تاریخ دریافت: ۲۱ اسفند ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۶ شهریور ۱۴۰۳ صفحات ۷۶ الی ۱۰۱

# تحلیل رفتار بازیگران کلیدی اکوسیستم نوآوری صنعت برق در برابر وقوع اختلال

**سهیلا عبدی**
دکتری مهندسی صنایع، گروه اقتصاد برق و انرژی، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
Sabdi@nri.ac.ir

**مهدی یزدانی** *
دانشیار، گروه مهندسی صنایع، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
m_yazdani@qiau.ac.ir

**چکیده:** توسعه اکوسیستم های نوآوری باعث ارتقای سطح کلی نوآوری و خلاقیت کشورها و متعاقباً توسعه اقتصادی آنها می‌شود. وجود عدم قطعیت و اختلالات خارجی بر عملکرد اکوسیستم نوآوری تأثیر می گذارد؛ براین اساس وجود اکوسیستم‌های نوآوری تاب‌آور در محیط پیچیده و در حال تغییر کنونی که در مقابل اختلالات مقاومت نماید و سطح عملکرد خود را در هر شرایطی حفظ نماید، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش با مطالعه موردی اکوسیستم نوآوری صنعت برق، تاب‌آوری بازیگران کلیدی آن در برابر یک اختلال در قالب سه شاخص «سطح عملکرد از دست رفته»، «درصد استحکام» و «نسبت سرعت بازیابی»، محاسبه شده است. نتایج نشان می دهد که سطح عملکرد از دست رفته اکوسیستم در برابر اختلال شبیه‌سازی شده در وضعیت متوسط قرار داشته و از منظر سرعت بازیابی و همچنین استحکام از وضعیت مناسبی برخوردار نیست. بر این اساس لازم است سیاستگذاران و راهبران این اکوسیستم در جهت ارتقای تاب‌آوری تمهیداتی بیندیشند و با تصمیمات موثر و برنامه‌ریزی راهبردی مناسب در جهت بهبود آن در برابر اختلالات احتمالی گام بردارند. علاوه براین اثر سیاست‌های به کار گرفته شده خود را بر تاب‌آوری اکوسیستم مورد مطالعه با استفاده از نتایج شبیه‌سازی ملاحظه و ارزیابی نمایند.

**کلمات کلیدی:** اکوسیستم نوآوری، شبیه‌سازی، ضریب تاب‌آوری، استحکام، سرعت بازیابی

* نویسنده مسئول

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

## ۱. مقدمه

اکوسیستم نوآوری شبکه‌ای از سازمان‌ها و افراد است که با هم تعامل دارند و هم زمان با هم، برای خلق ارزش از طریق نوآوری، تکامل می‌یابند (نیلاند و همکاران،۲۰۱۹). در واقع اکوسیستم‌های نوآوری برای پیش‌بینی و هدایت نوآوری شکل می‌گیرد (استال،۲۰۲۲) و از بازیگران مختلفی مانند صنعت، دانشگاه، موسسات پژوهشی، دولت، انجمن‌ها و سازمان‌های دیگری که دارای سناریوی مشترک هستند و در جهت کسب ارزشهای جدید از طریق نوآوری، با هم تکامل می‌یابند (سنت و همکاران، ۲۰۲۰) تشکیل شده است. در سالهای اخیر اکوسیستم نوآوری مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. در مقایسه با روش سنتی مدیریت نوآوری، این مدل مبتنی بر نوآوری بر هم افزایی بین شرکت‌های نوآور و ذینفعان آن‌ها، رقابت و همکاری متقابل در کل فرآیند نوآوری از تولید ایده، تحقیق و توسعه تا بازاریابی و تجاری‌سازی تأکید دارد (گو و هو،۲۰۲۰). از آنجائیکه اکوسیستم نوآوری یک سیستم انطباقی پیچیده است (انگلر و کوسیاک،۲۰۱۱؛ بویر،۲۰۲۰؛ راسلا ،۲۰۱۸؛ جوسوسیوس و گرومادایت، ۲۰۱۴)، در نتیجه مباحثی مثل تاب‌آوری در مورد آنها اهمیت می‌یابد (گیلسپای و همکاران،۲۰۱۹). تعاریف متعددی در رابطه با تاب‌آوری در حوزه‌های مختلف ارائه شده است که اکثرا به توانایی سیستم برای جذب[۱] و انطباق[۲] با رویدادهای مخرب و بازیابی[۳] بعد از اختلال اشاره دارند و دستیابی به تاب‌آوری را اغلب مرتبط با دستیابی به سطح مطلوبی از عملکرد سیستم پس از اختلال می‌دانند (حسینی و همکاران،۲۰۱۶). بر این اساس، لیانگ و همکاران (۲۰۲۰) تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری را به عنوان توانایی آن برای بازیابی حالت عملکردی خود در هنگام اختلالات ناشی از وقوع تغییرات ناگهانی در محیط خارجی تعریف می‌کند و این توانایی بازیابی را به عنوان توانایی خودسازماندهی و خود تنظیمی بیان می‌نماید. تاب‌آوری اکوسیستم نقشی کلیدی در تعیین قابلیت حیات اکوسیستم در طی فرآیند اختلالات و دوره بهبودی پس از آسیب اکوسیستم ایفا می‌کند (بای و لی، ۲۰۲۲).

باتوجه به اینکه توسعه اکوسیستم‌های نوآوری باعث ارتقای سطح کلی نوآوری و اقتصاد دانش بنیان میگردد و همچنین عدم قطعیت‌ها و اختلالات خارجی بر عملکرد اکوسیستم نوآوری تأثیر می‌گذارند و توسعه اقتصادی را تحت تاثیر قرار می‌دهند، در نتیجه مطالعه در خصوص بهبود عملکرد اکوسیستم نوآوری مورد توجه قرار گرفته است. از آنجائیکه بهبود تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری، بطور مستقیم بر عملکرد آن موثر است و با مرور ادبیات مشخص گردید که کمتر روی موضوع تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری تحقیقات انجام شده است لذا این پژوهش درصدد است با ارزیابی تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری در این راستا گام بردارد. از طرف دیگر با توجه به اینکه وزارت نیرو ایران متولی توسعه پایدار دو المان مهم زیرساخت توسعه‌ای یعنی آب و برق است و

[۱] Absorbtion
[۲] Adaptation
[۳] Recovery

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

اکوسیستم نوآوری آن متشکل از بازیگران متعددی از جمله ستاد وزارت نیرو و شرکت‌های زیرمجموعه آن، شرکت‌های صنعتی مرتبط، مؤسسات پژوهشی، دانشگاه‌ها، صندوق‌های پژوهش و فناوری، مرکز رشد علم و فناوری، شرکت‌های فناور و دانش‌بنیان است که در این صنعت در تعامل با یکدیگر به تبادل ارزش می‌پردازند و با توجه به مطالب بیان شده در راستای اهمیت تاب‌آوری این اکوسیستم در راستای تحقق مطلوب اهداف عملکردی اکوسیستم، لذا در این پژوهش بعنوان مطالعه موردی، اکوسیستم نوآوری نیرو وابسته به وزارت نیرو مورد مطالعه قرار گرفته است.

در ادامه مقاله، به ترتیب در بخشهای جداگانه، پیشینه پژوهش در زمینه تاب‌آوری بررسی‌شده و سپس شکاف پژوهش تحلیل می‌گردد. سپس روش این پژوهش در راستای ارائه پاسخ به سوالات پژوهش تشریح می‌گردد. در ادامه، یافته‌های پژوهش که حاصل شبیه‌سازی و محاسبه ضریب کمی تاب‌آوری در راستای شاخص‌های مدنظر برای بازیگران کلیدی اکوسیستم نوآوری نیرو است، ارائه می‌گردد. در پایان نیز جمع‌بندی و پیشنهاد پژوهش‌های آتی ارائه خواهد شد.

## ۲. پیشینه پژوهش

منظور از تاب‌آوری مهندسی، توانایی سیستم‌های زیرساختی و فنی از قبیل سیستم‌های شبکه‌های برق، آب و فاضلاب، لجستیک و غیره جهت حفظ عملکرد مطلوب خود در مقابل انواع اختلال مانند زمین لرزه، سیل، طوفان و غیره است. تاب‌آوری اقتصادی به توانایی ذاتی شرکت‌ها جهت پاسخ مناسب و یا جلوگیری از حداکثر زیان احتمالی اشاره دارد. تاب‌آوری اجتماعی را می‌توان به معنای ظرفیت افراد و گروه‌های یک اجتماع جهت غلبه بر عوامل مخرب ناشی از تغییرات اجتماعی، سیاسی و محیطی دانست (آدگر،۲۰۰۰). مفهوم تاب‌آوری سازمانی به عنوان توانایی سازمان جهت حفظ عملکرد یا بازگشت به حالت اولیه جهت انجام نرمال عملیات خود بعد از یک رویداد مخرب، تعریف شده است (شفی،۲۰۰۶). در مطالعات متعددی تاب‌آوری سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی مورد مطالعه قرار گرفته و ابعاد آن تشریح گردیده است (اگلی و همکاران،۲۰۱۹؛ هررا و کوپاینسک،۲۰۲۰؛ لی و دانگ،۲۰۲۰). در پژوهشی تانگ و همکاران (۲۰۲۲) بیان می‌دارند که تاب‌آوری به سه مرحله تاب‌آوری مهندسی، تاب‌آوری اکوسیستم و تاب‌آوری اجتماعی-اکولوژیکی تقسیم می‌شود. بای و لی (۲۰۲۲) بیان می‌دارند که مشابه اکوسیستم‌های طبیعی، تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری در توانایی سیستم برای مهار شوک‌های خارجی بیان می‌شود. در قیاس با اکوسیستم طبیعی، برای اکوسیستم نوآوری، با بهبود ساختار داخلی اکوسیستم نوآوری، سازگاری بهتر سیستم با تغییرات محیط خارجی، افزایش توانایی ضد تداخل و توانایی تعمیر پس از آسیب، پایداری اکوسیستم نوآوری و توسعه پایدار سیستم را می‌توان تا حد زیادی بهبود بخشید. فن و همکاران (۲۰۲۱) یک تحلیل کمی از تاب‌آوری اکوسیستم‌های طبیعی در آسیای مرکزی انجام داده‌اند آنها فرض نموده‌اند

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

که هدف اکوسیستم رسیدن به حداکثر زیست توده است و بنابراین، تاب‌آوری اکوسیستم را می‌توان به عنوان توانایی ذاتی آن برای حفظ ثبات و به حداکثر رساندن زیست توده آن در نظر گرفت. بای و لی (۲۰۲۲) چهار بعد تاثیرگذار بر ارزیابی تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری شرکت‌های با فناوری پیشرفته در کشور چین را شامل ۱) تنوع نوآوران و موضوعات نوآورانه، ۲) پیچیدگی ساختار داخلی و منابع، ۳) سرزندگی سیستم[۱] شامل سرمایه‌گذاری در نوآوری، خروجی نوآوری، جریان اطلاعات، جریان فناوری، جریان نقدینگی و ۴) پایداری[۲] شامل پایداری اقتصادی، حفاظت از منابع و درجه امنیت اجتماعی می‌دانند. تانگ و همکاران (۲۰۲۲) پنج فاکتور کلیدی موثر بر تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری شرکت‌های با فناوری پیشرفته را تفکر تاب‌آور، عدم قطعیتهای محیطی، آستانه تحمل، ظرفیت تکاملی و منابع ضمنی معرفی نموده و بیان می‌دارند که این پنج فاکتور تاثیر مثبتی بر تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری دارند. عبدی و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود اکوسیستم نوآوری وزارت نیروی ایران را مورد مطالعه قرار داده و با استفاده از رویکرد فراترکیب، تحلیل عاملی تأییدی و مدلسازی معادلات ساختاری، به تحلیل و ارائه چارچوب جامعی از فاکتورهای موثر بر تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری پرداخته‌اند. این فاکتورها عبارتند از انطباق‌پذیری، مدیریت نوآوری، توانمندی بازیابی، فرهنگ، منابع، استحکام و پایداری، برنامه‌ریزی راهبردی و آسیب‌پذیری. لیانگ و همکاران (۲۰۲۰) یک سیستم ارزیابی تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری را بر اساس ویژگی‌های تنوع سیستم، تکامل، تحرک و بافر در نظر گرفته‌اند. یانگ و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر پیکربندی‌های مختلف حاکمیتی را بر بهبود تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری دیجیتال تحلیل نموده‌اند.

