تایید توسط خبرگان توسط روش مصاحبه قرار گرفته است. علاوه بر آن، با استفاده از روش ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس، اقدام به ارزیابی راهبردهای برنامه‌ریزی مبتنی بر نتایج شبیه‌سازی و درنهایت اولویت‌بندی آن‌ها شده است.

واژه‌های کلیدی: ارزش‌گذاری فناوری، تحلیل سیستم‌های پویا، تصمیم‌گیری چندمعیاره.

نوع مقاله: پژوهشی

۱- مقدمه

همواره از مقوله علم و فناوری تحت عنوان عامل‌های کلیدی رشد و توسعه اقتصادی پایدار یاد شده است. این در حالی است که توسعه و تولید دانش به‌تنهایی کفایت نمی‌کند، بلکه بایستی هدف اصلی توسعه فناوری و به ویژه فناوری‌های راهبردی باشد. این اقدام نتایجی همچون کسب، حفظ و رشد مزیت رقابتی را برای کسب و کار و درنهایت کسب ثروت پایدار برای جامعه را ب همراه خواهد داشت (چازینوری، ۲۰۰۵، تارک، ۲۰۰۰). واحدهای متمرکز بر مسایل پژوهش و فناوری که به صورت مستقل برای توسعه و تجاری‌سازی فناوری ایجاد می‌شوند، دارای مأموریت

نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات: علی‌اکبر حسنی Aa.hasani@shahroodut.ac.ir

حمایت فناورانه و نوآورانه از صنایع بواسطه توسعه و تجاری‌سازی فناوری هستند. در این راستا، فرایند کلیدی تجاری‌سازی فناوری که دربرگیرنده فعالیت‌های گوناگون مانند تهیه بسته فناوری، اقتصادی، بازار، طرح تجاری‌سازی شامل تعیین چگونگی واگذاری، بازاریابی و قیمت‌گذاری فناوری است، از جمله مراحل اصلی توسعه فناوری خواهد بود. در حال حاضر، مساله تجاری‌سازی به یکی از رکن‌های مهم در فرایند نوآوری فناورانه مبدل شده است (اسحاقیان و همکاران، ۱۴۰۱). علی‌رغم پذیرش مساله تجاری‌سازی در نزد محققان، شواهد گوناگون از بازارهای مختلف نشان می‌دهد که اگرچه تعداد فراوانی از مطالعات از نظر فنی موفق هستند، اما تنها درصد کمی از آن‌ها در زمینه تجاری‌سازی با موفقیت در بازار همراه بوده‌اند. این وضعیت بیانگر پیچیدگی فرایند تجاری‌سازی است (ویپو، ۱۹۹۸). از جمله اقدامات پیچیده در حوزه تجاری‌سازی محصولات عبارت است از تحلیل دانش فنی، ارزشیابی[1] و قیمت‌گذاری[2] فناوری‌ها. از آنجایی که یک دانش فنی، معمولا از ارزش نامشهود برخوردار است، تبدیل ارزش نامشهود به مشهود و تفسیر مالی آن، بر دشواری این اقدام می‌افزاید. مساله دیگر، نامشخص بودن تمامی عوامل اثرگذار بر ارزش یک دانش فنی و نامشخص بودن چگونگی تأثیرگذاری هر یک از عوامل بر ارزش است. بر این اساس، در مطالعه‌های متعدد با استفاده از مدل‌ها و روش‌های گوناگون، تعیین ارزش دانش فنی، به‌نوعی مجموعه‌ای از عوامل اثرگذار شناسایی و با ارزیابی تأثیرگذاری هر یک، برآوردی از ارزش واقعی یک دانش فنی برآورد می‌شود (کاتلین، ۲۰۰۳). نبود ارزش مناسب به منظور ارائه به بازار و عدم وجود یک راهنمای مطلوب برای ارائه ارزش سبب گشته است تا طیف وسیعی از شرکت‌ها، محصولات متعددی را که با ارزش مورد انتظار بازار انطباق مناسب ندارند را به سوی بازار هدایت کنند. آمارها حاکی از آن است که ۸۰ الی ۹۰ درصد از ارزش‌گذاری‌های ناموفق ناشی از ارزش‌گذاری بسیار پایین است (راوی، ۲۰۰۳). ارزش‌گذاری فناوری می‌تواند بسیار فریبنده باشد. برای نمونه، یک ارزش بسیار بالا سبب فروش آهسته می‌شود. با ارزش بسیار پایین، شرکت نه‌تنها درآمد چشمگیری را از دست می‌دهد بلکه جایگاه خود از منظر فناوری را در بازار دچار خسران می‌کند. همراه با استقرار فناوری در بازار، رشد ارزش آن دشوار و یا در مواردی غیرممکن خواهد شد. در فرایند ارزش‌گذاری فناوری، تعیین سقف و کف ارزش و مشخص نمودن قیمت ارائه محصول به بازار در این دامنه معنی‌داری از[3] جمله مهم‌ترین فعالیت‌ها است. دنیای امروز ما، جهان تغییرات و تحولات فزاینده است. تنها با برخورداری از یک دیدگاه سیستمی می‌توان اجزا، ارتباط‌ها و وابستگی‌های متقابل یک سیستم بزرگ، پیچیده و پویا را بهتر تحلیل نمود. پویایی‌شناسی سیستم با حداقل بهره‌گیری از فرمول‌ها و قواعد ریاضی و عمدتا بر پایه بینش، درک معنوی و روش‌هایی ازفکر کردن به حل مسائل است. پویایی‌شناسی سیستم فرصت را برای ما فراهم می‌سازد تا زمینه تکنیک قوی را برای توسعه بینش و درک مفهومی از پیچیدگی و پویایی استفاده نماییم (استرمن، ۲۰۰۰).

در این پژوهش برای ارزش‌گذاری فناوری به عنوان یک مسااله مهم در دنیای امروز کسب‌وکار، به ارائه یک مدل جامع پرداخته خواهد شد. برای این منظور از رویکرد تحلیل سیستم‌های پویا استفاده شده است. مدل توسعه‌یافته امکان لحاظ نمودن روابط علی-معلولی میان متغیرهای اثرگذار در مدل ارزش‌گذاری فناوری و ارزیابی اثرگذاری بازخوردها با در نظر گرفتن تأخیر زمانی را ارایه می‌نماید. در پایان، برای ارزیابی و انتخاب راهبردهای ارزش‌گذاری فناوری، بر پایه نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل توسعه‌یافته در طی یک دوره برنامه‌ریزی معین، از تکنیک ترکیبی تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس استفاده شده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه

در دنیای امروز، سهم مهمی از دارایی‌های یک شرکت مربوط به دارایی‌های نامشهود آن است. از این‌رو مجموعه مدیران و تصمیم‌گیرندگان مالی، حسابداران، حسابرسان و مدیران اجرائی با مجموعه‌ای از مسائل مرتبط با ارزش‌گذاری دارایی‌های مشهود و به ویژه نامشهود شرکت مواجه هستند.

1 Valuation
2 Pricing
3 Significant Range

فناوری در حالت کلی از جمله دارایی‌های نامشهود و در عین حال ارزشمند برای یک شرکت است. چگونگی ارزش‌گذاری فناوری اگرچه در زمان‌های پیشین تحت تاثیر مواردی مانند دعاوی قانونی یا اهداف مالیاتی مدنظر قرار گرفته شده است، با این وجود، در طی سال‌های اخیر و در گذر معرفی انواع مختلف از قراردادهای اعطای امتیاز، فروش فناوری و سرمایه‌گذاری خطرپذیر جایگاه ویژه‌ای را در موضوعات گسترده مدیریت فناوری به خود اختصاص داده است (معصوم زاده، ۱۳۸۴). نتایج حاکی از آن است که محدودیت‌ها و چالش‌های ارزش‌گذاری فناوری، به طور پیوسته یک مانع بزرگ در برابر توسعه بازارهای مبادله فناوری و دسترسی به منابع مالی است. فرایند تعیین ارزش یک فناوری، در واقع ارزش‌گذاری فناوری و فرایند تعیین قیمت فناوری اصطلاحاً قیمت‌گذاری فناوری نامیده می‌شود (طباطباییان، ۱۳۸۸).

بندریان (۱۳۹۲) در یک مطالعه به بررسی و شناسایی مجموعه عامل‌های تاثیرگذار در تعیین ارزش فناوری شناسایی شده در پنج گروه اصلی شامل ارزش ذاتی فناوری، ارزش هزینه‌های فناوری، ارزش بازار فناوری، ارزش اجتماعی فناوری و ارزش سایر عوامل پرداخته است. برای این منظور، نظرات خبرگان تحقیق پیرامون عوامل اثرگذار یادشده با استفاده از ابزار پرسش‌نامه جمع‌آوری شده است. پرسش‌نامه‌های ذکور با استفاده از رویکرد تحلیلی معادلات ساختاری و به روش حداقل تعیین کلیدی و حذف عوامل با اهمیت کم و نیز محاسبه وزن هر شاخص، یک معادله خطی ارزش فناوری برای نوآوری‌های فناورانه ارائه شده است. مولایی (۱۳۹۱) در یک مطالعه با هدف بررسی شیوه‌های قیمت‌گذاری فناوری به تحلیل انواع گوناگون روش‌های تعیین قیمت فناوری پرداخته است. ایشان همراه با بیان نقاط ضعف و قوت دو رویکرد تعیین قیمت فناوری و دانش فنی، به ارزیابی کلی عوامل اثرگذار بر انتخاب رویکرد قیمت‌گذاری فناوری و تفاوت قیمت‌گذاری فناوری در مبادلات فناوری تحت تاثیر نوع قرارداد انتقال فناوری پرداخته است. شایان توجه است که مطالعه یادشده برای فناوری‌های فرایندی در صنعت نفت کشور به عنوان مورد مطالعه پیاده‌سازی شده است. حاجی حیدری و دیگران (۱۳۹۰)، در مطالعه‌ای دیگر با تمرکز بر پیشنهاد شیوه مناسب ارزش‌گذاری دانش فنی، با استفاده از روش موردکاوی برای یک سازمان توسعه‌ای به بررسی شیوه‌های پیشنهادی برای سه مرحله از چرخه عمر دانش‌های فنی مقدماتی، نمونه اولیه و تجاری شده پرداخته‌اند. موسایی و دیگران (۱۳۸۹) با بهره‌گیری از یک رویکرد تحلیلی ترکیبی، دانش فنی را توسط یک مدل سیستماتیک در ابتدا ارزیابی نموده و سپس بر اساس محاسبه هزینه‌های توسعه فناوری و ترکیب آن با مدل کمی مستخرج از ارزیابی انجام شده به تعیین قیمت فناوری پرداخته‌اند.

