مقاله پژوهشی

مدل‌سازی ریاضی تخصیص منابع در شرایط بحرانی با هدف افزایش سطح تاب‌آوری فرآیندهای عملیاتی: مورد مطالعه صنعت نساجی

مهناز ابراهیمی صدرآبادی

دانشجوی دکترای مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. mahnaz.enrahimi@modares.ac.ir

بختیار استادی

(نویسنده مسئول)، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. bostadi@modares.ac.ir،

علی حسین‌زاده کاشان

دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

محمدمهدی سپهری

استاد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده: در دنیای پرمخاطره و متغیر کنونی، تخصیص بهینه منابع از اهمیت زیادی برخوردار است، که در صورت تخصیص نادرست منابع، باعث خسارات فراوان به سازمان‌ها می‌شود. به دلیل افزایش تقاضا در شرایط بحرانی، تخصیص بهینه منابع بسیار حیاتی است. همچنین با گذشت زمان و افزایش بحران، سازمان‌ها به طور فزاینده‌ای در معرض اختلال هستند، بنابراین سازمان‌ها برای محافظت خود در برابر پیامدهای مخرب، نیاز به تاب‌آور بودن هستند. در تخصیص منابع و در جاهایی که کمبود منابع وجود دارد، تاب‌آور بودن فرایندها مقوله قابل توجهی است. اگر تخصیص منابع درست انجام نشود یا با کمبود انجام شود عوارضی بدنبال خواهد داشت، از جمله اینکه فرایندها تاب‌آور نباشند. پس پرداختن به موضوع تاب‌آوری برای فرایندهای عملیاتی در موضوع تخصیص منابع اهمیت بسزایی پیدا می‌کند. در مدل‌سازی مقاله حاضر، تخصیص منابع با هدف حداقل کردن فقدان تاب‌آوری استفاده شده است. این مدل‌سازی منجر به شکل‌گیری مفهوم جدیدی تحت عنوان تاب‌آوری فرایند شده است. مسئله یک فرض اساسی دارد، این است که حداقل در یکی از منابع موجود با توجه به میزان بیش از حد بودن تقاضا، کمبود منبع وجود داشته باشد. پس از حل مدل با آزمایش عددی، نتایج مدل تشریح شد و مشخص شد که رویدادهای مخرب قبل از آستانه تحمل بازیابی شدند. مقدار فقدان تاب‌آوری با توجه به منابع تخصیص داده شده کارخانه و در وضعیت فعلی کارخانه برابر با ۳.۹۹ است ولی میزان فقدان تاب‌آوری در شرایط بهینه و با استفاده از مدل‌سازی موجود در این مقاله برابر با ۳.۲۷۸ بدست آمده است.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی فرایند، تاب‌آوری فرایند، تخصیص منابع، کمبود منابع

۱- مقدمه

اهمیت بهینه‌سازی فرآیند بر کسی پوشیده نیست، زیرا منجر به دستیابی سازمان‌ها به اهداف خود شده و موجب تسهیل اجرای مأموریت‌های سازمانی می‌شود. به ویژه در شرایط فعلی که سازمان‌ها در شرایط بد اقتصادی و بحران هستند، بهینه‌سازی فرایند بیشتر مورد بحث قرار می‌گیرد. در شرایط پرمخاطره و متغیر کنونی، تخصیص بهینه منابع بسیار مهم است، که در صورت تخصیص نادرست منابع، خسارت‌های فراوانی به سازمان‌ها وارد می‌گردد. در شرایط بحران، سازمان‌ها به دنبال استفاده مطلوب از منابع موجود خود هستند. اصلی‌ترین تلاش‌های سازمان دستیابی به حداکثر خروجی است که با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی می‌توان به آن دست یافت. مدل‌سازی، ابزاری منظم در تدوین و تخصیص منابع است که می‌تواند اطلاعات لازم برای تصمیمات جهت دستیابی به اهداف را فراهم کند. منظور از بهینگی در تخصیص، بیشینه‌سازی تعداد خروجی و سود و کمینه‌سازی ریسک، هزینه یا هر هدف

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴
دوره ۱۱/ شماره ۴
صفحات ۳۹۳-۴۱۲