روش‌های ارزیابی تاب‌آوری متفاوت بوده و با توجه به اهداف ارزیابی و نوع سیستم مورد مطالعه، متفاوت است. حسینی و همکاران (۲۰۱۶) روش‌های ارزیابی تاب‌آوری را بررسی نموده و در دو گروه روش‌های کمی و کیفی طبقه‌بندی می‌نمایند که روش مورد استفاده در این پژوهش در دسته ارزیابی کمی و زیر دسته مدلهای مبتنی بر ساختار و مدل‌های شبیه‌سازی قرار میگیرد. ساوسر و همکاران (۲۰۱۸) از شبیه‌سازی عامل‌بنیان و هررا و کوپاینسک (۲۰۲۰) از ترکیب پویایی سیستم و رویکردهای مشارکتی برای ارزیابی تاب‌آوری استفاده نموده‌اند. لی و دانگ (۲۰۲۰) به بررسی روش‌های ارزیابی و مدیریت تاب‌آوری سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی پرداخته و یک چارچوب برای تاب‌آوری ارائه کرده‌اند. مک مانوس و همکاران (۲۰۰۷) چارچوبی را پیشنهاد نموده‌اند که با آن می‌توان تاب‌آوری سازمانی را به‌عنوان آگاهی از وضعیت کلی سازمان، مدیریت آسیب‌پذیری‌ها و ظرفیت سازگاری با فاجعه‌های محیطی اندازه‌گیری کرد. راهی (۲۰۱۹) دو بعد آگاهی و انطباق‌پذیری را در تاب‌آوری سازمانی موثر می‌داند و در مورد شاخص‌های تاب‌آوری سازمانی و توسعه شاخص‌هایی برای ارزیابی تاب‌آوری در سایر زمینه‌ها، مانند مدیریت پروژه و زیرساخت‌های حیاتی پژوهش انجام داده است. هیلمن و گونتر (۲۰۲۱) یک بررسی سیستماتیک روی ساختار تاب‌آوری سازمانی،

[۱] System Vitality
[۲] Sustainability

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

انجام داده‌اند و ویژگی‌هایی مانند توانایی سازگاری، توانایی مقابله و توانایی پیکربندی مجدد را برای تعریف تاب‌آوری سازمانی برمی‌شمارند. گاندرسون و همکاران (۲۰۱۰) یک چارچوب مفهومی برای ارزیابی تاب‌آوری مشتمل بر شناسایی و فهم سیستم تحت مطالعه، شناسایی مقیاس مناسب ارزیابی تاب‌آوری، شناسایی پیشران‌های سیستم و اختلالات داخلی و خارجی، شناسایی بازیگرهای اصلی سیستم شامل افراد و دولت، توسعه مدل مفهومی برای شناسایی فعالیت‌های مورد نیاز بازیابی و بهبود، به کارگیری نتایج مرحله قبلی جهت آگاهی سیاستگذاران و ترکیب یافته‌های مراحل قبل در سازمان ارائه می‌نمایند. کاتر و همکاران (۲۰۰۸) شاخص‌های اقتصادی، زیرساخت اجتماعی، سرمایه اجتماعی و نهادها را جهت ارزیابی تاب‌آوری دسته‌بندی نموده‌اند. شیر علی و همکاران (۲۰۱۳) جهت ارزیابی تاب‌آوری مهندسی فرآیند صنعتی شاخص‌های مدیریت ارشد، تعهد، فرهنگ یادگیری، آگاهی، آمادگی و انعطاف پذیری را مدنظر قرار داده‌اند. برانئو و همکاران (۲۰۰۳) چهار بعد استحکام[۱]، سرعت[۲]، تدبیر[۳] و تکرارپذیری[۴] را جهت ارزیابی تاب‌آوری پیشنهاد می‌دهند. پنت و همکاران (۲۰۱۴) مفاهیم تاب‌آوری ازجمله استحکام، سرعت، افزونگی و تدبیر و همچنین سطح عملکرد میانگین زمانی[۵]، بیشینه کارکرد از دست رفته[۶] و زمان بازیابی[۷] را برای اندازه‌گیری تاب‌آوری پیشنهاد می‌دهند. آنان بیان می‌دارند که سطح کلی عملکرد حفظ شده توسط یک سیستم، از زمان شروع یک رویداد مخرب تا هر افق زمانی، نشانه خوبی از تاب‌آوری آن در برابر آن رویداد مخرب است. رز (۲۰۰۹) برای ارزیابی توانایی سیستم جهت حفظ کارکرد در هنگام مواجهه با شوک و مخاطرات، نسبت تفاوت سطح عملکرد از دست رفته در بدترین حالت و حالت مورد انتظار را به سطح عملکرد از دست رفته در بدترین حالت مبنای سنجش تاب‌آوری تعریف می‌نمایند. برانئو و همکاران (۲۰۰۳) مقدار فقدان تاب‌آوری را به صورت فرمول انتگرال تابع کیفیت (سطح عملکرد) از دست رفته سیستم، از زمان وقوع رویداد تا زمان بازگشت به حالت اولیه تعریف می‌نماید. سرعت را به عنوان فاصله زمانی بین رخداد تا زمان بازگشت به حالت اولیه و استحکام را به معنای تفاوت سطح صفر و سطح انطباق‌پذیری پس از رخداد تعریف می‌نماید. تانگ و شینوزوکا (۲۰۲۰)، برای ارزیابی تاب‌آوری دو مولفه اصلی، کاهش عملکرد و مدت بهبود (بازیابی) را اندازه‌گیری می‌نماید. آزاده و همکاران (۲۰۱۴)، در ارتباط

[۱] Robustness

[۲] Rapidity

[۳] Resourcefulness

[۴] Redundancy

[۵] Time Averaged Level of Operability

[۶] Maximum Loss of Functionality

[۷] Time to Recovery

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

با مفهوم مهندسی تاب‌آوری در یک کارخانه پتروشیمی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها[۱] و با روش برنامه‌ریزی خطی برای ارزیابی کارایی واحدهای چندگانه تصمیم‌گیری[۲]، استفاده نموده‌اند. اسپیگلر و همکاران (۲۰۱۲) آمادگی پاسخگویی [۳] و آمادگی بهبودی[۴] را به عنوان مولفه‌های اصلی و کلیدی تاب‌آوری می‌دانند. مولر (۲۰۱۲) یک معماری فازی و الکسیک وهمکاران (۲۰۱۳) یک مدل فازی برای ارزیابی تاب‌آوری پیشنهاد می‌دهند. بطور کلی با توجه به مطالب بیان شده در قسمتهای قبلی، می‌توان نتیجه گرفت که مفهوم تاب‌آوری نیازمند یک مدل ارزیابی یکپارچه برای درک بهتر و اتخاذ تصمیمات راهبردی دارد که تحقیقات موجود آن را ارائه نمی‌دهد (نلسون و همکاران،۲۰۲۰). تاکنون مطالعات متعددی برای ارزیابی تاب‌آوری در اکوسیستم‌های مختلف صورت گرفته است، بطور مثال مطالعه‌ای در خصوص اکوسیستم کارآفرینی (روندی و همکاران،۲۰۱۷)، اکوسیستم شهری (شی و همکاران،۲۰۲۱) و اکوسیستم طبیعی (فن و همکاران،۲۰۲۱). همچنین چارچوبی برای ارزیابی تاب‌آوری پایدار در یک سیستم انطباقی پیچیده با مطالعه موردی یک سیستم شهری (نلسون و همکاران،۲۰۲۰) و یا یک سیستم اجتماعی (گیلسپای و همکاران،۲۰۱۹) ارائه شده است ولی تاکنون مطالعه‌ای جامع در خصوص ارزیابی تاب‌آوری بازیگران کلیدی اکوسیستم نوآوری از منظر شاخصهایی مانند سطح عملکرد از دست رفته، استحکام و سرعت بازیابی اکوسیستم پس از وقوع یک اختلال انجام نشده است. لذا در این پژوهش به دنبال ارزیابی تاب‌آوری بازیگران یک اکوسیستم نوآوری با تمرکز بر شاخصهای کمی ذکر شده می‌باشیم. در پژوهش‌های گذشته برای ارزیابی تاب‌آوری از روش‌هایی مانند تصمیم‌گیری چندمعیاره و تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده و کمتر از روش‌های شبیه‌سازی استفاده شده است. همچنین در مطالعات قبلی درخصوص تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری معمولا با مرور ادبیات، به بررسی فاکتورهای موثر بر تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری پرداخته شده است و به ندرت در پژوهش‌های گذشته تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری با روش پویایی سیستم مورد مطالعه قرارگرفته است. بنابراین استفاده از روش پویایی سیستم و ارزیابی کمی تاب‌آوری بازیگران کلیدی اکوسیستم نوآوری از نوآوری‌های این پژوهش است.

## ۳. روش پژوهش

همانطور که در مقدمه بیان شد، هدف اصلی این پژوهش این است که به هماهنگ‌سازان اکوسیستم‌های نوآوری کمک نماید تا با بهبود تاب‌آوری اکوسیستم از حفظ و بهبود عملکرد کل اکو سیستم در مقابل اختلالات مختلف، اطمینان حاصل نمایند. بدین

[۱] Data Envelopment Analysis (DEA)
[۲] Multiple Decision-Making Units (DMUs)
[۳] Readiness
[۴] Preparedness

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

منظور باید ابتدا مدل مفهومی اکوسیستم نوآوری نیرو توسعه داده شده، رخداد اختلال و واکنشهای بازیگران شبیه‌سازی و سپس مبتنی بر مدلهای کمی، ضریب تاب‌آوری محاسبه شود. در ادامه سوالات پژوهش و چارچوب مفهومی مورد استفاده در این پژوهش ارائه می‌شود. این پژوهش به دنبال پاسخ به سوالات زیر است:

- وقوع یک اختلال در عملکرد اکوسیستم و بازیگران آن چه تاثیری می گذارد ؟
- رفتار بازیگران اکوسیستم در مقابل وقوع یک اختلال چگونه است؟
- ضریب کمی تاب‌آوری بازیگران اکوسیستم نوآوری را چگونه می‌توان محاسبه نمود ؟

در این پژوهش برای پاسخ به سوالات فوق از چارچوب مفهومی ارزیابی کمی تاب‌آوری سیستم، ارائه شده توسط تران و همکاران (۲۰۱۷) استفاده شده است. آنها در روش خود بر توانایی سیستم برای جذب اختلالات، بهبودی از آنها و سازگاری در طول زمان و تغییرات در عملکرد سیستم تمرکز دارند و چارچوب ارائه شده توسط آنها انعطاف‌پذیر بوده و میتوان آن را برای انواع اکوسیستم بکار برد که شامل پنج مرحله اصلی ذیل است:

۱. مدل‌سازی اکوسیستم نوآوری

۲. تجزیه و تحلیل اختلالات بالقوه

۳. تجزیه و تحلیل اقدام بازیابی

۴. اندازه‌گیری عملکرد

۵. محاسبه ضریب تاب‌آوری

در ادامه مراحل اصلی چارچوب ارزیابی تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری شرح داده میشود.

## ۱.۳. مدل‌سازی اکوسیستم نوآوری

بطور کلی هدف از مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده مانند اکوسیستم نوآوری، این است که آن را به عوامل ساده که با قوانین ساده هدایت می‌شوند تبدیل نموده و از طریق مدل، رفتار نوظهور بازیگران آن را در تعامل با یکدیگر و محیط نمایش داد.

مدل‌سازی پویایی سیستم، عامل‌بنیان و پیشامد-گسسته سه رویکرد عمده برای ساختن مدل‌های شبیه‌سازی هستند (رینهارت و آهماچر،۲۰۱۷) که روش پویایی سیستم‌ها و همچنین مدل‌سازی عامل‌بنیان در افزایش فهم ما از سیستم‌های پیچیده مانند اکوسیستم نوآوری، بسیار اثربخش است (انگلر و کوسیاک،۲۰۱۱). پویایی سیستم روشی برای توصیف کیفی، اکتشاف و تجزیه و تحلیل سیستم‌های پیچیده از جمله سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی است. این رویکرد با مطالعه ساختار و رفتار سیستم‌های پیچیده، کاربران