سازمان جهانی مالکیت فکری[1] در یک اقدام کلیدی به تعیین ارزش دارایی‌های فکری برای مؤسسات آموزشی و دانشگاه‌ها و همچنین برای ارزش‌گذاری پروژه‌های انتقال فناوری و نوآوری پرداخته است. در مرجع راهنمای یادشده، رویکردهای اصلی برای بکارگیری در تعیین ارزش فناوری، واژه‌ها و فن‌های مورد استفاده در انتقال فناوری، ابزارها و منابع خاص برای تعیین ارزش فناوری‌های خاص به همراه مثال‌های کاربردی توضیح داده شده است (جیمنز و کاستالنوس، ۲۰۱۲). در مطالعه‌ای دیگر، محققان به بررسی نحوه تعیین ارزش دانش فنی برای یک فناوری پیش رقابتی پرداخته‌اند. برای این منظور، یک متدولوژی کارا برای تعیین ارزش دانش فنی بر پایه شناسایی مجموعه نقاط ارزش خاص[2] مربوط به توسعه آن فناوری ارائه شده است. این روش جامع در چهار مرحله دربرگیرنده تعریف یک محدوده ارزش برای دانش فنی بر پایه رویکردهای هزینه‌محور، بازار محور و درآمد مورد انتظار و ارزش فعلی و امتیازدهی برای برآورد وزن‌های متناسب با جنبه‌های اصلی سرمایه فکری به کار رفته در آن دانش فنی است. به منظور توسعه مدل‌های ارایه شده توسط شوارتز و مون (۲۰۰۰) و شوارتز و زوزایا گروستیزا (۲۰۰۴)، یک مدل شبیه‌سازی کامپیوتری برای تعیین ارزش دانش فنی جدید توسعه یافته است که در آن متغیرهای تصادفی هم برای هزینه‌های توسعه و هم جریان نقدی استفاده می‌شوند (ارنست و دیگران، ۲۰۱۰). محققان با هدف ایجاد یک چارچوب جامع برای تعیین ارزش

1 World Intellectual Property Organization
2 Specific Value Point

دارایی‌های فناورانه، علاوه بر تجزیه و تحلیل عمیق یافته‌های حاصل از ادبیات علمی موضوع، بررسی‌های موردی بسیاری را انجام داده‌اند نتایج مطالعات مذکور نشان می‌دهد که فرایند تعیین ارزش آسان نیست، بلکه کاملاً یک مساله چندوجهی است و نه در ادبیات و نه در کاربرد توسط شرکت‌های بزرگ از یک نظام تحلیلی خاص تبعیت نمی‌کند. برای نمونه، سه عنصر مختلف باید از یکدیگر متمایز شوند: فعالیت‌ها[1]، محدودیت‌ها[2] و پیوندها[3] (کی‌زا و دیگران، ۲۰۰۵). در مطالعات انجام شده توسط پارک (۲۰۰۴)، مدل‌های برآورد ارزش دانش فنی به سه دسته متمایز امتیازی[4]، شاخص[5] و یا ارزش پولی تقسیم شده‌اند. مدل پیشنهادی ایشان، با ترکیب چندین مدل تحلیلی توسعه یافته است و در آن از مدل‌های امتیازی و شاخص نیز بنا به ضرورت استفاده شده است. برای این منظور، از رویکرد بر پایه ماژول استفاده شده است که هر ماژول دارای یک مجموعه وظایف مشخص و معین تمرکز دارد. درنهایت، ماژول‌های یاددشه با یکدیگر، یک چارچوب جامع را تشکیل می‌دهند. از مزایای رقابتی و توجیه اساسی این نوع از مدل‌سازی، لحاظ نمودن ارتباط ساختاری میان عوامل فناوری و بازار است. بدین نحو که ابعاد تجاری فناوری از دیگر عوامل اثرگذار مستقل نخواهند بود و تحت تأثیر جنبه‌های فنی یک فناوری نیز خواهند بود است و بالعکس (پارک، ۲۰۰۴).

اگرچه مطالعات وسیعی پیرامون تعیین ارزش فناوری انجام شده و روش‌ها و رویکردهای تحلیلی متنوعی به کار گرفته شده است، اما ماهیت پویای مسئله حاضر کمتر مورد توجه قرار گرفته است. برای نمونه، اکثر مدل‌های تحلیلی ارائه‌شده در یک فضای تحلیلی غیرپویا و با تمرکز بر روابط محدود مابین متغیرهای اندک تحت بررسی بوده است (اعتمادی فرد و همکاران، ۱۴۰۰). این در حالی است که تحلیل ارزش‌گذاری فناوری با لحاظ نمودن روابط پیچیده و علی مابین متغیرهای بازیگر و وجود بازخوردهای ممکن در پی روابط مورد بررسی در قالب یک سیستم تحلیل پویا ممکن است. از این‌رو در این پژوهش، اقدام به توسعه مدل ارزیابی در قالب یک سیستم پویا مبتنی بر یافته‌های ادبیات موضوع و نظات خبرگان شده است. علاوه بر آن، در راستای ارتقای شرایط تصمیم‌سازی مبتنی بر مدل شبیه‌سازی پویا، از یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی راهبردهای ارزش‌گذاری مبتنی بر نتایج مدل به صورت یکپارچه بهره گرفته شده است.

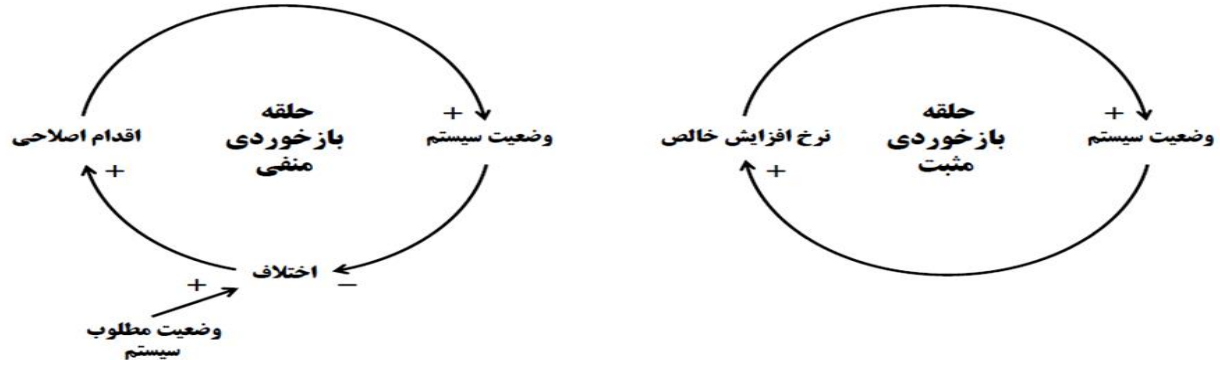
۳- روش‌شناسی

مفهوم پویایی یک سیستم بر پایه تفکر نظام‌مند طراحی شده و توانسته است به عنوان ابزاری توانمند و کارا برای درک مسائل پیچیده در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد. بهره‌گیری از این روش تحلیل مبتین بر شبیه‌سازی پیوسته پیشامد، نیازمند آن است که ساختار سیستم تحت بررسی با استفاده از حلقه‌های علی- معلولی و در ادامه با نمودار جریان متشکل از متغیرهای حالت و نرخ ترسیم و طراحی شود. در حال حاضر، از جمله روش‌های شبیه‌سازی کارا و مورد استقبال برای تحلیل سیستم‌های پیچیده در طی یک دوره برنامه‌ریزی، مدل پویایی سیستم است (جان و شین، ۲۰۱۴). مدل پویایی سیستم بر پایه رویکرد تحلیل سیستم‌ها و تفکر سیستمی، نوعی از سیستم‌های شبیه‌سازی است که رفتار سیستم را در طی زمان، بسته به ساختار عناصر سیستم و روابط متقابل آن‌ها، از جمله روابط علی و معلولی، بازخوردهای همراه با تاخیر زمانی و بعضا غیرخطی تجزیه و تحلیل می‌کند (وانگ، ۲۰۱۸). رویکرد تحلیل سیستم‌های پویا این امکان را فراهم می‌سازد تا مطالعه رفتار فعلی و آینده سیستم‌ها در طی زمان، ارزیابی حلقه‌های بازخورد داخلی و تأخیرهای زمانی که به میزان مهمی بر رفتار کلی سیستم تأثیر می‌گذارند میسر شود (بریانوتال، ۲۰۱۰). با توجه به ساختارهای موجود در سیستم‌ها و پیچیدگی‌های معمول آن‌ها نیاز است تا از نرم‌افزارهای توانمند برای مدل‌سازی و بررسی کامپیوتری استفاده شود (مورسیلو، ۲۰۱۸).

از نظر رفتار، حلقه‌های علی و معلولی شناسایی شده دارای عملکرد رشد مثبت، منفی و متعادل خواهند بود. حلقه با رشد منفی دارای رفتار هدف‌جو در سیستم است که تلاش

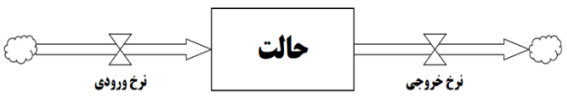
1 Activity
2 Constraint
3 Link
4 Scoring
5 Index

می‌کند سیستم را به یک حالت تعادل میل دهد. حلقه با رفتار رشد مثبت نیز یک حلقه تقویتی است و موجب رفتار با سرعت رشد نمایی یا کاهش با سرعت رشد نمایی خواهد شد. حضور این ساختارهای بازخوردی، موجب ایجاد شکل رفتارهای پویا و پیچیده در سیستم می‌شود (شکل ۱).