Corresponding author: bostadi@modares.ac.ir

دیگری است که با توجه به شرایط مسئله تعریف می‌شود. از آنجا که مسئله تخصیص منابع در زمینه‌های مختلف کاربردهای فراوان و وسیعی دارد، جهت فرموله کردن این مسئله از روش‌های مختلفی استفاده می‌گردد. در صورت رخداد رویدادهای مخرب به هنگام تخصیص منابع، سازمان باید با ارائه سطح مناسبی از تاب‌آوری سازمانی به رویدادهای مخرب پاسخ دهد. بنابراین با ظهور مباحثی چون اهمیت تاب‌آور بودن فرآیندها، تحقیقاتی در حوزه تاب‌آوری هم موضوعیت پیدا کرد. با توجه به افزایش مخاطرات، که در برخی موارد موجب وقوع یک فاجعه بزرگ می‌شود، جامعه را به مدیریت تاب‌آوری نیازمند ساخته است. در واقع زمانی که یک رویداد مخرب رخ می‌دهد، تاب‌آوری موجب مدیریت آن می‌شود که در نهایت می‌تواند باعث کاهش مدت زمان اختلال یا کاهش تأثیر آن در عملکرد سیستم شود [۱]. در ادبیات انجام شده در حوزه تاب‌آوری مدل‌ها، روش‌ها و چارچوب‌های مختلف برای تجزیه‌وتحلیل و اندازه‌گیری آن وجود دارد که در زمینه‌های کاربردی مختلفی چون سیستم‌های اکولوژیک، اقتصاد و سیستم‌های مالی، مهندسی لرزه‌نگاری و سیستم‌های ساختاری، سیستم‌های خدماتی، سیستم‌های مخابراتی، زیرساخت‌های شهری انجام شده است [۲].

نوآوری مقاله حاضر به شرح زیر خلاصه می‌شود:

- تخصیص منابع با در نظر گرفتن تاب‌آوری در سطح فرایند و فعالیت‌ها
- در نظر گرفتن منابع در دو دسته فعالیت‌محور و خروجی‌محور
- مدل‌سازی تخصیص منابع با توجه به ماهیت عملیات و فعالیت‌ها و در نظر گرفتن مفروضات پیش‌نیازی و هم‌نیازی فعالیت‌ها

بخش‌های بعدی مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: بخش ۲ پیشینه پژوهش را توضیح می‌دهد. در بخش ۳ فرض مسئله و مدل پیشنهادی ارائه داده می‌شود. در بخش ۴ مورد مطالعه برای اثبات کاربردی بودن مدل ارائه شده، آورده شده است. سرانجام، بخش ۵ به بیان نتیجه‌گیری می‌پردازد.

۲- مرور ادبیات

۲-۱- بررسی تحقیقات انجام شده در حوزه تخصیص منابع

با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته در حوزه تخصیص منابع، روش‌های ریاضی گوناگونی جهت تخصیص منابع استفاده شده است، که این مدل‌ها عبارتند از: تصمیم‌گیری چند معیاره، برنامه‌ریزی خطی، پویایی سیستم، برنامه‌ریزی آرمانی، رویکردهای هیوریستیک، تحلیل پوششی داده‌ها، منطق فازی، مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد، مدل برنامه‌ریزی پویا و شبکه پتری رنگین. مدل تخصیص منابع ریشه در تحقیقات انجام شده توسط باور[1] در سال ۱۹۷۰ دارد و توسط برگلمن[2] در سال ۱۹۸۳ نیز توسعه یافت. که این تحقیقات الهام‌بخش مجموعه‌ای غنی از مطالعات میدانی، در سازمان‌های بزرگ گرفته تا شرکت‌های کوچک و استارتاپ‌های کارآفرینی است. بتدریج مطالعات دیگر شروع به کشف محدودیت‌های مدل تخصیص منبع کرده‌اند. در این مطالعات شرایطی که تحت آن مدل تجویزی و یا توصیفی است، را زیر سوال می‌برد، که مطالعات ایسنمن[3] و باور در سال ۲۰۰۰ نمونه‌ای از این موضوع است [۳]. در سال ۱۹۹۹ کوک و کرس اولین تلاش برای تخصیص هزینه ثابت با استفاده از رویکرد DEA انجام دادند. سپس بیسلی[4]در سال ۲۰۰۳ به ارائه یک رویکرد تخصیص هزینه جایگزین با به حداکثر رساندن میانگین کارایی و افزودن محدودیت‌ها و مدل‌ها برای تخصیص هزینه منحصر بفرد پرداخته است [۴]. لوزانو[5] و ویلا در سال ۲۰۰۴ برای اولین بار مدل‌های تخصیص منابع را ارائه کردند. آن‌ها از مدل تحلیل پوششی داده‌های خروجی‌محور جهت عملیات بازیافت منطقه‌ای در شهرهای اسپانیا استفاده کردند. هدف از پژوهش آن‌ها، تخصیص ظروف شیشه‌ای به هر شهر به گونه‌ای است که تعداد کل شیشه‌های بازیافت شده ماکسیمم شود [۵]. جوگلکار[6] و همکاران (۲۰۰۵) از پویایی سیستم و شبیه‌سازی جهت تخصیص منابع برای توسعه محصول استفاده کردند. به عقیده آن‌ها تخصیص مناسب، باعث کوتاه‌تر شدن زمان پروژه‌های