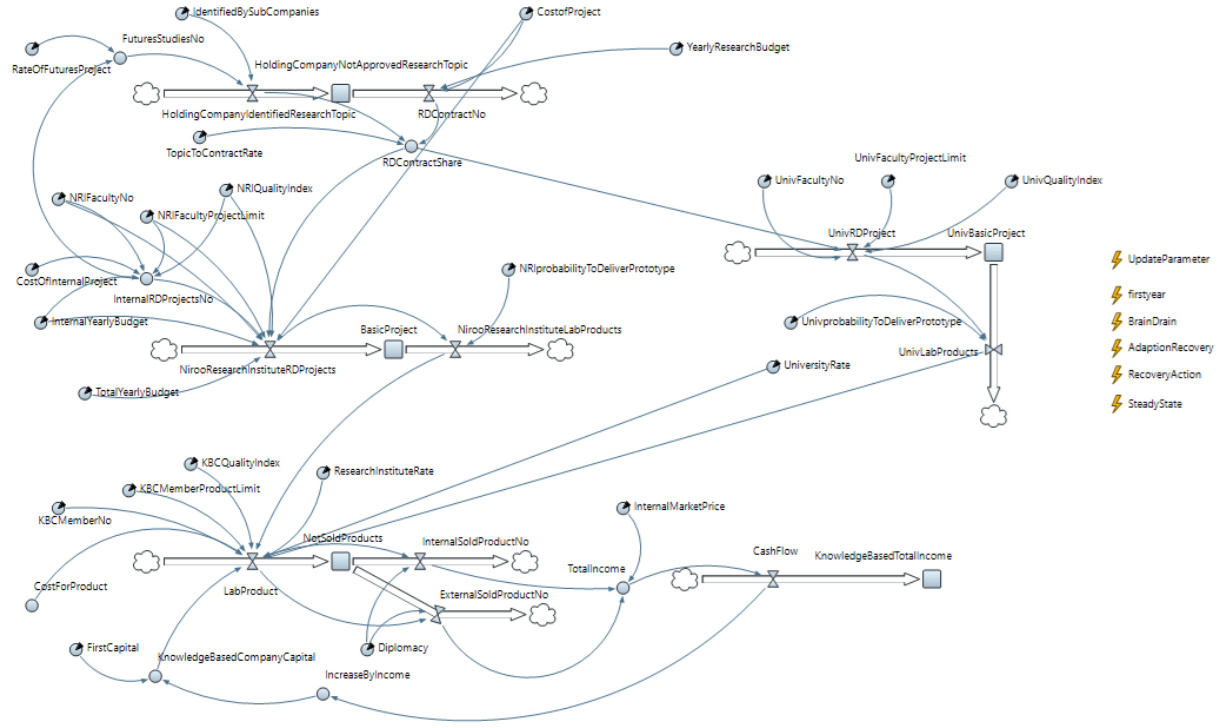
[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

را قادر می‌سازد تا با استفاده از مجموعه‌ای از ابزارهای مفهومی، ساختارها و پویایی چنین سیستم‌هایی را به درستی درک نمایند (شیراز و همکاران،۲۰۲۲). روش‌شناسی پویایی سیستم، شامل گام‌هایی برای شناسایی و تعریف مسئله، ارائه مدل مفهومی و ترسیم نمودار جریان مدل، شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل و تعریف سناریوهای مختلف و پیاده‌سازی راه‌حل مناسب می‌شود (شیراز و همکاران،۲۰۲۲). برای مدلسازی اکوسیستم نوآوری در گام نخست نیاز است تا محیط اکوسیستم نوآوری و همچنین بازیگران اصلی آن شناسایی شده و هدف عملکردی هر یک از بازیگران و نحوه تعامل بین آنها مشخص گردد. بدین منظور، مدل جامع اکوسیستم نوآوری نیرو که در پژوهش پیشین نویسندگان این مقاله با روش پویایی سیستم مدلسازی و شبیه‌سازی شده و مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است (عبدی و همکاران،۲۰۲۳) مورد بسط و توسعه قرار گرفته است. با توجه به عامل‌های اصلی شناسایی شده برای اکوسیستم نوآوری نیرو معرفی شده در پژوهش عبدی و همکاران (۲۰۲۳) و ارتباط بین شاخصهای عملکردی ارائه شده در آن پژوهش، مدل ارائه شده در محیط نرم افزار AnyLogic جهت شبیه‌سازی نحوه بکارگیری عملیاتی مفاهیم بیان شده و محاسبه تاب‌آوری توسعه داده شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱) تا بتوان در سناریوهای مختلف، شاخص کلیدی عملکرد هر یک از بازیگران را مورد بررسی و تحلیل قرار داد و تاب‌آوری آنها را محاسبه نمود. همانطور که در شکل (۱) مشخص شده است، مدل مفهومی مورد استفاده در شبیه‌سازی از چهار بازیگر کلیدی شرکت مادرتخصصی، دانشگاه، پژوهشگاه نیرو و شرکت دانش‌بنیان تشکیل شده است. در صنعت برق، شرکت مادرتخصصی وظیفه تولید، انتقال و توزیع برق را برعهده دارد. لذا هرگونه پژوهش و توسعه فناوری در جهت بهبود عملکرد این بازیگر می‌تواند باعث بهبود در تامین پایدار برق کشور گردد. در اکوسیستم نوآوری نیرو، شرکت مادرتخصصی هرساله از شرکتهای زیرمجموعه، دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو، متخصصین حقیقی موضوعات پژوهش و توسعه فناوری پیشنهادی را دریافت می‌نماید و سپس با توجه به اهمیت موضوعات و نیاز عاجل صنعت، تعدادی از آنها را در قالب اولویتهای تحقیقاتی، جهت انجام و اجرا مصوب می‌نماید. سپس موضوعات تحقیقاتی مصوب با توجه به بودجه پژوهشی در اختیار شرکت مادرتخصصی و کیفیت پروپوزالهای پیشنهادی بازیگران دانشگاه و پژوهشگاه نیرو، در قالب قراردادهای به این دو بازیگر واگذار میگردد. بازیگران دانشگاه و پژوهشگاه با احتمالی این قراردادها را با موفقیت انجام داده و تبدیل به نمونه محصول آزمایشگاهی می‌نمایند. سپس محصول آزمایشگاهی به شرکت دانش بنیان، جهت تولید محصول نیمه صنعتی و صنعتی و تجاری‌سازی واگذار می‌گردد. شرکت دانش بنیان نیز با توجه به امکانات زیرساختی، هزینه تجاری‌سازی، تعداد متخصصین در اختیار، میزان سرمایه در اختیار اقدام به تولید نمونه صنعتی می‌نماید و در بازارهای داخلی (پیمانکاران و تامین‌کنندگان شرکتهای زیرمجموعه شرکت مادرتخصصی در تولید، انتقال و توزیع برق) و همچنین بازارهای خارجی (تحت تاثیر قدرت دیپلماسی کشور

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

جهت صادرات) به فروش می‌رساند. درآمد حاصل از فروش محصولات توسط شرکت دانش‌بنیان به عنوان شاخص کلیدی عملکرد اقتصاد دانش بنیان در اکوسیستم نوآوری نیرو درنظر گرفته شده است.

جهت شبیه‌سازی مدل اکوسیستم نوآوری نیرو شامل رفتارهای بازیگران مختلف داخل اکوسیستم، تعاملات بین آنها و همچنین محاسبه شاخص‌های کلیدی عمکلرد هر بازیگر و همچنین شاخص کلیدی عملکرد کل اکوسیستم نوآوری نیرو در نرم افزار Anylogic، پارامترها و متغیرهای متعددی تعریف گردید که در جدول (۱) اهم موارد تشریح شده است.




**شکل ۱: نمودار حالت جریان بازیگران اصلی اکوسیستم نوآوری نیرو (عبدی و همکاران،۲۰۲۳) توسعه داده شده جهت شبیه‌سازی اختلال و محاسبه تاب‌آوری**

**جدول ۱. متغیرها و پارامترهای کلیدی تعریف شده در مدل شبیه‌سازی**

| بازیگر مرتبط | نام متغیر | نوع متغیر | نحوه مقدار دهی | توضیحات |
|---|---|---|---|---|
| شرکت مادرتخصصی | HoldingCompanyIdentifiedResearchTopics | متغیر جریان | فرمول محاسباتی | محاسبه تعداد اولویتهای تحقیقاتی مصوب شرکت مادرتخصصی که متاثر از اولویتهای دریافتی از شرکتهای زیر مجموعه، دانشگاه و مطالعات آینده‌پژوهی انجام شده در پژوهشگاه نیرو است |

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

| بازیگر مرتبط | نام متغیر | نوع متغیر | نحوه مقدار دهی | توضیحات |
|---|---|---|---|---|
| | YearlyResearchBudget | پارامتر | تابع توزیع یکنواخت | بودجه پژوهش شرکت مادرتخصصی |
| | RDContractShare | پارامتر پویا | فرمول محاسباتی | محاسبه تعداد بالقوه قراردادهای پژوهشی با توجه به تعداد اولویتهای پژوهشی، ظرفیت جذب، هزینه‌های انجام پروژه، بودجه پژوهش و ... |
| پژوهشگاه نیرو | NRIFacultyNo | پارامتر | مقدار اولیه قابل تغییر | تعداد اعضای هیات علمی پژوهشگاه نیرو |
| | InternalRDProjectsNo | پارامتر پویا | فرمول محاسباتی | محاسبه تعداد سالیانه پروژه‌های تحقیقاتی از بودجه داخلی پژوهشگاه نیرو با توجه به مواردی مانند ظرفیت پژوهشگران (هیات علمی و غیر هیات علمی)، امکانات زیرساختی و هزینه‌های انجام |
| | NirooResearchInstituteRDProjects | متغیر جریان | فرمول محاسباتی | محاسبه تعداد سالیانه پروژه‌های پژوهشگاه نیرو با توجه به تعداد قراردادهای منعقده با شرکت مادرتخصصی، تعداد پروژه‌های انجام شده از بودجه داخلی، امکانات زیرساختی و ظرفیت پژوهشگران |
| | NirooResearchInstituteLabProducts | متغیر جریان | فرمول محاسباتی | محاسبه تعداد محصولات آزمایشگاهی تولید شده و آماده واگذاری به شرکت دانش‌بنیان جهت تجاری‌سازی |
| | NRIprobabilityToDeliverPrototype | پارامتر | تابع توزیع مثلثی | نرخ تبدیل پروژه‌های تحقیقاتی به محصول آزمایشگاهی و دانش‌فنی قابل واگذاری به شرکت دانش‌بنیان جهت تجاری‌سازی |
| | InternalYearlyBudget | پارامتر | تابع توزیع مثلثی | سهم بودجه پژوهش برای انجام پروژه‌های داخلی |
| دانشگاه | UnivprobabilityToDeliverPrototype | پارامتر | تابع توزیع یکنواخت | نرخ تبدیل پروژه‌های تحقیقاتی به محصول آزمایشگاهی و دانش‌فنی قابل واگذاری به شرکت دانش‌بنیان جهت تجاری‌سازی |
| | UnivLabProducts | متغیر جریان | فرمول محاسباتی | محاسبه تعداد محصولات آزمایشگاهی تولید شده و آماده واگذاری به شرکت دانش‌بنیان جهت تجاری‌سازی |
| | UnivFacultyNo | پارامتر | مقدار اولیه قابل تغییر | تعداد اعضای هیات علمی پژوهشگاه نیرو |
| شرکت دانش بنیان | CashFlow | متغیر جریان | فرمول محاسباتی | محاسبه درآمد کل شرکتهای دانش بنیان حاصل از فروش محصولات در بازارهای داخلی و خارجی |
| | InternalSoldProductNo | متغیر جریان | فرمول محاسباتی | محاسبه تعداد محصولات فروش رفته در بازار داخلی حاصل از تجاری‌سازی محصول آزمایشگاهی دریافتی از دانشگاه و پژوهشگاه نیرو |

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

| بازیگر مرتبط | نام متغیر | نوع متغیر | نحوه مقدار دهی | توضیحات |
|---|---|---|---|---|
| | ExternalSoldProductNo | متغیر جریان | فرمول محاسباتی | محاسبه تعداد محصولات فروش رفته در بازار خارجی حاصل از تجاری‌سازی محصول آزمایشگاهی دریافتی از دانشگاه و پژوهشگاه نیرو |
| | LabProduct | متغیر جریان | فرمول محاسباتی | محاسبه تعداد محصولات تجاری‌سازی شده که ماحصل پارامترهایی مانند تعداد قرادادهای تجاری‌سازی، نرخ موفقیت در تجاری‌سازی، سرمایه در اختیار، هزینه مورد نیاز جهت تجاری‌سازی، تعداد نیروی متخصص در اختیار است. |

بطور کلی، متغیرها و پارامترهای تعریف شده در مدل مانند بودجه سالیانه پژوهش، تعداد اولویتهای تحقیقاتی مصوب، نرخ تبدیل قراردادهای تحقیقاتی به محصولات فناورانه قابل تجاری‌سازی، نرخ موفقیت در صنعتی‌سازی، قیمت و مقدار فروش در بازارهای داخلی و خارجی، نرخ موفقیت در دیپلماسی بین المللی، هزینه پروژه‌ها و غیره برمبنای داده‌های آماری جمع‌آوری شده از بازیگران اصلی اکوسیستم نوآوری نیرو و صحت‌سنجی انجام شده توسط خبرگان بصورت توابع توزیع احتمالی درنظر گرفته شده است و نهایتا مدل مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است. مقداردهی تصادفی به توابع توزیع احتمالی، شبیه‌سازی تعاملات بین بازیگران، تحقق رخدادهای مختلف در مدل و همچنین انجام محاسبات مرتبط در مدل با تعریف تعدادی رویداد[۱] انجام می‌شود. این رویدادها در حالت عملکرد نرمال اکوسیستم (قبل از اختلال) و پس از اختلال تعریف شده‌اند. در حالت قبل از اختلال از طریق رویدادی که در طول دوره شبیه‌سازی و در ابتدای هر سال اجرا می‌شود از مقداردهی تصادفی توابع توزیع احتمالی مدل اطمینان حاصل می‌شود. در زمان پس از وقوع اختلال از رویدادهایی برای شبیه‌سازی اختلال مدنظر، اقدامات مقاومت و سازگاری بازیگران و همچنین اقدامات بازیابی بازیگران و رسیدن به سطح عملکرد مطلوب استفاده شده است (جدول ۲).