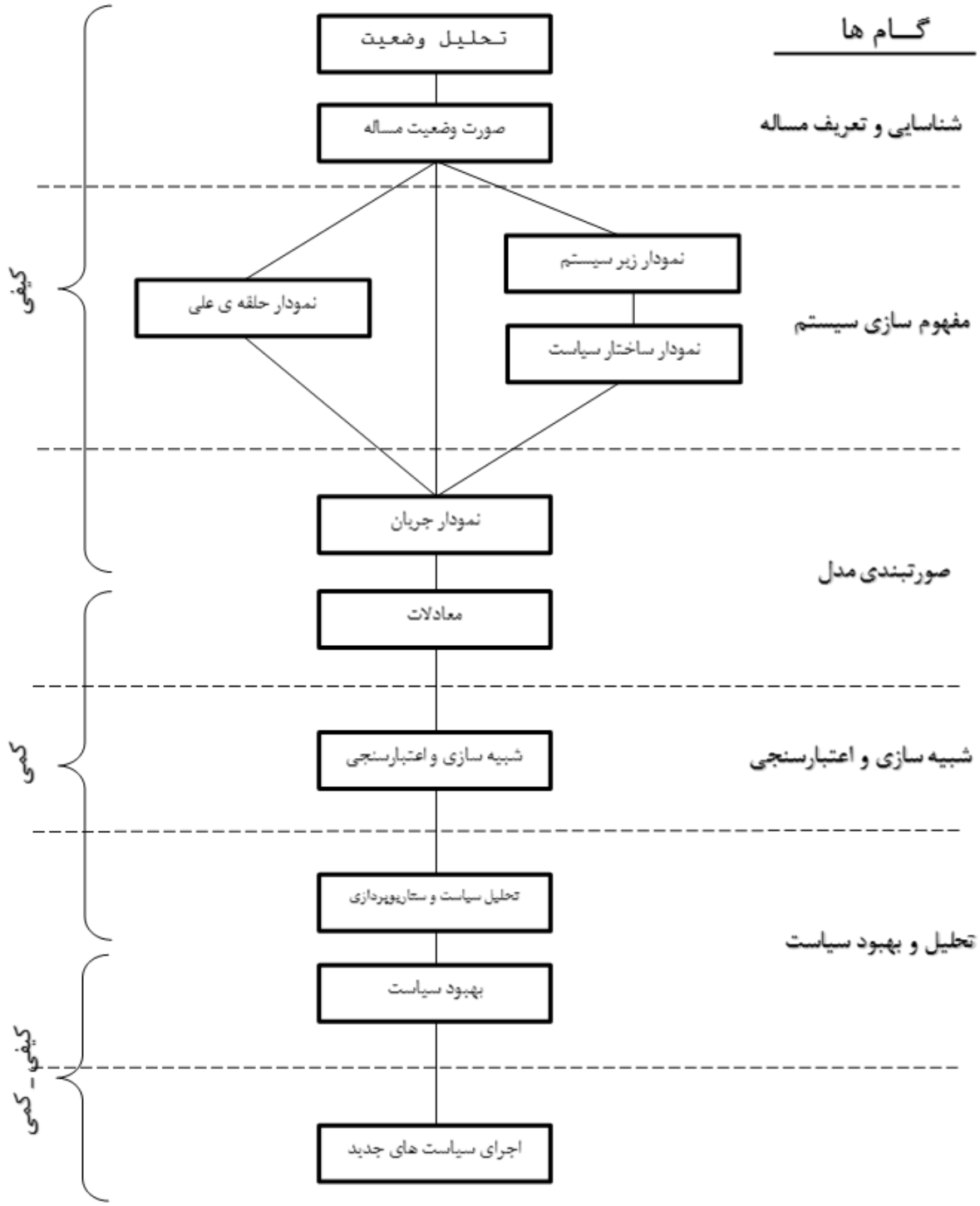


شکل ۱. حلقه‌های بازخوردی مثبت و منفی

نمایش ساختار کلی سیستم بر پایه حلقه‌های علی و معلولی ایجاد شده به منظور گام ابتدایی فرایند مدل‌سازی بسیار مفید است. این در حالی است که برای درک بهتر سیستم از ساختار متشکل از روابط مابین متغیرها، تحلیل‌گران از متغیرهای حالت و جریان بهره می‌گیرند (شکل ۲). وضعیت سیستم در یک مقطع زمانی معین توسط متغیر حالت نمایش داده می‌شود و دربرگیرنده انباشتگی ایجاد شده در سیستم است. حضور متغیر حالت در سیستم منجر به شکل‌گیری تأخیر می‌شود. این در حالی است که متغیر نرخ، نشان‌دهنده شدت جریان وارد شوند به و خارج شونده از متغیر حالت است.



شکل ۲. ساختار عمومی متغیرهای حالت و نرخ



شکل ۳. نمایی کلی از پیاده‌سازی روش تحلیل ترکیبی مبتنی بر تحلیل سیستم پویا و تصمیم‌گیری چندمعیاره

۳-۱- گام یک: شناسایی و تعریف مسئله

تعریف مسئله همان گام نخست و در عین حال کلیدی در فرایند مدل‌سازی مساله است. گام آغازین در حل مسئله با استفاده از رویکرد تحلیل سیستم‌های پویا مدل پویایی عبارت است از شناخت و تعریف مسئله. برای این منظور نیاز است تا ماهیت مسئله به نحو کامل مشخص شود و دریافته شود که چرا مشکل تحت بررسی پیش آمده است و هدف از بیان مسئله مرتبط با مشکل شناسایی شده از سوی مخاطب چیست (استرمن، ۲۰۰۰).

۳-۲- گام دو: توسعه فرضیه‌های پویا

پس از نعین شدن مسئله، می‌بایست فرضیه مورد بررسی توسعه یابد که فرضیهٔ پویا نامیده می‌شود. دلیل نامگذاری پویای آن اشاره به توصیفی دارد که نیاز است تا از ماهیت پویای مسئله در ساختار حلقه‌های علی و معلولی و بازخوردهای ایجاد شده ارائه شود.

۳-۳- گام سه: مدل‌سازی پویای مدل

مدل‌سازی پویای یک مدل مفهومی قادر است تا درک‌های متنوعی را حتی پیش از بکارگیری شبیه‌سازی برای تحلیلگر به همراه داشته باشد. مدل‌سازی پویا تسهیل می‌کند تا مفهوم‌های مبهم شناسایی شده و درک مطلوبی از کل سیستم حاصل شود.

۳-۴- گام چهارم: اعتبارسنجی مدل

برای ارزیابی اعتبار مدل پویای توسعه یافته، آزمون‌های گوناگونی به منظور کسب اطمینان لازم از اعتبار و قابلیت اعتماد مدل انجام می‌شود که برخی از مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: (۱) آزمون مرز مدل: بررسی قرار گرفتن مفاهیم و متغیرهای کلید در ارتباط با موضوع درون مرز مدل و تعریف به صورت درون‌زا (۲) آزمون ساختار مدل: بررسی انطباق ساختار مدل با دانش در دسترس پیرامون سیستم (۳) آزمون تناسب ابعاد: بررسی تناسب لازم ابعاد تعریف شده در معادلات (۴) آزمون وضعیت حدّی: حفظ معنادار بودن رفتار مدل با تغییر قابل‌توجه در ورودی‌های مدل برای نمونه سطح موجودی جریان در حال تولید تحت هیچ شرایطی نمی‌توانند منفی باشد (۵) آزمون بازتولید رفتار: بازتولید رفتار سیستم واقعی تحت بررسی توسط مدل.

۳-۵-گام پنجم: تجزیه و تحلیل سناریوها و ارزیابی نتایج

پس از کسب اطمینان از اعتبار ساختار مدل و رفتار ایجادشده، نیاز است تا سناریوهای ایجاد بهبود در عملکرد مدل، طراحی و نتایج حاصل از پیاده‌سازی آن‌ها تجزیه و تحلیل شوند. مدل پیاده‌سازی شده در نرم‌افزار با در نظر گرفتن دوره شبیه‌سازی اجرا خواهد شد و رفتار تمامی متغیرها در طی دوره تحت بررسی تحلیل خواهد شد. برای ای منظور از نرم‌افزار شبیه‌سازی ونسیم استفاده شده است. ونسیم با حل پی در پی مجوعه معادلات دیفرانسیل حاضر در سیستم پویا با روش تفاضل‌های محدود، رفتار سیستم مورد مطالعه در طی دوره برنامه‌ریزی بررسی می‌شود. در این گام با در نظر گرفتن رفتار سیستم و افق زمانی مدنظر، شاخص‌های مناسب برای تحلیل حساسیت، ارائه راهکارها و سناریوها ارایه خواهد شد. در ادامه نیز است تا ارایه پاسخ به سوالات اصلی و فرعی با توجه به نتایج حاصل از تحلیل سناریوها انجام شود. پس از ساخت نمودار حلقه‌های علّی و معلولی بر پایه مدل ذهنی و در ادامه توسعه نمودارهای انباشت و جریان و مدلسازی آن‌ها، مدل تحلیل پویای قابل پیاده‌سازی در نرم‌افزار شبیه‌سازی است. در فرایند شبیه‌سازی مجموعه معادلات ریاضی و مقادیر هر یک از پارامترها به عنوان ورودی در نظر گرفته شده و در ادامه تجزیه‌وتحلیل‌های مدنظر بر روی مدل اعمال و نتایج ثبت می‌شوند.

۳-۶- گام ششم: رتبه‌بندی با استفاده از روش تاپسیس

روش تاپسیس از جمله روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره کارا است که رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها را ارایه می‌کند. تاپسیس از دو مفهوم "حل ایده‌آل" و "نزدیکی به حل ایده‌آل" بهره می‌گیرد. برای سنجش نزدیکی یک گزینه (راهبرد) به حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، فاصله آن گزینه از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل اندازه‌گیری است. سپس گزینه‌ها بر اساس نسبت فاصله از حل ضد ایده‌آل به مجموع فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل ارزیابی و رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها ارایه خواهد شد.

۴- یافته‌های پژوهش

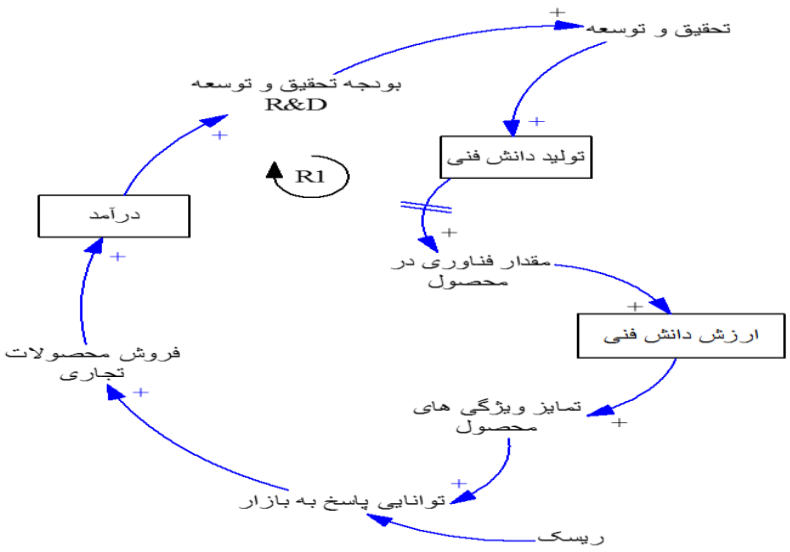
مبنا و پایه پژوهش حاضر با استفاده از تحلیل سیستم-های پویا بوده و اطلاعات حاصل از پیاده‌سازی مدل شبیه‌سازی، مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای ارزیابی خواهند شد. صنعت تولید ظروف تفلون مسئله مورد بررسی است. مجموعه خبرگان بر اساس نوع ارتباط با ارزش‌گذاری فناوری برگزیده شده‌اند. فناوری تولید ظروف تفلون تحت استانداردهای روز صنعت مربوطه مورد بررسی قرار گرفته است. شایان ذکر است که سه مولفه کلیدی پیچیدگی دانش فناوری (ساده، متوسط و پیشرفته)، ریسک و عمر فناوری در مدل توسعه یافته و سناریوهای تحلیل شده مدنظر قرار گرفته است. به منظور جمع‌آوری اطلاعات از رویکرد مصاحبه باز با مدیران ارشد و میانی شرکت تک ظرف به عنوان موردمطالعه با هدف گردآوری اطلاعات تاریخی مرتبط با متغیرهای جریان و حالت تحقیق انجام شده است. شرکت تک ظرف به عنوان یکی از نخستین تولیدکنندگان ظروف تفلون در کشور از سال ۱۳۶۰ در این حوزه مشغول به فعالیت است. اطلاعات مرتبط با خبرگان پژوهش در جدول (۱) نمایش داده شده است. سپس، همراه با تجمیع یافته‌های حاصل از مصاحبه‌ها، اطلاعات آماری گردآوری شده و داده‌های حاصل از انجام تحقیقات میدانی، مجموعه اطلاعات مورد نیاز فراهم شده است. برای این منظور در فرایند مصاحبه، اقدام به معرفی و نمایش روابط علی و معلولی مابین متغیرهای حاضر در مرز سیستم تحت مطالعه مبتنی بر یافته‌های ادبیات موضوع به خبرگان شده است. سپس روابط معرفی شده برای این ارتباطات نیز به اطلاع خبرگان رسیده است. سپس از خبرگان پیرامون تایید حضور و نقش آفرینی متغیرهای ارایه شده و سپس معرفی متغیرهای جدید در صورت نیاز شده است. همچنین، تایید روابط مابین متغیرها و نیاز به اصلاح و به روزرسانی روابط از خبرگان در جلسه مصاحبه مورد سوال قرار گرفته است. شایان ذکر است در فرایند مصاحبه با نمایش نمودار کلی علی-معلولی مبتنی بر یافته های ادبیات موضوع به بیان سوالات پیرامون تمامی روابط ممکن پرداخته شده است و ساختار سوالات بدین صورت شکل گرفته است. نتیجه نهایی حاصل از مصاحبه‌ها که همان رابط علی-معلولی نهایی است را می‌توان در اشکال شماره ۴ الی ۷ مشاهده نمود.