[1] Bower
[2] Burgelman
[3] Eisenmann
[4] Beasely
[5] Lozano
[6] Joglekar

توسعه محصول باشد [۶]. در سال ۲۰۰۷ مدلی جهت ارزیابی تأثیر تخصیص منابع در بیمارستان‌های دولتی با هدف به حداقل رساندن مرگ و میر با استفاده از رویکرد احتمالی ارائه شد [۷]. فاتورچی[1] و همکاران (۲۰۱۴) به تخصیص بهینه منابع محدود به قابلیت‌های پاسخگویی و اقدامات آمادگی که آن‌ها را تسهیل می‌کند، پرداخته شده است. که در آن به حداکثر رساندن تاب‌آوری باند فرودگاه و شبکه فرودگاه تحت چندین سناریوی آسیب هواشناسی پرداخته شده است [۸]. در زمینه تخصیص منابع با هدف افزایش تاب‌آوری و تداوم کسب و کار صاحب‌جمع‌نیا[2] و همکاران در سال ۲۰۱۵ یک مدل ریاضی تخصیص منابع برای تعیین منابع مورد نیاز برای مقابله با رویدادهای مخرب ارائه کرده است. که در این مدل به برنامه‌ریزی تخصیص همزمان منابع داخلی و خارجی با هدف به حداقل رساندن جمع وزنی فقدان تاب‌آوری محصولات کلیدی در طول زمان و همچنین حداقل رساندن زمان بازیابی کل محصولات کلیدی پرداخته شده است. همچنین در این مقاله فرض شده است که میزان منابع مورد نیاز کمتر از منابع داخلی و خارجی موجود است [۹]. ترابی و همکاران در سال ۲۰۱۶ یک روش جدید برای تأمین منابع موردنیاز برای ادامه کارکردهای کلیدی پس از وقوع خطر ارائه داده‌اند [۱۰]. در سال ۲۰۱۸ صاحب‌جمع‌نیا و همکاران در ادامه تحقیقات خود در سال ۲۰۱۵ به ارائه یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه جهت برنامه‌ریزی تخصیص منابع داخلی و خارجی با حداقل زمان از سرگیری ، زمان ترمیم و از دست دادن سطح عملیاتی عملکردهای مهم پرداخته‌اند. مدل ارائه شده یک مدل برنامه‌ریزی تداوم کسب و کار و بازیابی فاجعه برای ایجاد تاب‌آوری سازمانی است که شامل ۳ تابع هدف، حداقل کردن مجموع وزن فقدان سطح عملیات عملکردهای بحرانی، حداقل رساندن زمان بازیابی با ماکسیمم کردن تعداد دوره‌های پس از اختلال و به حداقل رساندن مجموع وزنی زمان‌های بازیابی پس از رخداد حوادث مخرب می‌باشد [۱۱]. استادی و همکاران در مقاله‌ای دیگر در سال ۲۰۱۸ به مدل‌سازی تخمین تعداد بهینه تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز فرآیندهای عملیاتی در صنعت نساجی پرداخته‌اند. با توجه به نتایج مدل پیشنهادی، اطلاعات جامع‌تر و دقیق‌تری در شرایط عدم اطمینان فراهم شده است که می‌تواند برای