**جدول ۲. رویدادهای کلیدی تعریف شده در مدل شبیه‌سازی**

| موقعیت رویداد | نام رویداد | دوره زمانی تکرار | توضیحات |
|---|---|---|---|
| قبل از اختلال | UpdateParameter | هر سال | مقداردهی تصادفی به پارامترهای ورودی قبل از اختلال |
| بعد از اختلال | Firstyear | بدون تکرار | مقداردهی تصادفی به پارامترهای ورودی بعد از اختلال |
| | BrainDrain | بدون تکرار | اختلال از دست دادن نیروی متخصص |
| | AdaptationRecovery | بدون تکرار | فرایند انطباق بازیگران و مقاومت (استحکام) در برابر اثرات اختلال |
| | RecoveryAction | بدون تکرار | اقدامات بازیابی بازیگران |
| | SteadyState | هر سال | مقداردهی تصادفی به پارامترهای ورودی پس از بازگشت بازیگران به حالت پایدار |

[۱] Event

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

### ۲.۳. تجزیه و تحلیل اختلالات بالقوه

در این مرحله لازم است تا اختلالات بالقوه اکوسیستم نوآوری نیرو شناسایی گردد. اکوسیستم نوآوری نیرو می‌تواند تحت تاثیر اختلالات متعددی مانند افزایش شدت تحریم، تغییرات سریع فناورانه، افزایش ناگهانی قیمت‌ها، از دست دادن نیروی متخصص و غیره قرار گیرد. با توجه به نظرسنجی انجام شده از خبرگان و امتیازهای کیفی (طیف لیکرت پنج‌گانه) اخذ شده در خصوص احتمال وقوع و شدت اثر هر یک از اختلالات بالقوه، موارد مطابق جدول (۳) اولویت‌بندی گردید.

از آنجایی‌که پشتوانه اصلی اکوسیستم‌های نوآوری، خلاقیت و دانش است و این موضوع به پشتوانه نیروی انسانی متخصصی است که از ایده‌پردازی تا تولید و تجاری‌سازی محصولات فناورانه را انجام می‌دهند؛ در نتیجه یکی از چالشهای اساسی اکوسیستم‌های نوآوری را می‌توان از دست دادن نیروی متخصص به هر دلیلی از جمله مهاجرت دانست. بهمین دلیل در این تحقیق، از دست دادن نیروی متخصص به‌عنوان یک اختلال در اکوسیستم نوآوری نیرو درنظر گرفته شده است. این اختلال بدین صورت درنظر گرفته شده است که در یک دوره زمانی ده ساله شبیه‌سازی اکوسیستم نوآوری نیرو، اعضای هیات علمی دانشگاه و همچنین پژوهشگاه نیرو و همچنین متخصصین شرکتهای دانش بنیان به ترتیب ۲۰٪، ۳۰٪ و ۳۰٪ کاهش یابند (از دست دادن نیروی متخصص به هر دلیلی از جمله مهاجرت و غیره). با این اختلال، دانشگاه و پژوهشگاه در انجام دادن پروژه‌های در دست اجرا و همچنین اخذ پروژه‌های جدید دچار اختلال خواهند شد. نرخ موفقیت پروژه‌های در دست اجرا و همچنین احتمال تبدیل آنها به محصولات فناورانه قابل تجاری‌سازی کاهش خواهد یافت. زیرا تعدادی از پروژه‌ها با شکست مواجه شده و یا تعداد زیادی با وقفه و یا در بهترین حالت با تاخیر مواجه خواهند شد. از طرف دیگر با کاهش تعداد متخصصین و افراد باتجربه شرکتهای دانش بنیان، نرخ تجاری‌سازی و صنعتی‌سازی نمونه‌های اولیه کاهش می‌یابد و نهایتاً فروش در بازارهای داخلی و خارجی دچار کاهش خواهد شد. مطابق جدول ۲ وقوع این اختلال از طریق تعریف رخدادهایی با توابع توزیع احتمالی مرتبط با پارامترهای مختلف در نرم افزار Anylogic شبیه‌سازی شده است.

**جدول ۳. اولویت‌بندی اختلالات بالقوه در اکوسیستم نوآوری نیرو**

| اولویت | عنوان اختلال |
|---|---|
| ۱ | از دست دادن نیروی متخصص |
| ۲ | افزایش شدت تحریم |
| ۳ | تغییرات فناورانه |
| ۴ | حذف و یا اضافه شدن بازیگران کلیدی اکوسیستم |
| ۵ | تغییر سیاست‌ها و قوانین |

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

### ۳.۳. تجزیه و تحلیل اقدام بازیابی

در این مرحله پتانسیل اقدامات بازیابی بازیگران مختلف اکوسیستم نوآوری نیرو شناسایی می‌گردد. این اقدامات، بازیابی اکوسیستم را برای جذب و یا پاسخ به اختلالات و بازیابی قابلیت‌های از دست رفته پس از اختلال فعال می‌نماید. پس از مصاحبه با بازیگران مختلف اکوسیستم نوآوری و مطالعه مدارک و اسناد مرتبط، در مدل شبیه‌سازی شده اکوسیستم نوآوری نیرو، اقدامات بازیابی به شرح ذیل درنظر گرفته شده است. بازیگر پژوهشگاه نیرو جهت مقابله با این اختلال و بازیابی سریعتر سطح عملکردی خود دو راهکار اصلی درنظر می‌گیرد. در راهکار اول سعی می‌کند با افزایش مزایای رفاهی، تشویقی و تامین منابع مالی، بهره‌وری نیروهای فعلی خود را افزایش دهد. جهت تامین منابع مالی مورد نیاز این راهکار باید مقداری از بودجه داخلی انجام پژوهش را به این موضوع اختصاص دهد. در راهکار دوم، پژوهشگاه به دنبال جذب اعضای هیات علمی خواهد رفت که این راهکار نیز نیازمند صرف هزینه و همچنین زمان است. پس از جذب اعضای هیات علمی و آموزش آنها، عملکرد این بازیگر احتمالا بازیابی خواهد شد. بازیگر دانشگاه نیز مشابه بازیگر پژوهشگاه نیرو است با این تفاوت که دانشگاه بیشتر بر راهکار جذب اعضای هیات علمی تمرکز خواهد داشت که این راهکار نیز نیازمند صرف هزینه و همچنین زمان است. پس از جذب اعضای هیات علمی و آموزش آنها، عملکرد این بازیگر احتمالا بازیابی خواهد شد. اما بازیگر شرکت دانش بنیان راهکارهایی مشابه پژوهشگاه در پیش خواهد گرفت و با صرف مقداری از جریان نقدینگی خود به تشویق و افزایش بهره‌وری نیروهای موجود پرداخته و همچنین در یک فرایند مشخص به جذب سرمایه انسانی اقدام می‌نماید. تفاوت رفتار این بازیگر با دو بازیگر قبلی این است که با توجه به داده‌های دنیای واقعی، جذب کارشناسان و متخصصین از فرایند سریعتری نسبت به جذب اعضای هیات علمی برخوردار است. پس از جذب سرمایه‌های انسانی مورد نیاز و آموزش آنها، عملکرد این بازیگر نیز به درنظر گرفتن احتمالات مختلف، به سطح عملکرد گذشته نزدیک خواهد شد. لازم به ذکر است که مطابق جدول ۲ انجام اقدامات بازیابی بازیگران متعدد نیز از طریق تعریف رخدادهایی با توابع توزیع احتمالی مرتبط با پارامترهای مختلف در نرم افزار Anylogic شبیه‌سازی شده است.

### ۴.۳. اندازه‌گیری عملکرد اکوسیستم

در این مرحله از داده‌های عملکرد اکوسیستم در طول زمان برای محاسبه تاب‌آوری استفاده می‌شود. در واقع بر تاب‌آوری بعنوان یک ویژگی عملکردی اکوسیستم تمرکز می‌شود که توانایی اکوسیستم را برای حفظ یا بهبود سطوح عملکردی مورد نظر در طول زمان مشخص می‌نماید. در این بخش با توجه به مدل تدوین شده در مرحله مدلسازی مبتنی بر روش پویایی سیستم برای تولید داده‌های عملکرد اکوسیستم، استفاده می‌شود. بطور کلی روش شبیه‌سازی، روشی توصیه شده در غیاب مشاهده واقعی داده‌های عملکردی سیستم است و این رویکرد تجزیه و تحلیل عملکرد اکوسیستم را با در نظر گرفتن انواع اختلال و اقدامات بازیابی میسر

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

می‌نماید. شاخص کلیدی عملکرد برای بازیگر پژوهشگاه نیرو، تعداد محصولات قابل تجاری‌سازی که جهت صنعتی‌سازی به شرکتهای دانش بنیان واگذار می‌شوند و ماحصل انجام پژوهشهای با بودجه داخلی و همچنین انجام پژوهشهای با بودجه شرکت‌های مادرتخصصی است، درنظر گرفته شده است. برای دانشگاه نیز تعداد محصولات قابل تجاری‌سازی که جهت صنعتی‌سازی به شرکتهای دانش بنیان واگذار می‌شوند و ماحصل انجام پژوهشهای با بودجه شرکت‌های مادرتخصصی است، درنظر گرفته شده است. شاخص کلیدی عملکرد شرکتهای دانش‌بنیان که بعنوان شاخص کلیدی عملکرد کل اکوسیستم نیز در نظر گرفته می‌شود، میزان جریان نقدینگی حاصل از فروش محصولات فناورانه صنعتی شده توسط این شرکت‌ها است که در بازارهای داخلی و خارجی به فروش می‌رسد.

### ۵.۳. محاسبه ضریب تاب‌آوری اکوسیستم

در نهایت در مرحله پنجم از چارچوب مفهومی این پژوهش، برای محاسبه ضریب تاب‌آوری اکوسیستم لازم است تا با توجه به مطالعات گذشته و راهکارهای پیشنهادی متنوع ارائه شده در پژوهش‌های گذشته، عملکرد بازیگران اکوسیستم نوآوری نیرو در زمان قبل و پس از وقوع اختلال مورد پایش قرار گرفته و مطابق فرمولهای مدنظر، مقایسه شده و ضریب تاب‌آوری آن محاسبه گردد. جهت محاسبه ضریب کمی تاب‌آوری اکوسیستم با توجه به عملکرد آن در طول زمان از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده نمود. محققان زیادی بر مقایسه سطح عملکرد در یک بازه مشخص قبل و بعد از رخداد اختلال تاکید دارند (زوبل، ۲۰۱۱؛ صاحب‌جمع‌نیا و همکاران، ۲۰۱۵؛ رئوفی و وحیدی‌نسب، ۲۰۲۱). اگر $y(t)$ مقدار شاخص عملکردی اکوسیستم در واحد زمان و $t_D$ زمان وقوع اختلال باشد. آنگاه ضریب کمی تاب‌آوری ($R_p$) را می‌توان بطور کلی از طریق فرمول (۱) بدست آورد:

$$R_p = \frac{\sum_{t=t_D}^{t=t_{final}} y(t)}{y_D(t_{final}-t_D)} \qquad (۱)$$

همچنین می‌توان سطح عملکرد از دست رفته را ملاک ضریب تاب‌آوری درنظر گرفت. البته در پژوهش دیگری نیز برانئو و همکاران (۲۰۰۳) ضریب تاب‌آوری را به صورت فرمول انتگرال تابع سطح عملکرد از دست رفته سیستم، از زمان وقوع رویداد تا زمان بازگشت به حالت اولیه تعریف می‌نمایند. سطح عملکرد در حالت نرمال بصورت ۱۰۰٪ درنظر گرفته شده و سپس با رخداد اختلال درصد عملکرد کاهش می‌یابد. آنها سرعت را نیز به عنوان فاصله زمانی بین وقوع اختلال تا زمان بازگشت به حالت اولیه و استحکام را به معنای مقدار سطح عملکردی حداقل، پس از وقوع اختلال تعریف می‌نماید. با توجه به اینکه هدف از تاب‌آوری حفظ سطح عملکردی اکوسیستم است لذا در این پژوهش با الهام از مطالب فوق جهت محاسبه کمی تاب‌آوری، سه شاخص زیر مدنظر قرار گرفته است که هریک بصورت عددی بین صفر و یک تعریف می‌گردند:

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

**جدول ۴: ارزیابی کیفی شاخص های سه گانه کمی ضریب تاب‌آوری**

| ردیف | شاخص / سقف درصد | عالی | خوب | متوسط | ضعیف |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | سطح عملکرد از دست رفته | ٪۵ | ٪۱۰ | ٪۲۰ | کمتر از ٪۲۰ |
| ۲ | نسبت سرعت بازیابی | ٪۹۰ | ٪۸۰ | ٪۶۵ | کمتر از ٪۶۵ |
| ۳ | درصد استحکام | ٪۹۰ | ٪۸۰ | ٪۶۵ | کمتر از ٪۶۵ |

- سطح عملکرد از دست رفته: درصد کاهش در سطح عملکرد در زمان پس از وقوع اختلال به زمان قبل از وقوع اختلال

$$R_{performance} = ۱ - \frac{\sum_{t=t_D}^{t=t_{final}} y(t)}{y_D(t_{final} - t_D)} \qquad (۲)$$

که $y(t)$ مقدار شاخص عملکردی اکوسیستم در واحد زمان باشد و $t_D$ زمان وقوع اختلال می‌باشد.