جدول ۱. معرفی جامعه خبرگان پژوهش

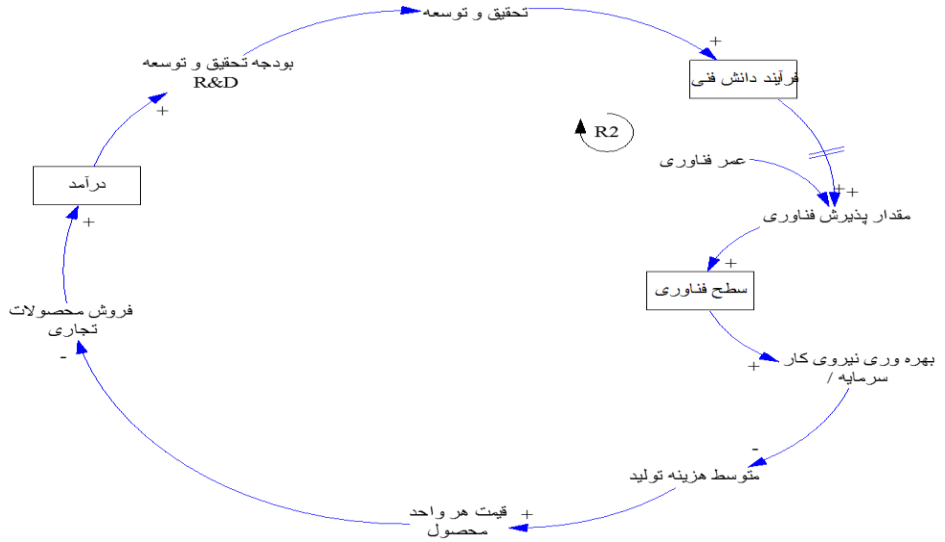
	سمت	تخصص	میزان سابقه
۱	مدیریت کارخانه	مدیریت	۴۰ سال
۲	مدیرعامل	مدیریت کارخانه و تولید	۴۰ سال
۳	مدیر فروش	مدیریت فروش و بازاریابی	۵ سال
۴	مدیر مالی	مدیریت مالی و حسابداری	۱۰ سال
۵	مدیرحسابداری	حسابداری	۱۵ سال
۶	مدیر تدارکات	مهندسی مکانیک	۳۰ سال
۷	مدیر تولید	مدیریت تولید	۵ سال
۸	مدیر کیفیت	مدیر کنترل کیفیت	۹ سال
۹	کارشناس تحقیق و توسعه	مهندسی مکانیک	۵ سال
۱۰	کارشناس تحقیق و توسعه	مهندسی مکانیک	۵ سال
۱۱	مشاور مدیریت کارخانه	دکتری مهندسی صنایع	۸ سال

سپس، مجموعه متغیرهای حالت، نرخ و کمکی با توجه به تعاریف مفهومی مربوطه و انطباق آن با متغیرهای مدنظر، تعیین شده‌اند. در طرح اولیه مدل براساس یافته‌های مطالعات پیشین، متغیرها و روابط مربوطه برای توسعه مدل آغازین شناسایی شده‌اند و ساختار مدل براساس آن‌ها توسعه داده شده است. در ادامه، مدل تحلیل پویا در مطالعه حاضر با بررسی عوامل تاثیرگذار بر ارزش‌گذاری فناوری در نرم‌افزار شبیه‌سازی ونسیم پیاده‌سازی شده است. و نسیم رفتار سیستم را در طی دوره شبیه‌سازی با حل تکراری دستگاه

معادلات دیفرانسیل حاضر در سیستم به روش تفاضل‌های محدود نمایش می‌دهد به نحوی که پس از اجرای مدل شبیه‌سازی، رفتار هر یک از متغیرهای تحت بررسی در قالب نمودارها و جداول قابل نمایش است. سیستم ارزش‌گذاری فناوری تحت بررسی وابسته است به مجموعه گسترده‌ای از عوامل تاثیرگذار بر فناوری و بازار که با یکدیگر مرتبط هستند. در مطالعه حاضر سه دسته متغیر کلیدی برای تحلیل عملکرد مبتنی بر سناریو انتخاب شده است که عبارتند از پیچیدگی دانش فناوری، ریسک و عمر فناوری. درنهایت با استفاده از ابزار تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس اقدام به ارزیابی و رتبه‌بندی سناریوها خواهد شد. بخشی از مدل پویای توسعه یافته در قالب حلقه‌های علی و معلولی و با تمرکز بر عوامل بازار در شکل (۴) نمایش داده شده است. شایان ذکر است که می‌بایست از صحت عملکرد مدل نیز اطمینان کسب شود که روش‌های گوناگونی برای آن ارایه شده است (استرمن، ۲۰۰۰). برای نمونه، ارزیابی جمعیت با استفاده از اطلاعات گذشته سیستم انجام شده نموده و سپس مقدار آن توسط سیستم نیز ارزیابی می‌شود. در صورت عدم تفاوت معنادار مقدار برآوردشده با اطلاعات واقعی، مدل شبیه‌سازی از اعتبار مکفی برخوردار است (ونگ و همکاران، ۲۰۱۸). بر آن اساس که از مفهوم نوآوری بدین معنا یاد می‌شود که عامل تغییرات بنیادی و تبدیل سیستم-های فناوری حاضر به تحول یافته است، درنتیجه نوآوری بنیادی بواسطه فعالیت‌های تحقیق و توسعه سیستماتیک تحت عدم قطعیت و ناپیوستگی‌های فناورانه بر پایه دانش موجود و با استفاده از رشد سرمایه‌گذاری در حوزه تحقیق و توسعه انجام می‌شود. پیچیدگی فناورانه و تنوع محصول‌ها ارزیابی شده بواسطه جمع‌آوری دانش برای ارزیابی فناوری بکار رفته در محصولات، سطح ارزش دانش فنی سازمان را ارتقا خواهد داد. علاوه بر آن، اقدام یادشده منجر به ارتقای نیاز مشتریان به محصولات جدید خواهد شد که به رشد فروش محصول در دوره تجاری‌سازی ختم می‌شود. سود کسب شده از رشد فروش به صورت مجدد در فعالیت‌های تحقیق و توسعه سازمان سرمایه‌گذاری خواهد شد (شکل ۴، حلقه R1). در ادامه بخش دیگری از مدل پویای توسعه یافته مبتنی بر حلقه‌های علی و معلولی با تمرکز بر عوامل فناورانه در شکل (۵) نمایش داده شده است.

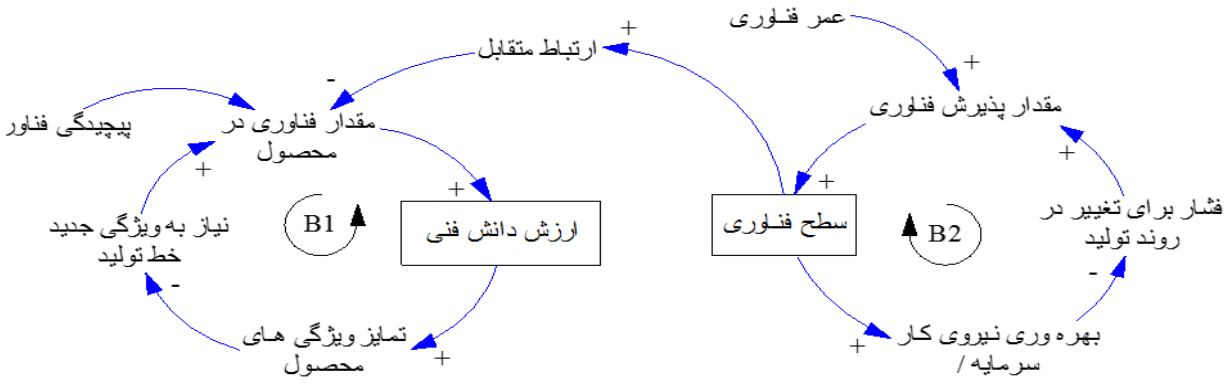


شکل ۴. نمودار علّی - حلقوی عوامل بازار



شکل ۵. نمودار علّی - معلولی عوامل فناوری

ارتقای سرمایه‌گذاری در حوزه تحقیق‌وتوسعه خواهد توانست فرایند توسعه فناوری‌های جدید مبتنی بر دانش فنی را تقویت کند. درنتیجه، رشد سرمایه‌گذاریبه منظور پذیرش فناوری جدید همراه با ارتقای بهره‌وری نیروی کار/ سرمایه، سبب خواهد شد تا متوسط هزینه برای تولید هر واحد محصول کاهش یابد و درنهایت تولید محصولات با قیمت کمتر انجام شود. این حلقه منجر به رشد بازار بالقوه محصولات و همچنین جذابیت آن برای جامعه مشتریان خواهد شد که درنهایت بهبود فروش و سود بالاتر و در نهایت رشد سرمایه‌گذاری در حوزه تحقیق و توسعه را به همراه دارد (شکل ۵، حلقه R2). به منظور مدیریت روابط مابین دانش فنی حاضر در محصول و فرایند توسعه دانش فنی با دو حلقه علی و معلولی خود اصلاحی به یکدیگر متصل شده‌اند که در شکل (۶) نمایش داده شده است.