تصمیم‌گیری‌های مناسب درمورد بازنگری ظرفیت استفاده نشده، کاهش هزینه های منابع بی استفاده و افزایش کارایی و بهره وری صنایع کاربرد داشته باشد [۱۲]. همچنین از جمله کارهایی که در حوزه مدل‌سازی ریاضی تخصیص منابع در فرآیندها انجام شده است می‌توان به مقاله استادی و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کرد. که به هزینه‌یابی بر مبنای فعالیت برای خدمات بیمارستان با رویکرد فازی پرداخته شده و مدل پیشنهادی در یک نمونه مربوط به بخش ازمایشگاه بیمارستان بکار گفته شده است [۱۳]. در راستای مینیمم کردن فقدان تاب‌آوری در محصولات کلیدی سازمان و مینیمم کردن هزینه کل برنامه تداوم کسب و کار در سال ۲۰۱۹ مدلی ارائه شد. در این مقاله ترکیب دو منبع یعنی نیروی انسانی و مواد اولیه در نظر گرفته شده است [۱۴]. در سال ۲۰۲۰ یک مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد برای بهبود کیفیت خدمات واحد اورولوژی یک مرکز فوق تخصصی کلیه ارائه شده است که در آن به تخصیص بهینه تکنسین‌ها به شیفت‌ها میپردازد. از جمله نتایج این مدل کاهش زمان انتظار، نرخ کنسلی بیماران و نیز افزایش کارایی فرایندهای روش سنگ‌شکنی برون‌اندامی (ESWL) بوده است [۱۵]. شکری و سقایی (۱۳۹۹) در مقاله‌ای به بهبود عملکرد اورژانس و بهبود کیفیت تخصیص منابع اورژانس و منابع بیمارستانی پرداخته‌اند. آن‌ها از روش‌های آمار فضایی در توسعه بهره‌وری و مدیریت منابع اورژانس به منظور ارتقاء رفاه بیماران سکته قلبی و مغزی استفاده کرده‌اند [۱۶]. یو[3] و همکاران در سال ۲۰۲۰ به تخصیص بهینه منابع انسانی و ماشین‌آلات به برخی از فعالیت‌های بیمارستان با هدف بهبود کارآیی تخصیص منابع پزشکی پرداخته‌اند [۱۷]. در سال ۲۰۲۰ چارچوبی برای بهینه‌سازی تخصیص منابع توسط بانک‌های مواد غذایی در بین آژانس‌ها ارائه شده است. همچنین یک مدل برنامه‌نویسی پویا جهت تصمیم‌گیری مقدار تخصیص از هر محصول به آژانس‌ها نیز ارائه شده است [۱۸]. دنگ[4] و همکاران مدلی جهت تخصیص بهینه منابع دفاعی ارائه داده‌اند که به تخصیص منطقی منابع دفاعی و به حداقل رساندن ریسک شبکه می‌پردازد [۱۹]. در مقاله‌ای در سال ۲۰۲۰ به تخصیص تخت به ۳۱ بخش درمانی و همچنین به تحلیل کارایی و تخصیص منابع در بخش‌های مختلف بیمارستان‌ها با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های متمرکز پرداخته شده است [۲۰]. در سال