- نسبت سرعت بازیابی: نسبت فاصله زمانی بین آغاز فرایند بازیابی تا زمان بازگشت به حالت پایدار، به فاصله زمانی وقوع اختلال تا زمان بازگشت به حالت پایدار. این شاخص از طریق فرمول (۳) قابل محاسبه است.

$$R_{rapidity} = \frac{t_{ss} - t_R}{t_{ss} - t_D} \qquad (۳)$$

که $t_R$ زمان آغاز فرایند بازیابی سطح عملکرد، $t_{ss}$ زمان رسیدن سطح عملکرد به حالت مطلوب و پایدار است.

- درصد استحکام: نسبت مقدار سطح عملکردی حداقل، پس از وقوع اختلال به مقدار سطح عملکرد در حالت نرمال. این شاخص از طریق فرمول (۴) قابل محاسبه است.

$$R_{robustness} = \frac{Min\, y(t)}{Y_{desirable}} \;,\; t_{.} < t < t_{final} \qquad (۴)$$

که $Y_{desirable}$ بیانگر متوسط سطح عملکرد قبل از وقوع اختلال است.

این سه شاخص با توجه به نظر خبرگان پژوهش با تعیین حدود مرزی به صورت کیفی هم قابل استفاده است.

## ٤. اعتبارسنجی

همانطور که در قسمتهای قبلی بیان شد برای شبیه‌سازی از مدل جامع اکوسیستم نوآوری نیرو که در پژوهش پیشین نویسندگان این مقاله (عبدی و همکاران،۲۰۲۳) با روش پویایی سیستمها ارائه شده است، استفاده شده و مورد بسط و توسعه قرار گرفته است که نتایج شبیه‌سازی آنها با خروجیهای مورد انتظار از طریق روش تجزیه و تحلیل حساسیت با تغییر در پارامترها از طریق سناریوهای حدی و مشاهده تغییرات قابل توجهی در مقادیر عددی، رفتار و سیاست‌های حاصله، اعتبار سنجی شده است. پس از اطمینان از صحیح بودن منطق حاکم بر مدل، اعتبارسنجی مدل توسعه یافته نیز از طریق مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های دنیای واقعی انجام

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

شد. مقایسه بین خروجی‌های مدل شبیه‌سازی و داده‌های دنیای واقعی یکی از روش‌های شناخته شده اعتبارسنجی است (شالر و پولاک،۲۰۲۳). بدین منظور داده‌های واقعی بازیگران مختلف اکوسیستم نوآوری نیرو در ده سال اخیر جمع‌آوری گردید و با خروجی مدل شبیه‌سازی که حاصل چندین بار اجرای مدل شبیه‌سازی است از طریق آزمون من‌ویتنی[۱] در نرم افزار SPSS مورد آزمون قرار گرفت که نتایج در جدول (۵) ارائه شده است، از آنجائیکه در سطح معناداری ۰.۰۵، تمامی مقادیر .sig بزرگتر از ۰.۰۵ است لذا در هیچ یک از موارد فرض صفر (عدم تفاوت معنادار) رد نشده در نتیجه تفاوت معنادار بین میانگین جوامع وجود ندارد.

## ۵. یافته‌های پژوهش

پس از اطمینان از اعتبار مدل، شبیه‌سازی اکوسیستم نوآوری نیرو بیش از ۱۵ بار انجام شد که مقادیر برخی از شاخصهای کلیدی عملکرد بازیگران اکوسیستم در نمودارهای زیر نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۲) مشخص است با توجه به شرایط مختلف مدل و توابع توزیع احتمالی متناسب در پارامترهای مختلف مدل، تعداد محصولات قابل تجاری‌سازی (محصول آزمایشگاهی تولید شده) پژوهشگاه نیرو که ماحصل انعقاد قرارداد با شرکتهای مادرتخصصی در راستای اولولیتهای تحقیقاتی مصوب آنها و همچنین انجام پژوهش‌های داخلی از محل منابع داخلی است، دچار تغییراتی شده است اما نکته حائز اهمیت این است که با وقوع هر اختلال، این روند کاهشی شده و پس از مدتی به دلیل مجموعه اقدامات بازیابی این بازیگر، روند آن صعودی گشته و عملکرد به سطح مناسبی باز می‌گردد. این موضوع بیانگر تاب‌آوری پژوهشگاه‌نیرو در مقابل اختلال از دست دادن نیروی متخصص است که بنوعی سعی نموده تا پس از یک روند کاهشی منبعث از اختلال، با یک فاصله زمانی، عملکرد خود را بازیابی نموده و به سطح مطلوب برساند.

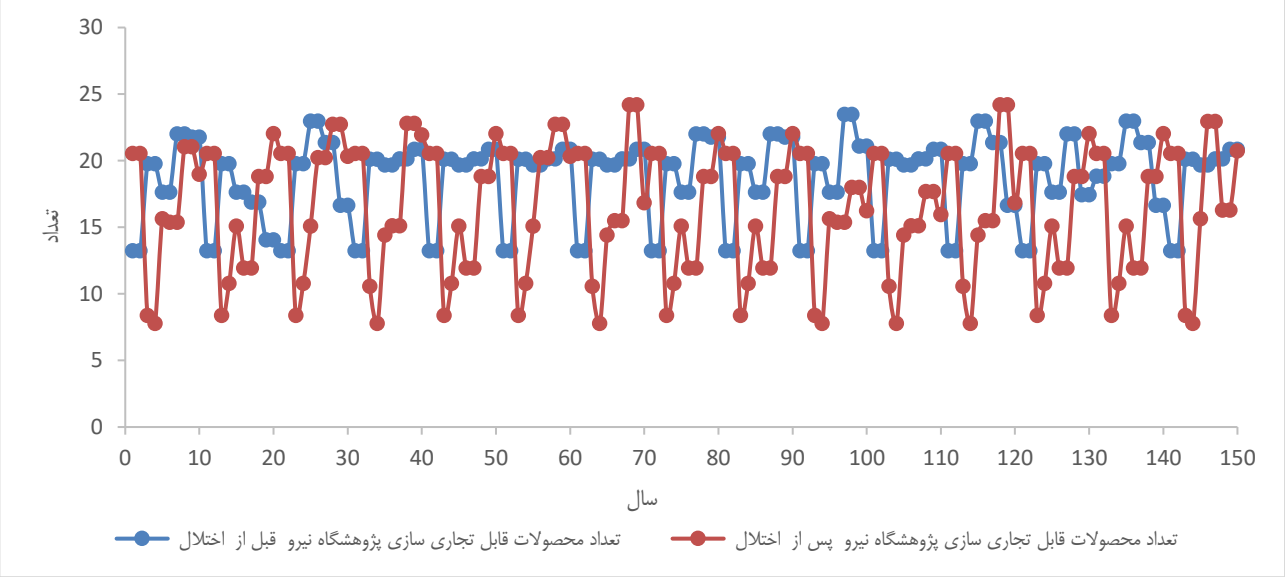
**جدول ۵. مقایسه داده‌های واقعی بازیگران اکوسیستم نوآوری نیرو در ده سال اخیر با خروجی مدل**

| عنوان | sig. |
|---|---|
| تعداد اولویتهای تحقیقاتی مصوب شرکت مادر تخصصی | ۰.۴۸۱ |
| تعداد پروژه‌های پژوهشگاه نیرو از بودجه داخلی | ۰.۸۵۳ |
| نمونه‌های اولیه واگذار شده پژوهشگاه نیرو به شرکت‌های دانش‌بنیان موجود | ۰.۹۱۲ |
| نمونه‌های اولیه واگذار شده دانشگاه‌ها به شرکت‌های دانش‌بنیان موجود | ۰.۷۳۹ |

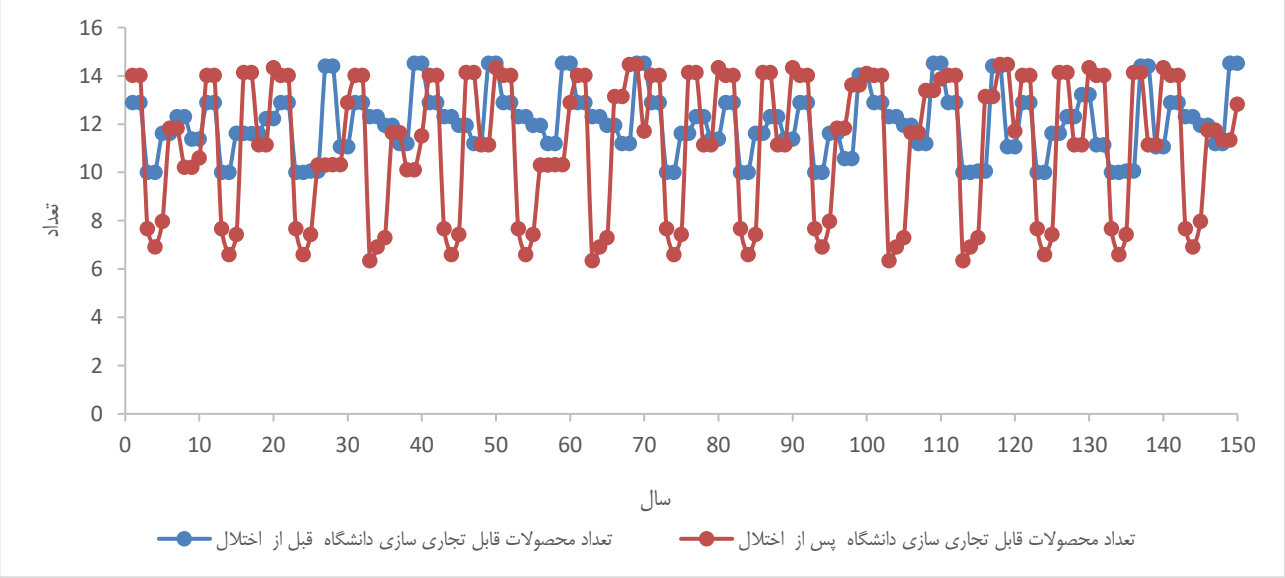
[۱] Mann-Whitney

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

تاب‌آوری دانشگاه نیز در مقابل اختلال از دست دادن نیروی متخصص در شکل (۳) مانند پژوهشگاه نیرو قابل مشاهده است. دانشگاه نیز پس از یک روند کاهشی منبعث از اختلال، با یک فاصله زمانی، عملکرد خود را بازیابی نموده و به سطح مطلوب رسانده است.