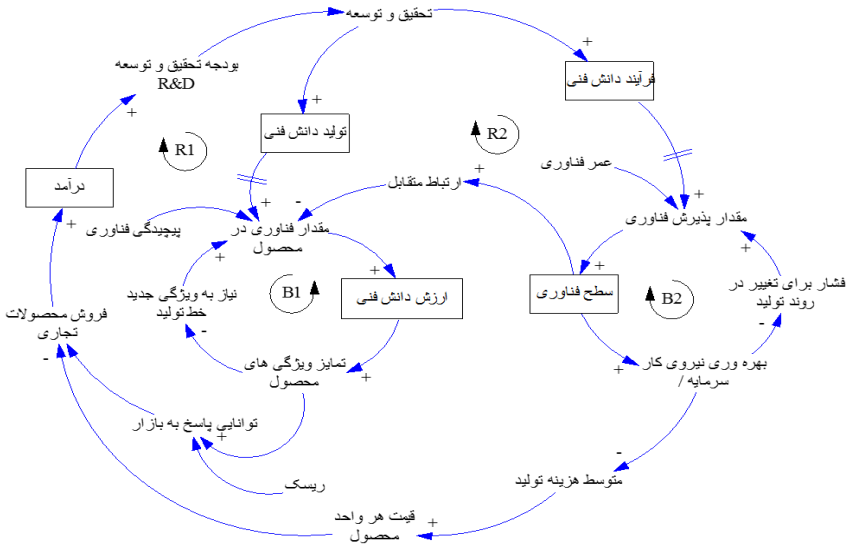
شکل ۶. حلقه‌های خود اصلاحی مدل ارزش‌گذاری فناوری

در حلقه علی و معلولی B1، رشد متغیر ارزش دانش فنی بواسطه فناوری حاضر در محصول، فشارها را به منظور استانداردسازی محصول و خدمت بر پایه طراحی غالب در حال ظهور افزایش خواهد داد. این روند اثرگذاری منجر به کاهش میل به دانش فنی در محصول جدید می‌شود. این پدیده سبب می‌شود تا از ارزش دانش فنی به سرعت کاسته شود. با توجه به وجود رابطه با بازخورد منفی شاهد آن هستیم که کل سیستم حلقه فناوری به یک سطح از هدف معین همگرا می‌شود. با گذر زمان، حلقه با حضور بازخورد منفی در سطح معینی از اهداف به ثبات می‌رسد (شکل ۶ ، حلقه B1). در حلقه B2، عواملی همچون بهره‌وری نیروی کار/ سرمایه که در فرایند دانش فنی به مرحله بلوغ خود رسیده، بواسطه حضور امکانات خاص و اتوماسیون فرایند تولید، مانع از بروز تغییرات جدید خواهد شد. در ادامه شاهد آن هستیم که فشار برای تغییر در روند تولید کاهش خواهد یافت و همچنین از سطح پذیرش فناوری در فرایند کاسته می‌شود. بواسطه نیاز به منطقی‌سازی فرایند که از جمله از عوامل ایجادکننده دانش فنی در فرایند است، کاسته می‌شود. این وضعیت حاکی از آن است که با توجه به مجموعه فرایندهای مرتبط، یعنی رابطه مابین فرایند دانش فنی حاضر و تولید دانش فنی، به یک بازه زمانی مشخص خواهند رسید، رابطه بازخورد منفی مابین دو فرایند حفظ خواهد شد که به خاطر کاهش یافتن میزان پذیرش فناوری در فرایند است (شکل ۶، حلقه B2).

) نمودار علی - حلقوی ارزش‌گذاری فناوری

در تحلیل سیستم‌های پویا علاوه بر قطبیت روابط مابین متغیرها، هر حلقه نیز دارای قطبیت (علامت مثبت یا منفی) است. یک حلقه متشکل از مجموعه بازخوردها دارای قطبیت مثبت است اگر دربرگیرنده تعداد زوج از بازخوردهای منفی باشد. همچنین، یک حلقه دارای قطبیت منفی است اگر دارای تعداد فرد از بازخوردهای منفی باشد. حلقه‌های علّی منفی و مثبت به ترتیب خود اصلاحی[1] و خود تقویتی[2] نامگذاری می‌شوند. متغیرها در حلقه‌های مثبت منجر به تقویت یکدیگر در طی زمان خواهند شد. این در حالی است که فرایندها در حلقه‌های علّی منفی، خود اصلاح، دارای تمایل به محدودکردن خود و رسیدن به تعادل هستند (استرمن، ۲۰۰۰).

در شکل (۴) نمودار تدوین شده علّی - حلقوی ارزش‌گذاری فناوری نشان داده شده، و در جدول (۲) حلقه‌ها و علایم آن‌ها نیز مشخص شده است.



شکل ۷. مدل علی - معلولی ارزش‌گذاری فناوری

1 Self-correcting
2 Self-reinforcing

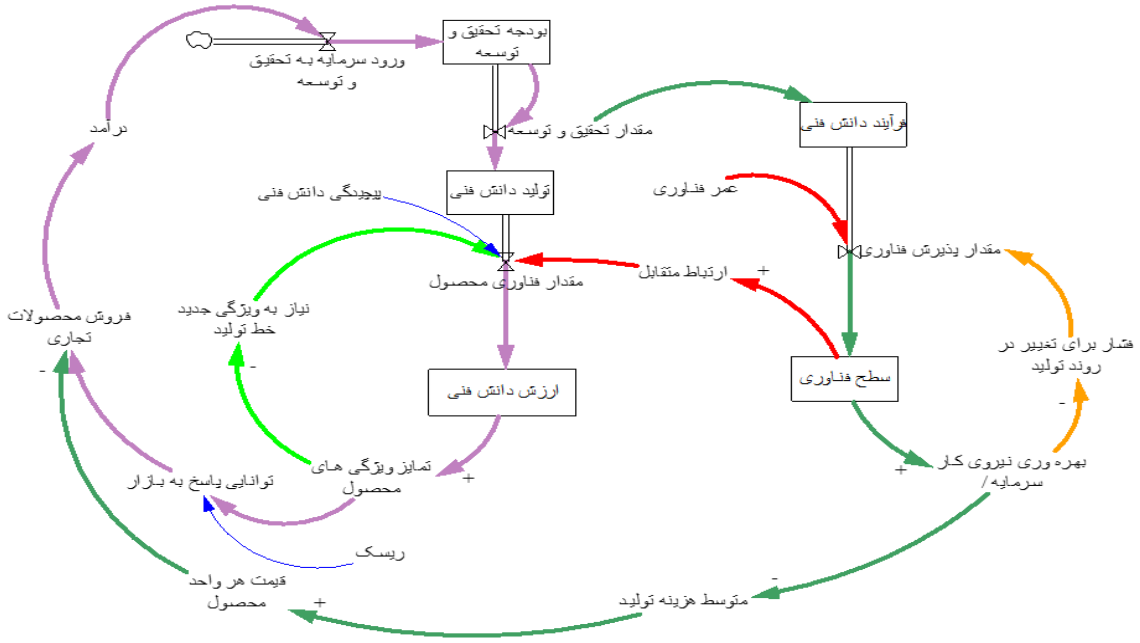
جدول ۲. مشخصات حلقه‌های ارزش‌گذاری فناوری در نمودار علّی و معلولی

نام حلقه	علامت حلقه	نوع حلقه
R1	مثبت	خود تقویتی
R2	مثبت	خود تقویتی
B1	منفی	خود اصلاحی
B2	منفی	خود اصلاحی

همراه با تجمیع نمودارها با قطبیت مثبت و منفی، نمودار علّی و معلولی ارزش‌گذاری فناوری ایجاد خواهد شد (شکل ۷). تمامی رابطه‌های مابین متغیرهای موجود در سیستم ارزش‌گذاری فناوری به همراه تأثیرات آن‌ها بر یکدیگر شناسایی شده‌اند (شکل ۷). مدل پیشنهادی دارای دو حلقه خود تقویتی و دو حلقه منفی از نوع خود اصلاحی است (جدول ۱). شایان ذکر است که عامل دارای اهمیت در طراحی سیستم‌ها آن است که طراح سعی تلاش می‌کند تا چندین حلقه منفی را داشته باشد. دلیل این امر در آن است که حلقه‌های منفی عمدتا از نوع حلقه‌های جستجوگر هدف و در عین حال قابل‌کنترل هستند (صمدی، ۱۳۸۲).

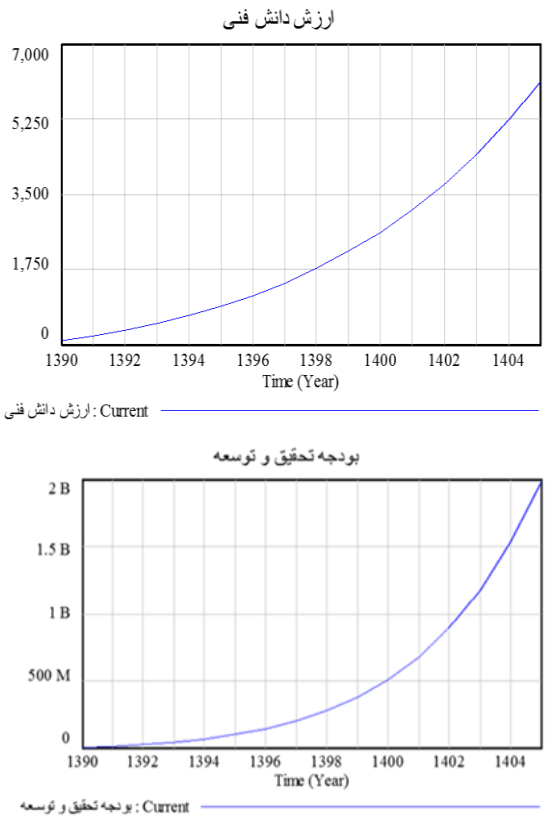
- نمودار حالت - جریان[1] ارزش‌گذاری دانش فنی

شود.از نمودارهای حالت - جریان برای نمایش علایم و جزئیات ساختار سیستم استفاده می‌شود که در آن متغیرهای حالت و نرخ به ترتیب با شکل مستطیل و فلش به عنوان نمادهای مخزن و شیر کنترل جریان نمایش داده می‌شوند. از نمودار جریان برای ایجاد مدل ریاضی دربرگیرنده روابط مابین متغیرهای مرتبط با مدل و انجام شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده می‌شود. نمودار حالت – جریان مرتبط با حلقه‌های ارزش‌گذاری فناوری شامل متغیرهای حالت، نرخ و کمکی در شکل ۸ نمایش داده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در نمودارهای شماره ۹ و ۱۰ نمایش داده شده است.