[1] Faturechi
[2] Sahebjamnia
[3] Yu
[4] Deng

۲۰۲۰ مدلی جهت تخصیص بهینه بودجه بین مولفه‌ها با هدف افزایش تاب‌آوری سیستم ارائه شد که یک واحد تولید برق با یک سری مشخصات احتمالی در نظر گرفته شده که با بهبود هر مشخصه یا زیرمجموعه‌ای از آن‌ها زمان بازیابی ژنراتور را کاهش می‌دهد. بنابراین با توجه به محدودیت بودجه، زیرمجموعه همه مشخصات باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که سطح تاب‌آوری بالاتری برای سیستم حاصل شود [۲۱]. در سال ۲۰۲۱ در ادامه تحقیقات صاحب‌جمع‌نیا و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه جهت تخصیص بهینه منابع در شرایط فاجعه با هدف به حداقل رساندن فقدان تاب‌آوری و ماکسیمم کردن ارزش تداوم کسب و کار در سازمان‌ها ارائه شده است که در این مدل فرض‌هایی مانند در نظر گیری اثرات تقابلی رویدادهای مخرب، اقدامات واکنشی سازمان بعد از رویداد مخرب اضافه شده و همچنین به چگونگی تخصیص منابع به فعالیتهای بحرانی در صورت وقوع رویدادهای مخرب پرداخته شده است [۲۲]. همچنین در مقاله‌ای دیگر، پیرو تحقیقات مختاریان دلوئی و استادی (۱۳۹۸)، تکنسین‌ها با استفاده از مدل مارکوئیتز به شیفت‌ها هفته تخصیص داده شدند. در این مقاله، هنگام تخصیص منابع، ریسک حداقل و بازده به حداکثر می‌رسد [۲۳]. در سال ۲۰۲۰ مقاله‌ای جهت تخصیص بهینه ساختار منابع انسانی با استفاده از مدل قابلیت بلوغ یکپارچه ارائه شده است. درواقع با توجه به مدل قابلیت بلوغ و سطح بلوغ آن، مدل قابلیت بلوغ یکپارچه ایجاد شده و الگوریتم تخصیص بهینه منابع انسانی بر اساس مدل طراحی شده است [۲۴]. در مقاله‌ای دیگر در سال ۲۰۲۰ به تخصیص بهینه نیروی انسانی پرستاری به روزهای هفته و همچنین بهینه‌سازی زمان انتظار بیماران برای درمان اورژانسی پرداخته شده است. که در این مقاله از تئوری صف نیز استفاده شده است [۲۵].

۲-۲- بررسی تحقیقات انجام شده در حوزه تاب‌آوری

با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته در حوزه تاب‌آوری، روش‌های ریاضی گوناگونی جهت سنجش تاب‌آوری استفاده شده است، که عبارتند از: شبکه عصبی، ارائه چارچوب‌های مفهومی، مدل بهینه‌سازی، مدل‌های شبیه‌سازی، مدل منطق فازی، مدل‌سازی معادلات ساختاری و نقشه شناخت فازی. هالینگ[1] در سال ۱۹۷۳ تحقیقاتی پیرامون مفهوم تاب‌آوری با عنوان "تاب‌آوری و پایداری سیستم‌های زیست محیطی" انجام داده که این مفهوم ریشه در تحقیقات وی دارد. تحقیقات هالینگ پایه و اساس مطالعات بعدی در زمینه مفهوم تاب‌آوری شده است [۲۶]. برانو[2] و همکاران برای اندازه‌گیری میزان از رفتن تاب‌آوری یک جامعه در یک زمین لرزه نیز یک معیار ایستا قطعی پیشنهاد داده‌اند، که از طریق فرمول (۱) محاسبه می‌شود. در اینجا Q (t) کیفیت زیرساخت های جامعه در بازه زمان t_0 تا t_1 است. همچنین عملکرد را در حدود ۰٪ تا ۱۰۰٪ در نظر گرفته‌اند که ۱۰۰٪ به معنای عدم تخریب خدمات و ۰٪ به معنای عدم ارائه خدمات می‌باشد [۲۷].

$$RL = \int_{t_0}^{t_1} \left[۱۰۰ - Q(t)\right] dt \qquad (۱)$$

چانگ[3] و شینوزوکا[4] برای ارزیابی تاب‌آوری یک رویکرد احتمالی که با دو پارامتر از دست دادن عملکرد و مدت بهبودی اندازه‌گیری می‌شوند، پیشنهاد داده‌اند [۲۸]. رز[5] به تعریف مفهوم تاب‌آوری اقتصادی با دو شاخص تاب‌آوری ایستا و تاب‌آوری پویا پرداخته است [۲۹]. مدنی[6] و جاکسون[7] به تعریف تاب‌آوری از دیدگاه‌های مختلف پرداخته است، همچنین یک چارچوب مفهومی برای مهندسی تاب‌آوری ارائه داده‌اند [۳۰]. انجالبرت[8] و همکاران برای تاب‌آوری سیستم های حمل و نقل عمومی دو معیار ارزیابی تاب آوری محلی و جهانی را ارائه داده‌اند [۳۱]. اویانگ[9] و همکاران برای اندازه گیری سالانه تاب‌آوری (AR) در برابر رویدادهای چند خطره، یک متریک وابسته به زمان ارائه داده‌اند [۳۲]. آزاده[10] و همکاران به ارائه مفهوم جدیدی از RE پرداخته‌اند که به آن ادغام RE یا IRE[11] گفته می‌شود. که علاوه بر خود سازماندهی، کار گروهی، فراوانی و تحمل‌پذیری نیز تعهد سطح بالا، فرهنگ گزارش، یادگیری،