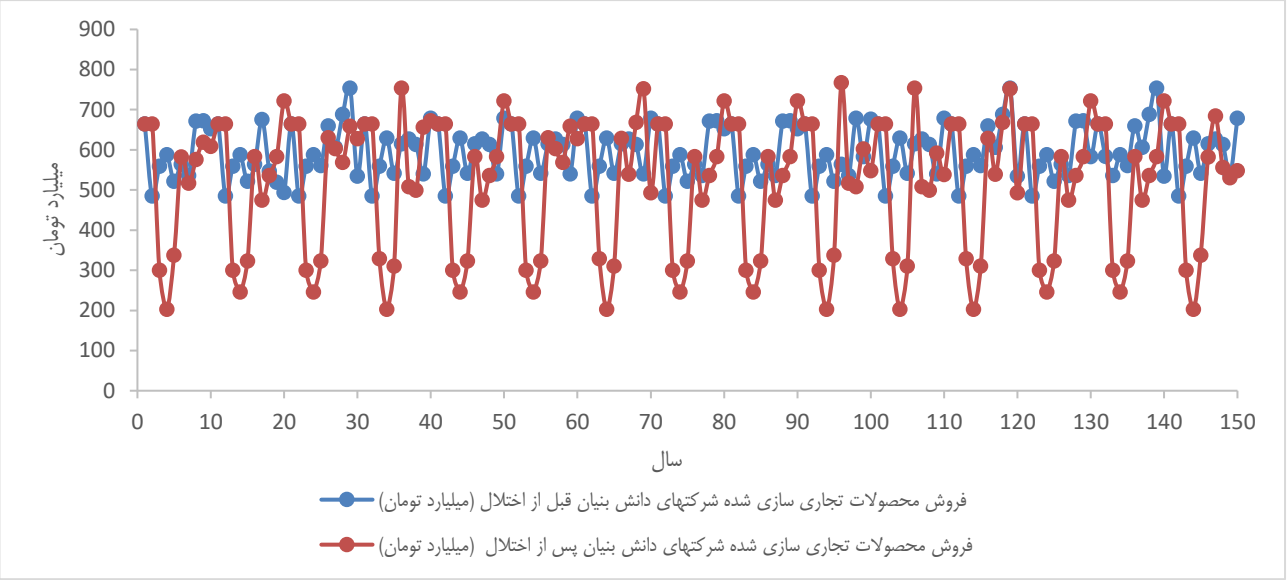



**شکل ۲: تعداد محصولات قابل تجاری‌سازی پژوهشگاه نیرو قبل و بعد از اختلال**




**شکل ۳: تعداد محصولات قابل تجاری‌سازی دانشگاه قبل و بعد از اختلال**

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

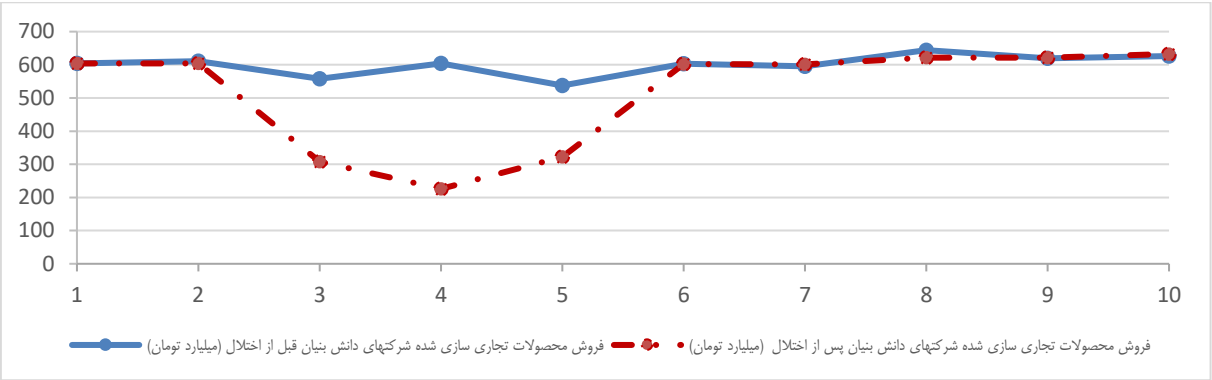



**شکل ۴: فروش محصولات تجاری‌سازی شده شرکتهای دانش بنیان قبل و بعد از اختلال**

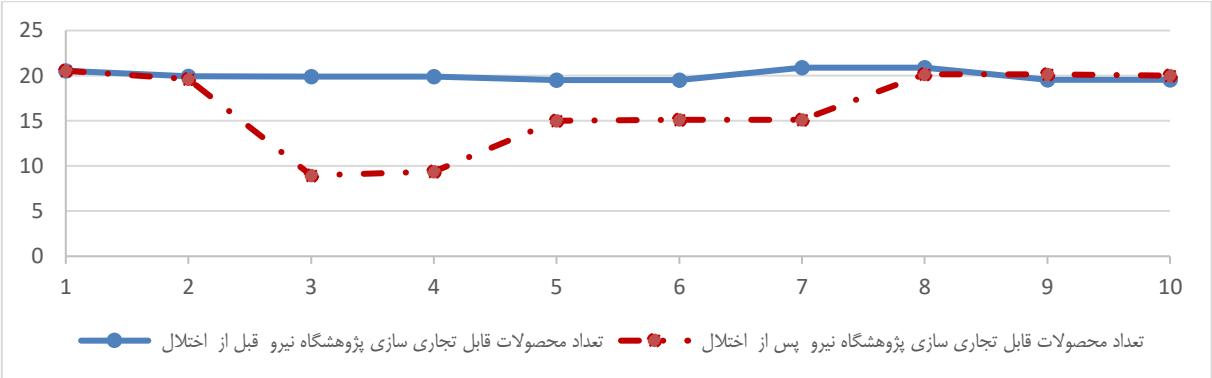
همانطور که در شکل (۴) مشخص است، شرکت‌های دانش بنیان پس از وقوع اختلال، بدلایل متعددی از جمله از دست دادن نیروی متخصص خود و همچنین کاهش مقادیر ورودی (تعداد محصولات قابل تجاری‌سازی دانشگاه و پژوهشگاه نیرو) دچار اختلال عملکردی شده و سعی می نمایند تا پس از یک روند کاهشی، دوباره اقدام به بازیابی عملکرد خود نماید. با توجه به نتایج شبیه‌سازی ارائه شده در شکلهای ۲ تا ۴ و توضیحات تکمیلی ارائه شده ، به سوالات اول و دوم این پژوهش که "وقوع یک اختلال در عملکرد اکوسیستم و بازیگران آن چه تاثیری می گذارد ؟ " و همچنین "رفتار بازیگران اکوسیستم در مقابل وقوع یک اختلال چگونه است؟" پاسخ داده شد.

برای پاسخ به سوال سوم این پژوهش که "ضریب کمی تاب‌آوری بازیگران اکوسیستم نوآوری را چگونه می‌توان محاسبه نمود ؟"؛ لازم است سه شاخص پیشنهادی «سطح عملکرد از دست رفته»، «درصد استحکام» و «نسبت سرعت بازیابی» مورد تحلیل قرار گیرد. بدین منظور لازم است میانگین سطح عملکرد هر یک از بازیگران پس از چندین بار شبیه‌سازی (قبل و بعد از وقوع اختلال) ملاک محاسبه قرار گیرد. در ادامه میانگین عملکرد بازیگران قبل و بعد از اختلال نشان داده شده و همچنین شاخص‌های فوق الذکر برای هریک محاسبه شده است.

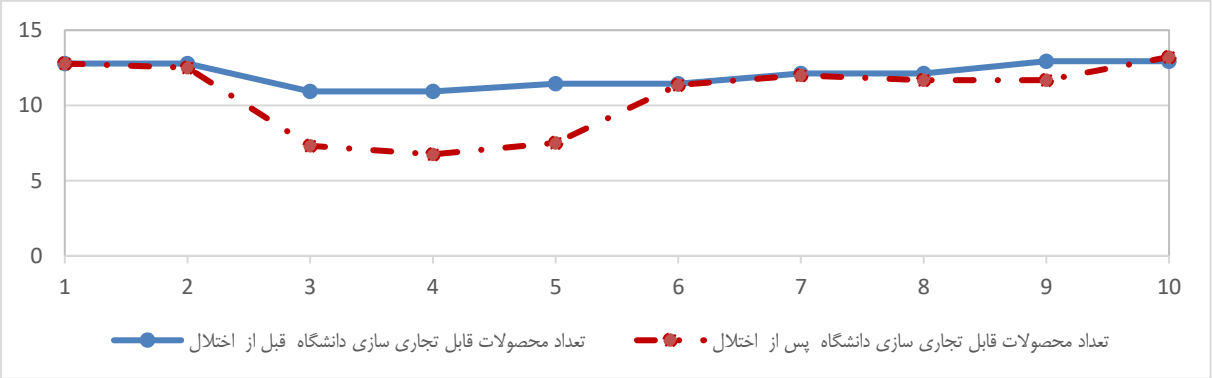
[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]




**شکل ۵: عملکرد شرکت دانش بنیان قبل و بعد از وقوع اختلال**




**شکل ۶: عملکرد بازیگر پژوهشگاه نیرو قبل و بعد از وقوع اختلال**




**شکل ۷: عملکرد بازیگر دانشگاه قبل و بعد از وقوع اختلال**

شکل (۵) نشان دهنده عملکرد شرکت دانش بنیان قبل و بعد از وقوع اختلال است. همانطور که قبلا نیز بیان شد، میزان فروش محصولات تجاری شده در بازارهای داخلی و خارجی به عنوان شاخص کلیدی عملکرد شرکت دانش بنیان درنظر گرفته شده است. همانطور که در شکل (۵) مشخص است، پس از وقوع اختلال در سال دوم شبیه‌سازی ، عملکرد شرکت دانش بنیان دچار نقصان شده است و تا سال چهارم شبیه‌سازی ، روند کاهشی داشته است و به پایین ترین سطح عملکرد سالانه خود رسیده است اما

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

با توجه به اقدامات بازیابی، این بازیگر توانسته از سال چهارم فرایند بازیابی و بهبود عملکرد خود را سرعت بخشیده تا سرانجام در سال ششم شبیه‌سازی به محدوده قابل قبول و پایدار برسد. با توجه به اینکه در یک دوره زمانی ده ساله شبیه‌سازی با وقوع اختلال، نسبت سطح عملکرد این بازیگر به سطح عملکرد نرمال (قبل از وقوع اختلال) در حدود ۸۶٪ بوده، می توان شاخص سطح عملکرد از دست رفته را در حدود ۰.۱۴ درنظر گرفت. یعنی به عبارت دیگر این بازیگر بخاطر وقوع اختلال ازدست دادن نیروی متخصص، در حدود ۱۴٪ عملکرد خود را از دست داده است. اما با توجه به اینکه پس از وقوع اختلال و مطابق شبیه‌سازی انجام شده، سطح عملکرد این بازیگر از حدود ۶۰۰ به حدود ۲۲۵ در سال چهارم نزول یافته است درنتیجه شاخص استحکام این بازیگر در حدود ۰.۳۸ می باشد. این عدد نشان دهنده این است که این بازیگر در مقطعی بیش از ۶۰٪ عملکرد لحظه ای خود را ازدست داده که وضعیت بسیار ضعیفی از منظر تاب‌آوری است. سرعت بازیابی نیز بیانگر کندبودن فرایند بازیابی است زیرا از سال دوم که اختلال رخداده است، دو سال طول کشیده تا بازیگر شرکت دانش بنیان بتواند با مجموعه اقدامات بازیابی، عملکرد خود را از روند کاهشی خارج نموده و بازیابی نماید و همچنین دو سال دیگر طول کشیده است تا به یک سطح عملکرد مطلوب پایدار برساند. بنابراین با توجه به جدول (۴)، سطح عملکرد از دست رفته، درصد استحکام و نسبت سرعت بازیابی به ترتیب از منظر کیفی در وضعیت ضعیف، ضعیف و خوب قرار دارند. بنابراین سه شاخص مدنظر بصورت زیر محاسبه می‌شود:

- سطح عملکرد از دست رفته: با توجه به فرمول (۲) خواهیم داشت

$$R_{performance} = ۱ - \frac{\sum_{t=t_D}^{t=t_{final}} y(t)}{y_D(t_{final}-t_D)} = ۱- (۵۱۴۳.۶۹ / ۶۰۰۴ ) = \ ۰.۱۴$$

- نسبت سرعت بازیابی: با توجه به فرمول (۳) خواهیم داشت

$$R_{rapidity} = \frac{t_{ss}-t_R}{t_{ss}-t_D} = (۶-۴) / (۶-۲) \ = \ ۰.۵$$

- درصد استحکام: با توجه به فرمول (۴) خواهیم داشت .

$$R_{robustness} = \frac{Min\ y(t)}{Y_{desirable}} = ۲۲۵.۹۱ / ۶۰۰.۳۸ \ = \ ۰.۳۸$$

شاخص‌های سطح عملکرد از دست رفته، درصد استحکام و نسبت سرعت بازیابی بازیگر شرکت دانش بنیان در جدول (۶) نمایش

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

داده شده است.

**جدول۶. شاخص‌های تاب‌آوری شرکتهای دانش بنیان**

| نسبت سرعت بازیابی | درصد استحکام | سطح عملکرد از دست رفته |
|---|---|---|
| ۰.۵۰ | ۰.۳۸ | ۰.۱۴ |

**جدول۷. شاخص‌های تاب‌آوری پژوهشگاه نیرو**

| نسبت سرعت بازیابی | درصد استحکام | سطح عملکرد از دست رفته |
|---|---|---|
| ۰.۸۳ | ۰.۴۵ | ۰.۱۸ |

سطح عملکرد بازیگر پژوهشگاه نیرو نیز از ابتدای سال دوم با وقوع اختلال، دچار نقصان شده و مبتنی بر اقدامات بازیابی پس از مدتی عملکرد آن مطابق شکل (۶) ، بهبود یافته و بازیابی شده است. مقادیر شاخص‌های محاسبه تاب‌آوری این بازیگر نیز در جدول ۷ نشان داده شده است.

نسبت سطح عملکرد این بازیگر به سطح عملکرد نرمال (قبل از وقوع اختلال) در حدود ۰.۸۲ بوده و می توان شاخص سطح عملکرد از دست رفته را در حدود ۰.۱۸ درنظر گرفت. یعنی به عبارت دیگر این بازیگر بخاطر وقوع اختلال ازدست دادن نیروی متخصص، در حدود ۱۸٪ عملکرد خود را از دست داده است. اما با توجه به اینکه پس از وقوع اختلال و مطابق شبیه‌سازی انجام شده، سطح عملکرد این بازیگر از حدود ۲۱ به حدود ۱۰ در سال سوم نزول یافته است درنتیجه شاخص استحکام این بازیگر در حدود ۰.۴۵ می باشد. این عدد نشان دهنده این است که این بازیگر در مقطعی بیش از ۵۵٪ عملکرد لحظه ای خود را ازدست داده که وضعیت ضعیفی از منظر تاب‌آوری است. سرعت بازیابی نیز در حدود ۰.۸۳ است که بیانگر این مهم است که این بازیگر بلافاصله توانسته است با مجموعه اقدامات بازیابی، عملکرد خود را بهبود داده و بازیابی نماید. بطور کلی با توجه به جدول (۴)، سطح عملکرد از دست رفته، درصد استحکام و نسبت سرعت بازیابی به ترتیب از منظر کیفی در وضعیت متوسط، ضعیف و خوب قرار دارند.