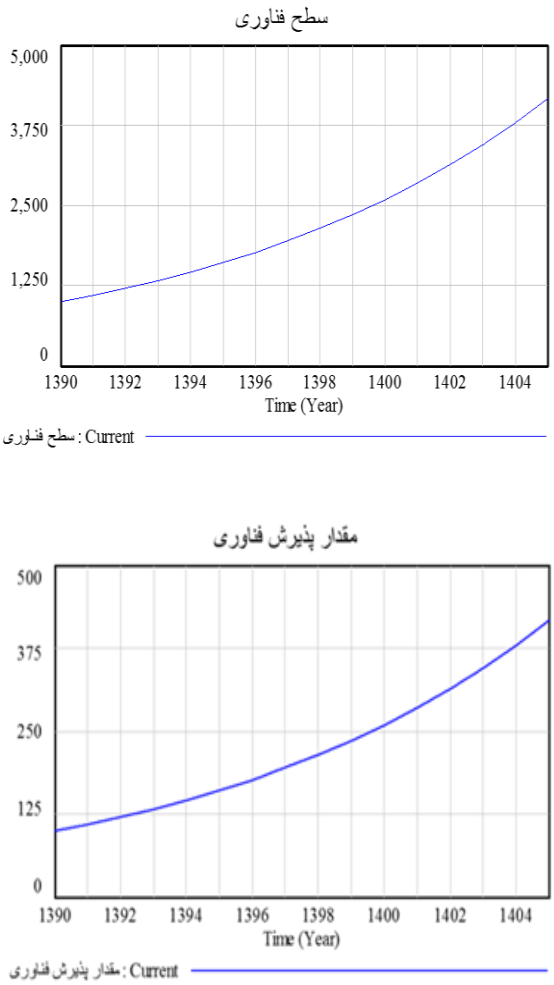
شکل ۸. نمودار حالت جریان ارزش‌گذاری فناوری

1 Stock and Flow Diagrams

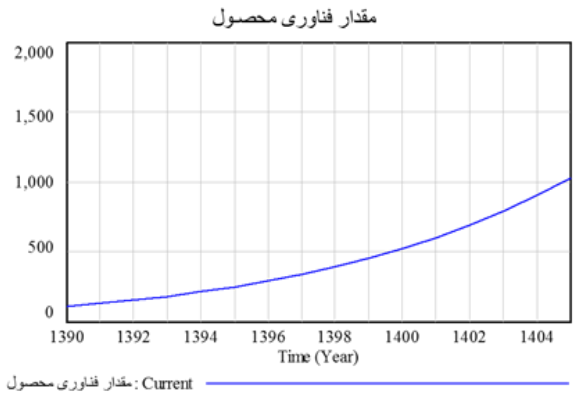


شکل ۹. رفتار ارزش دانش فنی و بودجه تحقیق و توسعه مبتنی بر نتایج شبیه‌سازی

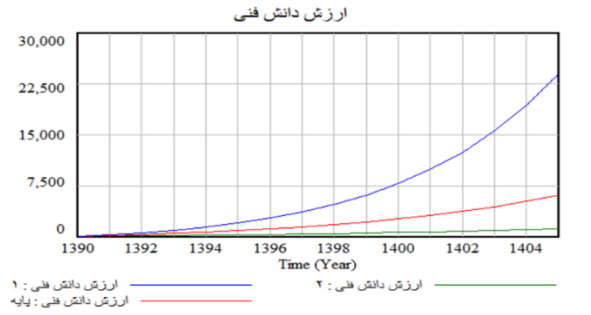
نتایج حاصل از شبیه‌سازی حاکی از آن است که نرخ فناوری محصول و بودجه تحقیق‌وتوسعه با شیب ملایم رشد خواهد داشت (شکل ۱۱). برای ارزیابی و تحلیل سیاست‌های مختلف مدیریتی بدین شکل اقدام می‌شود که مقدار تعدادی از متغیرهای برون‌زا با تاثیرگذاری مهم بر مدل تغییر داده خواهند شد و سپس اثرات آن‌ها بر عملکرد مدل ارزیابی می‌شود. میزان پیچیدگی دانش فنی در مدل پویای پیشنهادی به عنوان یک متغیر برون‌زا لحاظ شده است. در ادامه سه سیاست کلی را بررسی و نتایج مربوطه تحلیل خواهند شد (اشکال ۱۲ الی ۱۴). مطابق با انتظارات خبرگان، در پی افزایش و کاهش در متغیر پیچیدگی ارزش دانش فنی، متغیر کلیدی میزان بودجه تحقیق‌وتوسعه از سوی سازمان تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. متغیرهای تولید و ارزش دانش فنی نیز همانگونه که در مدل پویای توسعه یافته قابل ملاحظه است، تحت تأثیر متغیر میزان پیچیدگی دانش فنی است. با در نظر گرفتن سه سناریو تعریف شده برای شبیه‌سازی مدل حاضر، رفتارهای بعضا متفاوت ملاحظه شده است. در سناریو پایه، مدل پویای پیشنهادی در حالت واقعی و با توجه به روند تاریخی متغیرها در واقعیت تخمین زده شده و دیگر سناریوها تحت عناوین سناریو ۱ و سناریو ۲ نیز اجرا شده است. تحلیل کلی روند نتایج سناریوهای تحت بررسی در اشکال ذیل قابل ملاحظه است. در سناریو ۱، با رشد در مقدار متغیر میزان پیچیدگی دانش فناوری، تولید دانش فنی افزایش داشته است. در سناریو ۲، با کاهش میزان پیچیدگی دانش فنی، تولید دانش فنی کاهش می‌یابد.



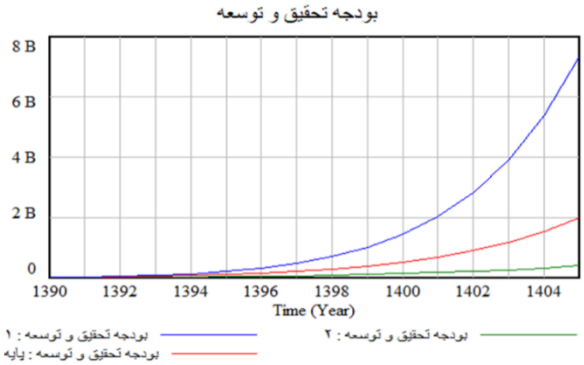
شکل ۱۰. رفتار سطح فناوری و مقدار پذیرش فناوری مبتنی بر نتایج شبیه‌سازی



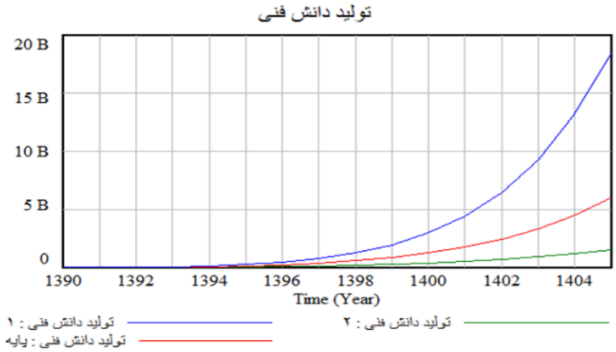
شکل ۱۱. رفتار مقدار فناوری محصول مبتنی بر نتایج شبیه‌سازی



شکل ۱۲. افزایش ارزش دانش فنی در سناریو ۱ و کاهش در سناریو ۲ نسبت به سناریو پایه



شکل ۱۳. افزایش بودجه تحقیق و توسعه در سناریو ۱ و کاهش در سناریو ۲ نسبت به سناریو پایه



شکل ۱۴. افزایش تولید دانش فنی در سناریو ۱ و کاهش در سناریو ۲ نسبت به سناریو پایه

- **تحلیل حساسیت مدل به روش تاپسیس**

برای تحلیل حساسیت عملکرد مدل پیشنهادی در برابر سناریوهای مختلف از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده خواهد شد. روش تاپسیس بدین پیاده‌سازی می‌شود که متغیر برون‌زا در مدل (پیچیدگی دانش فنی) را در نظر گرفته و تأثیر تغییرات این متغیرها را بر متغیرهای ارزش‌گذاری دانش فنی، تولید دانش فنی و بودجه تحقیق و توسعه در جدول (۲) آمده است.

- **اعتبارسنجی مدل**

به منظور کسب اطمینان از اعتبار نتایج و قابلیت اعتماد حاصل از پیاده‌سازی مدل از آزمون‌های متعددی استفاده خواهد شد که در ذیل بدان‌ها اشاره شده است. شایان ذکر است نتایج تمامی آزمون‌های اعتبارسنجی اعمال شده با استفاده از روش مصاحبه به تایید خبرگان پژوهش رسیده است.

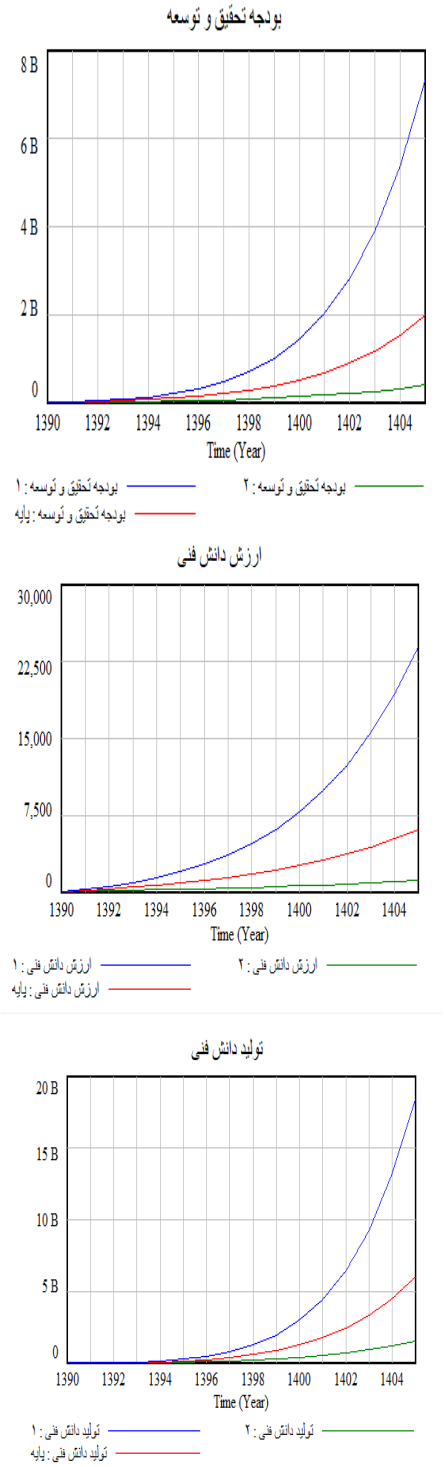
- آزمون مرز مدل: بررسی قرار گرفتن مفاهیم و متغیرهای کلیدیدر ارتباط با مساله درون مرز مدل طراحی‌شده و تعریف درون‌زایآن نسل به مدل.
- آزمون ساختار مدل: بررسی همخوانی ساختار مدل با دانشحاضر پیرامون سیستم.
- آزمون تناسب ابعاد: بررسی کیفیت تناسب بعدهای تعریف شده در معادلات.
- آزمون وضعیت حدّی: بررسی رفتار معنادار نتایج مدل حتی با ایجاد تغییر معنادار در ورودی‌های مدل.
- آزمون بازتولید رفتار: بررسی بازتولید رفتار واقعی توسط سیستم با در نظر گرفتن شرایط واقعی.