مطابق شکل (۷) و جدول (۸)، نسبت سطح عملکرد این بازیگر به سطح عملکرد نرمال (قبل از وقوع اختلال) در حدود ۰.۸۹ بوده و می توان شاخص سطح عملکرد از دست رفته را در حدود ۰.۱۱ درنظر گرفت. یعنی به عبارت دیگر این بازیگر بخاطر وقوع اختلال ازدست دادن نیروی متخصص، در حدود ۱۱٪ عملکرد خود را از دست داده است. اما با توجه به اینکه پس از وقوع اختلال و مطابق شبیه‌سازی انجام شده، سطح عملکرد این بازیگر از حدود ۱۳ به حدود ۷ در سال چهارم نزول یافته است درنتیجه شاخص استحکام این بازیگر در حدود ۰.۵۶می‌باشد. این عدد نشان دهنده این است که این بازیگر در مقطعی بیش از ۴۴٪ عملکرد لحظه ای خود را ازدست داده که وضعیت ضعیفی از منظر تاب‌آوری است. سرعت بازیابی نیز در حدود ۰.۵ است که بیانگر سرعت

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

ضعیف این بازیگر در بازیابی عملکرد است. بطور کلی با توجه به جدول (۲)، سطح عملکرد از دست رفته، درصد استحکام و نسبت سرعت بازیابی به ترتیب از منظر کیفی در وضعیت خوب، ضعیف و ضعیف قرار دارند.

بطور کلی نتیجه بررسی ضریب تاب‌آوری از منظر شاخصهای مختلف این حقیقت را آشکار می سازد که بازیگران اکوسیستم نوآوری نیرو در مقابل اختلال از دست دادن نیروی متخصص از وضعیت تاب‌آوری مناسبی برخوردار نیستند و باید اقدامات بازیابی و راهبردی متناسب و موثر تعریف شود. در ادامه درصد از دست دادن نیروی متخصص در بازه بین ۱۰٪ الی ۵۰٪ بصورت متغییر درنظر گرفته و مقدار آن در سناریوهای مختلف تغییر داده شده است. متعاقباً عملکرد بازیگران اکوسیستم نواوری نیرو و تاب‌آوری آنها محاسبه و نتایج در جدول (۹) ارائه شده است. با بررسی جدول ضرایب تاب‌آوری در قالب شاخصهای مختلف برای بازیگران مختلف اکوسیستم، مشاهده می شود که فقط در مقادیر کم درصد تغییرات، سرعت و استحکام بازیگران بهتر بوده و با افزایش درصد تغییرات، سطح عملکرد ازدست رفته با شدت بیشتری افزایش می یابد.

**جدول۸. شاخص‌های تاب‌آوری دانشگاه**

| نسبت سرعت بازیابی | درصد استحکام | سطح عملکرد از دست رفته |
|---|---|---|
| ۰.۵ | ۰.۵۶ | ۰.۱۱ |

**جدول ۹. شاخص‌های ضریب تاب‌آوری بازیگران اکوسیستم نوآوری نیرو در سناریوهای مختلف**

| بازیگر | سطح اختلال | نسبت سرعت بازیابی | درصد استحکام | سطح عملکرد از دست رفته |
|---|---|---|---|---|
| شرکت دانش‌بنیان | ۱۰٪ | ۶۶.۷٪ | ۷۸.۷٪ | ۴.۶٪ |
| | ۲۰٪ | ۶۰.۰٪ | ۵۷.۹٪ | ۱۱.۰٪ |
| | ۳۰٪ | ۶۰.۰٪ | ۳۸.۸٪ | ۱۶.۵٪ |
| | ۴۰٪ | ۵۰.۰٪ | ۲۴.۴٪ | ۲۱.۶٪ |
| | ۵۰٪ | ۶۰.۰٪ | ۱۳.۴٪ | ۲۵.۲٪ |
| پژوهشگاه نیرو | ۱۰٪ | ۶۶.۷٪ | ۶۹.۳٪ | ۱.۱٪ |
| | ۲۰٪ | ۷۵.۰٪ | ۵۷.۶٪ | ۸.۰٪ |
| | ۳۰٪ | ۷۵.۰٪ | ۴۴.۱٪ | ۱۳.۲٪ |
| | ۴۰٪ | ۷۵.۰٪ | ۳۲.۴٪ | ۱۶.۴٪ |
| | ۵۰٪ | ۷۵.۰٪ | ۲۳.۶٪ | ۲۲.۴٪ |
| دانشگاه | ۱۰٪ | ۲۵.۰٪ | ۸۱.۳٪ | ۲.۷٪ |
| | ۲۰٪ | ۲۵.۰٪ | ۶۵.۳٪ | ۸.۸٪ |
| | ۳۰٪ | ۵۰.۰٪ | ۵۰.۰٪ | ۱۵.۵٪ |
| | ۴۰٪ | ۵۰.۰٪ | ۳۶.۷٪ | ۱۸.۴٪ |
| | ۵۰٪ | ۵۰.۰٪ | ۲۴.۷٪ | ۲۲.۳٪ |

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

## ۸. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

اکوسیستم‌های نوآوری موتور محرکه توسعه نوآوری و اقتصاد دانش‌بنیان کشورها هستند. وزارت نیرو در کشورمان بعنوان متولی توسعه پایدار دو المان مهم زیرساختی یعنی آب و برق است. براین اساس تاب‌آوری اکوسیستم نوآوری به معنای توانایی بازیابی و سازگاری با اختلالات و دستیابی به سطح مطلوبی از عملکرد پایدار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرف دیگر با توجه به مرور ادبیات انجام شده و شکاف پژوهش مشخص شد که ارزیابی تاب‌آوری بازیگران کلیدی اکوسیستم نوآوری از منظر شاخص‌های چندگانه مانند سطح عملکرد از دست رفته، استحکام و سرعت بازیابی تاکنون انجام نشده است. لذا این پژوهش با مطالعه موردی اکوسیستم نوآوری وزارت نیرو، تاب‌آوری بازیگران کلیدی آن در برابر اختلال از دست دادن نیروی متخصص را از منظر شاخصهای سطح عملکرد از دست رفته، استحکام و سرعت بازیابی محاسبه و تحلیل می‌نماید.

در این مقاله در پاسخ به سوال پژوهش در راستای بررسی تاثیر وقوع یک اختلال در عملکرد اکوسیستم و رفتار بازیگران آن، و همچنین کمی‌سازی ضریب تاب‌آوری اکوسیستم، ابتدا مدل جامع اکوسیستم نوآوری نیرو که در پژوهش پیشین نویسندگان این مقاله با روش پویایی سیستم ها مدلسازی و شبیه‌سازی شده و مورد اعتبارسنجی قرار گرفته بود (عبدی و همکاران،۲۰۲۳) مورد بسط و توسعه قرار گرفت. سپس اختلالات بالقوه اکوسیستم نوآوری نیرو شناسایی شد. اکوسیستم نوآوری نیرو می‌تواند تحت تاثیر اختلالات متعددی مانند شرایط تحریم، تغییرات سریع فناورانه، افزایش ناگهانی قیمت‌ها، از دست دادن نیروی متخصص و غیره قرار گیرد. با توجه به نظرسنجی انجام شده از خبرگان، از دست دادن نیروی متخصص به عنوان محتمل‌ترین اختلال درنظر گرفته شد. در ادامه پس از مصاحبه با بازیگران مختلف اکوسیستم نوآوری و مطالعه مدارک و اسناد مرتبط، رفتار بازیگران اکوسیستم و مجموعه اقدامات بازیابی آنها شناسایی و در مدل شبیه‌سازی شد. در ادامه با توجه به مطالعات انجام شده عملکرد بازیگران اکوسیستم نوآوری نیرو در زمان قبل و پس از وقوع اختلال مورد پایش قرار گرفته و مطابق فرمولهای مدنظر، مقایسه گردیده و ضریب تاب‌آوری در قالب سه شاخص «سطح عملکرد از دست رفته» (درصد کاهش در سطح عملکرد در زمان پس از وقوع اختلال به زمان قبل از وقوع اختلال)، «درصد استحکام» (نسبت مقدار سطح عملکردی حداقل، پس از وقوع اختلال به مقدار سطح عملکرد در حالت نرمال) و «نسبت سرعت بازیابی» (نسبت فاصله زمانی بین آغاز فرایند بازیابی تا زمان بازگشت به حالت پایدار، به فاصله زمانی وقوع اختلال تا زمان بازگشت به حالت پایدار)، را محاسبه و تحلیل شد.

یافته های این پژوهش نشان می‌دهد که بطور کلی «سطح عملکرد از دست رفته»، «درصد استحکام» و «نسبت سرعت بازیابی» بازیگران اکوسیستم نوآوری نیرو به ترتیب از منظر کیفی در وضعیت ضعیف قرار دارد و این بدان معناست که تاب آوری بازیگران کلیدی اکوسیستم نوآوری نیرو در برابر اختلال از دست دادن نیروی متخصص ضعیف بوده و لازم است سیاستگذاران و راهبران

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

این اکوسیستم مانند وزارت نیرو، سیاستهایی برای افزایش تاب‌آوری اتخاذ نمایند. بطور مثال لازم است بر مفاهیم متعددی از جمله ارتقای تفکر تاب‌آوری در تمامی بازیگران اکوسیستم تاکید بورزند. این تفکر سبب شکل‌گیری روابط و شبکه‌های مناسب بین ذی‌نفعان، بهبود روحیه تعاملی و نهایتاً اتحاد اثربخش در برابر اختلالات می شود. شناسایی نقاط آسیب‌پذیر و پیش‌بینی رویدادهای مخرب نیز یکی از مهمترین ویژگی‌های تاب‌آوری است که باید مدنظر مدیران قرار گیرد. علاوه بر این، تدوین و اجرای برنامه‌های راهبردی نیز جهت مقابله با انواع اختلال راهگشا است. بدیهی است مدیریت مناسب منابع انسانی، منابع مالی، سرمایه‌های اجتماعی و سیستم‌های اطلاعاتی سبب بهبود زیرساختهای پشتیبانی و تامین ملزومات پیاده‌سازی برنامه‌های راهبردی یک سازمان می‌شود. علاوه بر این، هر چه سیاستگذاران عرصه نوآوری از رویدادهای نوآوری باز بیشتر حمایت کنند با افزایش تنوع جریان نوآوری، اکوسیستم بهتر می‌تواند در مقابل اختلالات، مقاومت و سازگاری داشته باشد. حمایت از یادگیری سازمانی کمک می‌کند ضمن کسب درس‌آموخته از شکستهای سازمانهای مشابه به آگاهی بخشی در راستای تاب‌آوری و برنامه‌ریزی جهت بهبود آن پرداخته شود.

نتایج این پژوهش به سیاستگذاران عرصه توسعه فناوری و نوآوری کشور کمک می‌نماید تا به ارزیابی تاب‌آوری بازیگران مختلف اکوسیستم نوآوری نیرو در برابر اختلالات مختلف پرداخته و سپس جهت بهبود آن، برنامه‌ریزی راهبردی انجام دهند و نتایج سیاستهای اتخاذ شده خویش را قبل از عملیاتی نمودن در دنیای واقعی از طریق شبیه‌سازی مورد تحلیل قرارداده و بهترین تصمیمات را اتخاذ نمایند. جهت پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد موضوع در سایر انواع اکوسیستم مانند حوزه سلامت، توریست، گردشگری و اکوسیستم‌های کسب کار مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد، بررسی اثر انواع دیگر اختلال مانند شدت یافتن تحریم‌ها، حذف تحریم‌ها و یا افزایش ناگهانی قیمت نیز می‌تواند در مطالعات آتی مورد توجه قرار گیرد. از طرف دیگر افزودن سایر بازیگران مانند مرکز رشد، صندوق پژوهش و فناوری نیرو به اکوسیستم مورد مطالعه از دیگر پژوهش‌های پیشنهادی آتی است.

## منابع


Abdi, S., Yazdani, M., & Najafi, E. (۲۰۲۳). Comprehensive Framework of Influential Factors on Innovation Ecosystem Resilience: Using Meta-Synthesis and Structural Equation Modelling. *International Journal of Engineering*, -.