در حال کلی نمی‌توان مدلی را یافت که از انطباق کامل با واقعیت برخوردار باشد زیرا تمامی مدل‌ها در واقع یک تصویر ساده شده از دنیای واقعی بوده و با استفاده از روش‌های گوناگون ساده و محدود شده است. از این‌رو بررسی اعتبار یک مدل به‌صورت نسبی بوده و عملکرد حاصل با هدف مدنظر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این مطالعه دو روش ذیل برای ارزیابی اعتبار مدل بکارگرفته شده است و نتایج حاصل از آن به تایید نظر خبرگان رسیده است.

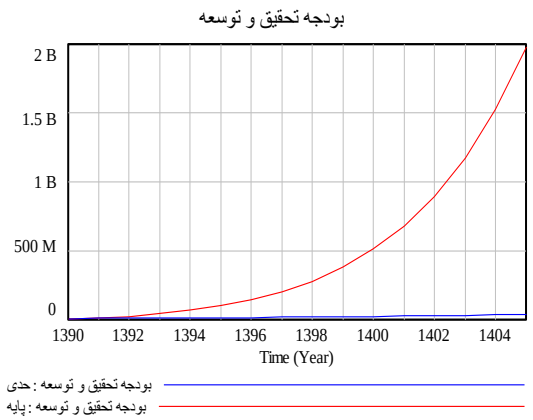
الف) ارزیابی ساختار مدل و انطباق ساختار مدل با دانش کسب شده از سیستم بررسی خواهد شد. برای این منظور، بررسی همخوانی مدل طراحی شده با نتایج حاصل از مبانی نظری و ادبیات موضوع انجام خواهد شد. با استفاده از این رویکرد می‌توان به بررسی اعتبار مدل شبیه‌سازی متناسب با واقعیت و دریافت نتایج معقول با طراحی سناریوهای مدنظر و انطباق با واقعیت موجود پرداخت. براساس نتایج حاصل از مرور ادبیات و مبانی نظری مشاهده شده است که با افزایش پیچیدگی دانش فنی شاهد رشد بودجه تحقیق‌وتوسعه و ارزش دانش فنی خواهیم بود. این چرخه درنهایت رشد تولید دانش فنی را به همراه دارد که نتایج مدل همگی موارد یادشده را تایید می‌کند (شکل ۱۵).

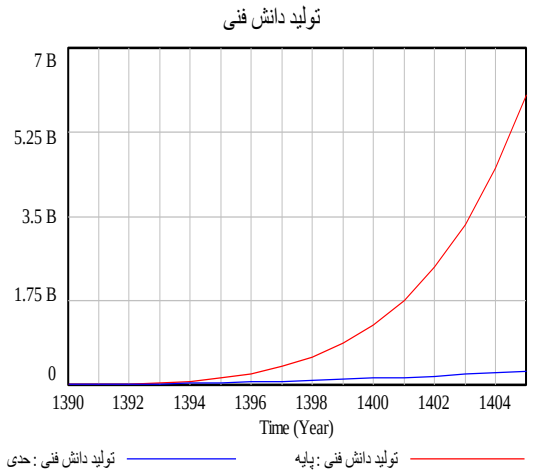
ب) بررسی رفتار مدل شبیه‌سازی در شرایط حدی و مقدار گرفتن پارامترهای کلیدی در مرز تعریف شده و کسب نتایج معقول و متناسب با واقعیت نیز انجام شده است. اگرچه شاید در فضای واقعی تصمیم‌گیری شاهد عدم وقوع شرایط حدی باشیم، اما هدف از این آزمون کسب اطمینان از رفتار منطقی مدل در حالت کلی و عدم تغییر در ماهیت متغیرها حتی در شرایط حدی است. برای این منظور، میزان پیچیدگی دانش فنی در حالت مرزی مقدار گرفته و نتایج حاصل از پیاده‌سازی سناریوها با رفتارهای مورد انتظار طبق مبانی نظری انطباق داشته است. مبتنی بر یافته‌های حاصل از مبانی نظری و با در نظر گرفتن روابط منطقی میان متغیرها و رفتارهای مورد انتظار با کاسته شدن از میزان پیچیدگی دانش فنی و میل آن به شرایط مرزی (مقدار صفر برای متغیر پیچیدگی دانش فنی)، میزان بودجه تحقیق و توسعه، تولید دانش فنی و ارزش دانش فنی به شدت کاسته شده اما مقدار آن غیرمعنادار نظیر مقدار منفی نشده است.

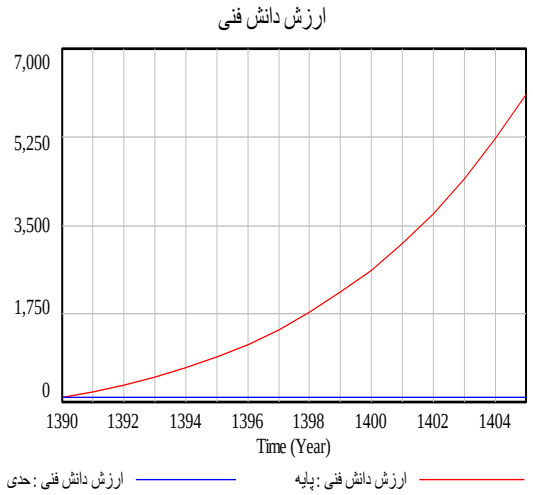
با در نظر گرفتن نتایج دو آزمون یادشده می‌توان اعتبار نتایج حاصل از حل مدل شبیه‌سازی را تایید نمود.



شکل ۱۵. رفتار بودجه تحقیق و توسعه، ارزش دانش فنی و تولید دانش فنی مبتنی بر نتایج شبیه‌سازی







شکل ۱۶. رفتار بودجه تحقیق و توسعه، تولید دانش فنی و ارزش دانش فنی مبتنی بر نتایج شبیه‌سازی

- **رتبه‌بندی با استفاده از روش تاپسیس**

- به منظور ارزیابی عملکرد سناریوهای مدیریتی طراحی شده مبتنی بر پیچیدگی دانش فناوری، ریسک و عمر فناوری از معیارهای ارزیابی کلیدی مبتنی بر متغیرهای شناسایی شده در مدل شامل بودجه تحقیق و توسعه، سطح فناوری در محصول، درآمد و تولید دانش فنی پیاده‌سازی شده در روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس استفاده شده است. گام‌های اجرایی روش تاپسیس به شرح ذیل است:

- **تشکیل ماتریس تصمیم:** در گام نخست اقدام به ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری خواهد شد که در برگیرنده معیارها در ستون‌ها و گزینه‌ها در سطرها است. در هر سلول ماتریس مقدار ارزیابی انجام شده برای هر گزینه نسبت به هر یک از معیار تصمیم‌گیری نمایش داده شده است. تکمیل ماتریس تصمیم مبتنی بر نظرات خبرگان برای تمامی معیارهای کمی و کیفی است. ماتریس تصمیم توسعه داده شده شامل گزینه اول (افزایش پیچیدگی دانش فنی)، گزینه دوم (پایه پیچیدگی دانش فنی) و گزینه سوم (کاهش پیچیدگی دانش فنی) است. همچنین معیارها در ماتریس تصمیم‌گیری عبارتند از ولید دانش فنی، بودجه تحقیق و توسعه و ارزش‌گذاری دانش فنی است که مقدار آن‌ها پس از پیاده‌سازی مدل شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار ونسیم تعیین خواهد شد (جدول ۳). نتایج حاکی از آن است که با رشد، و کاسته شدن و مقدارگیری در حالت نرمال متغیر پیچیدگی دانش فنی، دیگر متغیرهای کلیدی ارزش دانش فنی، تولید دانش فنی و بودجه تحقیق و توسعه تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. همچنین، با رشد و کاسته شدن از پیچیدگی دانش فنی، دیگر معیارها نیز رفتار صعودی و نزولی نشان خواهند داد.

جدول ۳. ماتریس تصمیم

راهبرد	بودجه تحقیق و توسعه	تولید دانش فنی	ارزش‌گذاری دانش فنی
A1	۱۵۰۰	۲۵۰۰	۵۶۸۰
A2	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۳۸۴۰
A3	۹۰۰	۱۸۰۰	۲۲۶۸

بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم (نرمال‌سازی ماتریس تصمیم): برای بی‌مقیاس‌سازی از روش نرم استفاده می‌شود بدین نحو که هر درایه بر جذر مجموع مربعات درایه‌های ستون مربوط به آن معیار تقسیم خواهد شد (جدول ۴).

جدول ۴. نرمال‌سازی ماتریس تصمیم

راهبرد	بودجه تحقیق و توسعه	تولید دانش فنی	ارزش‌گذاری دانش فنی
A1	۰/۷۴۴	۰/۶۸۰	۰/۷۸۶
A2	۰/۴۹۶	۰/۵۴۴	۰/۵۳۱
A3	۰/۴۴۶	۰/۴۹۰	۰/۳۱۴

تعیین بردار وزن و تعیین ماتریس بی مقیاس وزن‌دار: نیاز است تا وزن معیارها که از روش تحلیل سلسله مراتبی حاصل گشته در ماتریس نرمال ضرب شود تا ماتریس وزن‌دار حاصل شود. ژن‌های حاصل از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و ماتریس بی مقیاس وزن‌دار به ترتیب در جداول (۵) و (۶) نمایش داده شده است.

جدول ۵. وزن نهایی معیارهای ارزیابی راهبردها

معیار	وزن
W1	۰/۷۳۶
W2	۰/۵۲۳
W3	۰/۴۱۶

در این مرحله وزن معیارها را در ماتریس نرمال ضرب می‌کنیم.

جدول ۶. ماتریس بی مقیاس وزن‌دار

راهبرد	بودجه تحقیق و توسعه	تولید دانش فنی	ارزش‌گذاری دانش فنی
A1	۰/۵۴۷	۰/۵۰۰	۰/۵۷۸
A2	۰/۲۵۹	۰/۲۵۴	۰/۲۷۷
A3	۰/۱۸۵	۰/۲۰۳	۰/۱۳۰

یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل: یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل: برای هر یک از معیارهای ارزیابی یک مقدار ایده‌آل مثبت (S^+) و منفی (S^-) تعیین خواهد شد. برای معیارهای ارزیابی مثبت (منفی) مقدار ایده‌آل مثبت می‌تواند بزرگ‌ترین (کوچکترین) مقدار ممکن برای آن باشد (جدول ۷).

جدول ۷. ایده‌آل و ضد ایده‌آل

	بودجه تحقیق و توسعه	تولید دانش فنی	ارزش‌گذاری دانش فنی
حل ایده‌آل (S^+)	۰/۵۴۷	۰/۵۰۰	۰/۵۷۸
حل ضد ایده‌آل(S^-)	۰/۱۸۵	۰/۲۰۳	۰/۱۳۰

محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل: مقدار نزدیکی نسبی برای هر گزینه تصمیم‌گیری به راه‌حل ایده‌آل محاسبه خواهد شد.

رتبه‌بندی نهایی: شاخص شباهت مابین صفر و یک مقدار خواهد گرفت. نزدیکی بیشتر به یک نشان‌دهنده نزدیکی راه‌کار به جواب ایده‌آل و بهتری بودن آن است. پس از تعیین مقدار فاصله از راه‌حل‌های ایده‌آل و ضد ایده‌آل و تعیین شاخص شباهت، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها به شرح ذیل است: A3< A2< A1. براساس نتایج حاصل از روش تاپسیس، متغیر افزایش پیچیدگی دانش فنی درجه نخست اهمیت را به خود اختصاص داده است. بر این اساس، با افزایش پیچیدگی دانش فنی، در ادامه شاهد افزایش بودجه تحقیق و توسعه، تولید دانش فنی و ارزش دانش فنی خواهیم بود.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

یکی از دلایل کلیدی برای مساله تعیین ارزش فناوری بر آن تاکید دارد که نتیجه حاصل از مجموعه فرایندهای تحقیق‌وتوسعه فناوری دارای ارزشی باشد که بتواند منافع گوناگونی را برای صلحب امتیاز به منظور بکارگیری در کسب‌وکار و یا واگذاری حق امتیاز به دیگران به همراه داشته باشد. در این صورت بکارگیری فناوری منجر به خلق ثروت پایدار می‌شود و میزان ثروت حاصل را ارزش فناوری می‌نامند. برآورد ارزش و قیمت عرضه فناوری از جمله اساسی‌ترین مراحل در تمامی پروژه‌های استراتژیک انتقال فناوری است که همواره مورد تاکید برنامه‌ریزان و مدیران

بوده است. اگرچه نقش‌آفرینی مجموعه‌ای از متغیرهای تاثیرگذار بر روابط علی-معلولی گوناگون و بازخوردهای همراه با تأخیر در طی زمان سبب می‌شود تا بر پیچیدگی ذاتی مساله تحلیل و ارزیابی ارزش فناوری اضافه شود. از این‌رو، تحلیل و ارزیابی سیستم ارزش‌گذاری فناوری در قالب یک سیستم استاتیک همراه با محدودیت‌های متعددی است. از این‌رو اجرای این تحلیل در قالب یک سیستم پویا مورد نیاز است.

در پژوهش حاضر در ابتدا یک مدل علّی-معلولی کارا برای تحلیل ارزش‌گذاری دانش فنی در قالب یک سیستم پویا ارایه شده است. برای پیاده‌سازی مدل شبیه‌سازی از نمودارهای جریان در نرم افزار ونسیم برای دوره زمانی مدنظر استفاده شده است. در پایان، ارزیابی راهبردهای پیشنهادی ارزش‌گذاری با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی مبتنی بر تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس انجام شده است. نتایج حاصل از پژوهش در قالب ذیل ارایه شده است:

- پیشنهاد برای صنعت: بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی ملاحظه می‌گردد که با افزایش بودجه تحقیق و توسعه در طی دوره برنامه‌ریزی، رفتار رشد متغیرهای تولید دانش فنی و ارزش دانش فنی به‌صورت نمایی خواهد بود. همچنین، با افزایش سطح پذیرش فناوری در طی دوره برنامه‌ریزی، سطح فناوری افزایش‌یافته و با کاهش متوسط هزینه تولید به کاهش قیمت هر واحد محصول منجر می‌شود و رقابت‌پذیری و جذابیت محصول بیشتر خواهد شد. علاوه بر آن، افزایش بودجه تحقیق و توسعه به‌صورت رشد نمایی در طی بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۵ خواهد بود که علت این رفتار را می‌توان در نقش‌آفرینی متغیرهای بهره‌وری نیروی کار و سرمایه و نرخ دانش فنی بکار گرفته شده در محصول جستجو کرد. از این‌رو، تمرکز بر افزایش سهم بودجه تحقیق و توسعه و رشد پایدار آن در طی دوره برنامه‌ریزی کلیدی است.
- پیشنهاد برای سیاستگذاران صنعت: در این پژوهش، راهبردهای ارزش‌گذاری مبتنی بر نظرات خبرگان معرفی و ارزیابی شده است. برای نمونه، در یک سناریو پیاده‌سازی شده در مدل شبیه‌سازی، مقدار پیچیدگی دانش فنی برای بودجه تحقیق و توسعه و ارزش دانش فنی و تولید دانش فنی بررسی شده است که افزایش (کاهش) میزان پیچیدگی فناوری باعث افزایش (کاهش) متغیرهای کلیدی همچون تولید دانش فنی شده است. از این رو، نقش پیچیدگی فنی و ارتباط آن با سایر متغیرها در ارزش‌گاری فناوری کلیدی است. برای اعتبارسنجی مدل ایجاد شده از آزمون‌های واقعیت‌سنجی، آزمون حساسیت استفاده شده است که این آزمون‌ها اعتبار مدل را در حد مطلوب تأیید می‌کنند.
- پیشنهاد برای پژوهشگران و متخصصین: نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل شبیه‌سازی حاکی از آن است که ارزش یک فناوری به شدت وابسته به شرایط زمانی، مکانی و محیطی فناوری موردنظر است. از این‌رو، توسعه مدل پویایی پیشنهادی در صنایع دیگر همچون صنعت فناوری اطلاعات و الکترونیک با دوره عمر کوتاه فناوری پیشنهاد می‌گردد. علاوه بر آن، تأثیر فضای رقابتی و رفتار رقبا در تصمیمات سازمان پیرامون ارزش‌گذاری فناوری به ویژه در کسب‌وکارهای نوپا و با ریسک فعالیت بالا می‌تواند مدنظر قرار گیرند.

منابع

۱. اسحاقیان، زهرا، یزدانی، حمیدرضا، جعفری، سید محمدباقر (۱۴۰۱). شناسایی و اولویت بندی مولفه های نوآوری مدل کسب وکار به روش فراترکیب و آنتروپی شانون، فصلنامه نوآوری و ارزش آفرینی، ۱۰ (۲۰)، ۷۵-۹۴.

اعتمادی‌فرد علی، طبائیان، سیدکمال، پیله‌وری، نازنین، ۲. خمسه، عباس (۱۴۰۰). طراحی مدل توسعه یکپارچه نوآوری خدمات بانکداری الکترونیک براساس قابلیت‌های پویا با استفاده از میکمک فازی، فصلنامه نوآوری و ارزش‌آفرینی. ۱۰ (۲۰)، ۱۴۷-۱۶۶.

۳. بندریان، مهدی؛ بندریان، رضا بنـدریان (۱۳۹۲). تعیـین عوامل مؤثر بر ارزش نوآوری‌های فناورانه فرایندی در صنعت نفت با استفاده از تکنیک حـداقل مربعـات جزئـی. فصـلنامه نوآوری و ارزش‌آفرینی. ۱(۳)، ۸۹-۱۰۱.

۴. حاجی حیدری، نسترن؛ صاحب، طیبـه؛ واسـعی، مرتضـی (۱۳۹۰). پیشـنهاد شـیوه مناسـب ارزش‌گـذاری فنـی بـا موردکاوی یک سازمان توسعه‌ای. اقتصاد و تجارت نـوین، ۷، ۷۳-۹۶.

۵. صمدی، علی (۱۳۸۲). میزان اشتغال‌زایی و بهینه‌سازی سیاست‌های حمایتی جذب توریست: مطالعه موردی استان فارس. شیراز: انتشارات فارس سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان فارس.

۶. طباطبائیان، سیدحبیب اله، جلیل غریبی، (۱۳۸۸). مبانی ارزش‌گذاری فناوری، مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران، تهران،ایران.

۷. معصوم =زاده، سید محسن، (۱۳۸۴). ارزش‌گذاری دارایی فکری، نهمین کنگره سراسری همکاری‌های سه‌جانبه دولت، صنعت و دانشگاه برای توسعه ملی. نهمین کنگره سراسری همکاری‌های دولت، دانشگاه و صنعت برای توسعه، تهران، ایران.

۸. مولایی، فاطمه (۱۳۹۱). مطالعه شیوه‌های قیمت‌گذاری فناوری. فصلنامه پژوهشی آموزشی بسپارش، سال دوم. فصلنامه علمی بسپارش، ۲(۲)، ۵۹-۶۵.

۹. موسائی، احمد؛ بندریان، رضا؛ قدیریان، عباسعلی؛ صدرایی نوری، ساسان (۱۳۸۹). ارزیابی قیمت دانش فنی برای تجاری‌سازی یک فناوری. فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، ۸(۱۵)، ۶۵-۷۸.

10. Briano. E, Caballini. C, Giribone. P, Revetria. R.(2010). Using a System Dynamics Approach for Designing & Simulation of Short Life-Cycle Products Supply Chain.

11. Chiesa,V., Gilardoni, E., Manzini, R. (2005). The valuation of technology in buy-cooperate- sell decisions, European Journal of Innovation Management, 8 (2), 157-181.

12. Ernst, H., legler, S., Lichtenthaler, U. (2010). Determinants of patent value: Insights from a simulation analysis, Technological Forecasting & Social Change, 77, 1-19.

13. Ghazinoori, S. R. (2005). Strategies and trends for commercialization and marketing of high technologies Case study: Nanotechnology in Iran, 2nd Management of Technology Iranian Conference, Tehran, Iran.

14. Jeon, C. & Juneseuk, S. (2014). Long-term renewable energy technology valuation using system dynamics and Monte Carlo simulation: Photovoltaic technology case. Energy, 66, 447-457.

15. Jimenez, C.N., Castellanos, O. (2012). Technology and Its Value at the Bottom of the Pyramid, Management of Engineering & Technology (PICMET) ’12 Conference.

16. Khaill, T.(2000). Management of technology: the key to competitiveness and wealth creation, M., Boston, McGraw – Hill.

17. Kathleen, A.R. (2003). Bringing New Technology to Market, Prentice Hall, New Jersey.

18. Morcillo, J.D., Carlos, J., Francoa, F.A. (2018). Simulation of demand growth scenarios in the Colombian electricity market: An integration of system dynamics & dynamic systems. Applied Energy, 216, 504-520.

19. Park, Y., Park, G. (2004). A new method for technology valuation in monetary value: procedure and application. Technovation, 24, 387-94.

20. Schwartz, E.S. (2004). Patents and R&D as real options, Econ, Notes, 33, 23–54.

21. Schwartz, E.S., Moon, M. (2000), Evaluating Research and Development Investments, in Innovation,Infrastructure and Strategic Options, M. J. Brennan and L. Trigeorgis(eds), Oxford University Press, 85-106.

22. Song, J. (2018). Dynamic Simulation of the Group Behavior under Fire Accidents Based on System Dynamics. Procedia Engineering, 211, 635-643.

23. Sterman, J. D. (2000). Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world: Jeffrey J. Shelsfud.
24. Wang, Y.F. (2018). Probability prediction & cost benefit analysis based on system dynamics. Process Safety & Environmental Protection, 114, 271-278.
25. WIPO (1998). WIPO Regional Seminar on Support Services for Inventors, Valuation and Commercialization of Inventions and Research Results, World Intellectual Property Organization and Technology Application and Promotion Institute, Manila, 19-21.