Adger, W. N. (۲۰۰۰). Social and ecological resilience: are they related? *Progress in human geography, 24*(۳), ۳٤۷-۳٦٤. doi:۱۰,۱۱۹۱/۰۳۰۹۱۳۲۰۰۷۰۱٥٤۰٤٦٥

Aleksić, A., Stefanović, M., Arsovski, S., & Tadić, D. (۲۰۱۳). An assessment of organizational resilience potential in SMEs of the process industry, a fuzzy approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26*(٦), ۱۲۳۸-۱۲٤٥. doi:۱۰,۱۰۱٦/j.jlp.۲۰۱۳,۰٦,۰۰٤

Azadeh, A., Salehi, V., Ashjari, B., & Saberi, M. (۲۰۱٤). Performance evaluation of integrated resilience engineering factors by data envelopment analysis: The case of a petrochemical plant. *Process Safety and Environmental Protection, 92*(۳), ۲۳۱-۲٤۱. doi:۱۰,۱۰۱٦/j.psep.۲۰۱۳,۰۳,۰۰۲


[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

Bai, T., & Li, J. (۲۰۲۲). Resilience Evaluation of Innovation Ecosystem of High-tech Enterprises in Liaoning Province. *Financial Engineering and Risk Management, 5*(۱), ۶۱-۶۸. doi:۱۰,۲۳۹۷۷/ferm.۲۰۲۲,۰۵۰۱۱۰

Boyer, J. (۲۰۲۰). Toward an evolutionary and sustainability perspective of the innovation ecosystem: Revisiting the panarchy model. *Sustainability, 12*(۸), ۳۲۳۲.

Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Von Winterfeldt, D. (۲۰۰۳). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake spectra,* ۱۹(٤), ۷۳۳-۷۵۲. doi:۱۰,۱۱۹۳/۱,۱۶۲۳٤۹۷

Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J. (۲۰۰۸). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global environmental change, 18*(٤), ۵۹۸-۶۰۶. doi:۱۰,۱۰۱۶/j.gloenvcha.۲۰۰۸,۰۷,۰۱۳

Egli, L., Weise, H., Radchuk, V., Seppelt, R., & Grimm, V. (۲۰۱۹). Exploring resilience with agent-based models: state of the art, knowledge gaps and recommendations for coping with multidimensionality. *Ecological Complexity, 40*(۲), ۱۰۰۷۱۸. doi:۱۰,۱۰۱۶/j.ecocom.۲۰۱۸,۰۶,۰۰۸

Engler, J., & Kusiak, A. (۲۰۱۱). Modeling an innovation ecosystem with adaptive agents. *International journal of innovation science, 3*(۲), ۵۵-۶۸. doi:۱۰,۱۲۶۰/۱۷۵۷-۲۲۲۳,۳,۲,۵۵

Fan, X., Hao, X., Hao, H., Zhang, J., & Li, Y. (۲۰۲۱). Comprehensive Assessment Indicator of Ecosystem Resilience in Central Asia. *Water, 13*(۲), ۱۲٤.

Gillespie-Marthaler, L., Nelson, K. S., Baroud, H., Kosson, D. S., & Abkowitz, M. (۲۰۱۹). An integrative approach to conceptualizing sustainable resilience. *Sustainable and Resilient Infrastructure, 4*(۲), ۶۶-۸۱. doi:۱۰,۱۰۸۰/۲۳۷۸۹۶۸۹,۲۰۱۸,۱٤۹۷۸۸۰

Gu, G., & Hu, E. (۲۰۲۰). Research on sulti-stage health assessment of enterprise innovation ecosystem. *Chinese Journal of Science and Technology Periodical, 7*, ۱۲۰-۱۳۱.

Gunderson, L., Kinzig, A., Quinlan, A., & Walker, B. (۲۰۱۰). Resilience Alliance. Assessing Resilience in social-ecological systems: Workbook for practitioners. Version ۲,۰. In.

Herrera, H., & Kopainsky, B. (۲۰۲۰). Using system dynamics to support a participatory assessment of resilience. *Environment systems and decisions, 40*(۳), ۳٤۲-۳۵۵. doi:۱۰,۱۰۰۷/s۱۰۶۶۹-۰۲۰-۰۹۷۶۰-۵

Hillmann, J., & Guenther, E. (۲۰۲۱). Organizational resilience: a valuable construct for management research? *International Journal of Management Reviews, 23*(۱), ۷-٤٤. doi:۱۰,۱۱۱۱/ijmr.۱۲۲۳۹

Hosseini, S., Barker, K., & Ramirez-Marquez, J. E. (۲۰۱۶). A review of definitions and measures of system resilience. *Reliability Engineering & System Safety, 145*(۱), ٤۷-۶۱. doi:۱۰,۱۰۱۶/j.ress.۲۰۱۵,۰۸,۰۰۶

Jucevičius, G., & Grumadaitė, K. (۲۰۱٤). Smart development of innovation ecosystem. *Procedia-social and behavioral sciences, 156*, ۱۲۵-۱۲۹. doi:۱۰,۱۰۱۶/j.sbspro.۲۰۱٤,۱۱,۱۳۳

Li, T., Dong, Y., & Liu, Z. (۲۰۲۰). A review of social-ecological system resilience: Mechanism, assessment and management. *Science of the Total Environment, 723*, ۱۳۸۱۱۳. doi:۱۰,۱۰۱۶/j.scitotenv.۲۰۲۰,۱۳۸۱۱۳

Liang, L., Zhao, Y., & Liu, B. (۲۰۲۰). Research on monitoring and early warning of the resilience of the innovation ecosystem in the China's national new districts. *China Soft Science, 7*, ۹۲-۱۱۱.

McManus, S., Seville, E., Brunsden, D., & Vargo, J. (۲۰۰۷). Resilience management: a framework for assessing and improving the resilience of organisations.

Muller, G. (۲۰۱۲). Fuzzy architecture assessment for critical infrastructure resilience. *Procedia Computer Science,* ۱۲, ۳۶۷-۳۷۲. doi:۱۰,۱۰۱۶/j.procs.۲۰۱۲,۰۹,۰۸۶

Nelson, K., Gillespie-Marthaler, L., Baroud, H., Abkowitz, M., & Kosson, D. (۲۰۲۰). An integrated and dynamic framework for assessing sustainable resilience in complex adaptive systems. *Sustainable and Resilient Infrastructure, 5*(۵), ۳۱۱-۳۲۹. doi:۱۰,۱۰۸۰/۲۳۷۸۹۶۸۹,۲۰۱۹,۱۵۷۸۱۶۵

Nylund, P. A., Ferras-Hernandez, X., & Brem, A. (۲۰۱۹). Strategies for activating innovation ecosystems: introduction of a taxonomy. *IEEE Engineering Management Review, 47*(٤), ۶۰-۶۶. doi:۱۰,۱۱۰۹/EMR.۲۰۱۹,۲۹۳۱۶۹۶

Pant, R., Barker, K., & Zobel, C. W. (۲۰۱٤). Static and dynamic metrics of economic resilience for interdependent infrastructure and industry sectors. *Reliability Engineering & System Safety, 125*, ۹۲-۱۰۲. doi:۱۰,۱۰۱۶/j.ress.۲۰۱۳,۰۹,۰۰۷

Rahi, K. (۲۰۱۹). Indicators to assess organizational resilience–a review of empirical literature. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment, 10*(۲/۳), ۸۵-۹۸. doi:۱۰,۱۱۰۸/IJDRBE-۱۱-۲۰۱۸-۰۰٤۶

Raoufi, H., & Vahidinasab, V. (۲۰۲۱). Power system resilience assessment considering critical infrastructure resilience approaches and government policymaker criteria. *IET Generation, Transmission & Distribution, 15*(۲۰), ۲۸۱۹-۲۸۳٤.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]

Reinhardt, O., & Uhrmacher, A. M. (۲۰۱۷). *An efficient simulation algorithm for continuous-time agent-based linked lives models.* Paper presented at the Proceedings of the ۵۰th Annual Simulation Symposium.

Rose, A. Z. (۲۰۰۹). Economic resilience to disasters. *Published Articles & Papers. Paper 75, 1*(۱).

Roundy, P. T., Brockman, B. K., & Bradshaw, M. (۲۰۱۷). The resilience of entrepreneurial ecosystems. *Journal of Business Venturing Insights, 8*, ۹۹-۱۰۴. doi:۱۰,۱۰۱۶/j.jbvi.۲۰۱۷,۰۸,۰۰

Russell, M. G., & Smorodinskaya, N. V. (۲۰۱۸). Leveraging complexity for ecosystemic innovation. *Technological forecasting and social change, 136*, ۱۱۴-۱۳۱.

Sahebjamnia, N., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (۲۰۱۵). Integrated business continuity and disaster recovery planning: Towards organizational resilience. *European Journal of Operational Research, 242*(۱), ۲۶۱-۲۷۳.

Sant, T. D., de Souza Bermejo, P. H., Moreira, M. F., & de Souza, W. V. B. (۲۰۲۰). The structure of an innovation ecosystem: foundations for future research. *Management Decision, 58*(۱۲), ۲۷۲۵-۲۷۴۲. doi:۱۰,۱۱۰۸/MD-۰۳-۲۰۱۹-۰۳۸۳

Sauser, B., Baldwin, C., Pourreza, S., Randall, W., & Nowicki, D. (۲۰۱۸). Resilience of small-and medium-sized enterprises as a correlation to community impact: an agent-based modeling approach. *Natural Hazards, 90*(۱), ۷۹-۹۹. doi:۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۰۶۹-۰۱۷-۳۰۳۴-۹

Sheffi, Y. (۲۰۰۶). Resilience reduces risk. *Logistics Quarterly, 12*(۱), ۱۲-۱۴.

Shi, Y., Zhai, G., Xu, L., Zhou, S., Lu, Y., Liu, H., & Huang, W. (۲۰۲۱). Assessment methods of urban system resilience: From the perspective of complex adaptive system theory. *Cities, 112*, ۱۰۳۱۴۱.

Shirali, G. A., Mohammadfam, I., & Ebrahimipour, V. (۲۰۱۳). A new method for quantitative assessment of resilience engineering by PCA and NT approach: A case study in a process industry. *Reliability Engineering & System Safety, 119*, ۸۸-۹۴. doi:۱۰,۱۰۱۶/j.ress.۲۰۱۳,۰۵,۰۰۳

Spiegler, V. L., Naim, M. M., & Wikner, J. (۲۰۱۲). A control engineering approach to the assessment of supply chain resilience. *International journal of production research, 50*(۲۱), ۶۱۶۲-۶۱۸۷. doi:۱۰,۱۰۸۰/۰۰۲۰۷۵۴۳,۲۰۱۲,۷۱۰۷۶۴

Stahl, B. C. (۲۰۲۲). Responsible innovation ecosystems: Ethical implications of the application of the ecosystem concept to artificial intelligence. *International Journal of Information Management, 62*, ۱۰۲۴۴۱.

Tang, H., Ma, Z., Xiao, J., & Xiao, L. (۲۰۲۰). Toward a more efficient knowledge network in innovation ecosystems: A simulated study on knowledge management. *Sustainability, 12*(۱۶), ۶۳۲۸.

Tong, Y., Liu, Q., He, K., & Liu, M. (۲۰۲۲). Research on the Influencing Factors of Innovation Ecosystem Resilience of High-tech Enterprises. *Industrial Engineering and Innovation Management, 5*(۱), ۵۷-۶۳. doi:۱۰,۲۳۹۷۷/ieim.۲۰۲۲,۰۵۰۱۱۰

Tran, H. T., Balchanos, M., Domerçant, J. C., & Mavris, D. N. (۲۰۱۷). A framework for the quantitative assessment of performance-based system resilience. *Reliability Engineering & System Safety, 158*, ۷۳-۸۴. doi:۱۰,۱۰۱۶/j.ress.۲۰۱۶,۱۰,۰۱۴

Yang, W., Lao, X., Zhou, Q., & Zhang, L. (۲۰۲۲). The Governance Niche Configurations for the Resilience of Regional Digital Innovation Ecosystem. *Stud. Sci. Sci, 40*, ۵۳۴-۵۴۴.

Zobel, C. W. (۲۰۱۱). Representing perceived tradeoffs in defining disaster resilience. *Decision Support Systems, ۵۰*(۲), ۳۹۴-۴۰۳.

Zschaler, S., & Polack, F. A. (۲۰۲۳). Trustworthy agent-based simulation: the case for domain-specific modelling languages. *Software and Systems Modeling, 22*(۲), ۴۵۵-۴۷۰.

ع. شیراز, حیدریه, س. عبدالله ,افشارکاظمی, "طراحی مدل استراتژی های زنجیره تامین با رویکرد پویایی سیستم در صنعت چوب و کاغذ," مطالعات مدیریت صنعتی.۲۰۲۲, ۱۸۲-۱۵۳, pp. ۶۴, no. ۲۰, vol. .

س. عبدی, م. یزدانی, ا. نجفی, "ارائه مدل مفهومی اکوسیستم نوآوری نیرو با استفاده از رویکرد پویایی سیستم و فراترکیب," مجله پژوهش‌های برنامه ریزی و سیاستگذاری انرژی۲۰۲۳, ۱۹۳-۱۴۸, pp. ۲, no. ۹, vol. .

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-10-05 ]