[1] Holling
[2] Bruneau
[3] Chang
[4] Shinozuka
[5] Rose
[6] Madni
[7] Jackson
[8] Enjalbert
[9] Ouyang
[10] Azadeh
[11] integrated resilience engineering

آگاهی، آمادگی و انعطاف‌پذیری را شامل می‌شود. در ادامه آن‌ها عملکرد RE و ازاین‌رو IRE را با یکدیگر مقایسه کرده‌اند [۳۳]. آزاده و همکاران در مقاله دیگری به بررسی عوامل مؤثر بر سطح تاب‌آوری یک کارخانه پتروشیمی و قابلیت گسترش آن به سایر صنایع پرداخته‌اند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که آمادگی، آگاهی و انعطاف‌پذیری مهم‌ترین عامل در میان نه عامل RE است و افزونگی[1] عاملی است که کمترین تأثیر را در RE دارد [۳۴]. بهاوادرادان[2] و پتی[3] به ارائه یک معیار ارزیابی تاب آوری آوری با استفاده از هزینه شبکه بحرانی دولت پرداخته‌اند، که تاب‌آوری شبکه به‌عنوان تفاوت بین بهترین هزینه عملیاتی و هزینه عملیاتی بحرانی است [۳۵]. قمی و همکاران در سال ۱۳۹۵ به طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت شرایط اختلال و عدم‌قطعیت با در نظر گرفتن کیفیت محصولات و استراتژی تاب‌آوری پرداخته‌اند. در این مقاله برای اولین بار مفهوم تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری در مسأله طراحی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته در کنار مفهوم اختلال در تأمین ارائه شد [۳۶]. آزاده و همکاران تأثیرات متقابل مهندسی تاب‌آوری (RE) و عوامل مدیریتی و سازمانی در یک پالایشگاه بزرگ گاز را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که یادگیری و انعطاف‌پذیری در بین همه عوامل RE بیشترین تأثیر را بر عوامل مدیریتی و سازمانی دارد [۳۷]. گانگ[4] و یو[5] به ارائه ارائه یک چارچوب برای بهینه‌سازی تاب‌آوری شامل حداکثر کردن قابلیت تاب‌آوری در مورد بدترین حالت در دسترس بودن واحدهای فرآیند و به حداقل رساندن کل هزینه سرمایه پرداخته‌اند [۳۸]. جین[6] و همکاران به ارائه مدل بهینه‌سازی با تاب هدف کمینه‌سازی کل هزینه سالیانه و حداکثر کردن درآمد مورد انتظار و همچنین ارزیابی مدلی برای بقا یک سیستم فرآیند با استفاده از چارچوب تحلیلی تاب‌آور فرآیند پرداخته‌اند [۳۹]. یارویسی[7] و همکاران در مقاله خود نگاهی تازه به تعاریف تاب‌آوری و اندازه‌گیری آن داشته‌اند. همچنین این مقاله مجموعه جدیدی از معیارها را بر اساس مفهوم قابلیت اطمینان و قابلیت حفظ همراه با رویکرد مدل‌سازی سیستم ارائه می دهد [۴۰]. پیش‌نماززاده[8] و همکاران مدلی برای ارزیابی تاب‌آوری بیمارستان با توجه به در نظر گرفتن همزمان شاخص‌های کلیدی عملکرد ارائه داده‌اند. درواقع به مدل‌سازی عملکرد از دیدگاه مهندسی تاب‌آوری جهت بهبود عملکرد بیمارستان پرداخته‌اند. از جمله نتایج این مقاله این است که عوامل مرتبط با نیروی انسانی و تعداد تختخواب تأثیر معنی داری بر سطح تاب‌آوری بیمارستان‌ها دارند [۴۱].

۳. مدل تخصیص منابع در شرایط بحرانی

مسئله مورد نظر یک فرض دارد:

- حداقل در یکی از منابع موجود با توجه به میزان بیش از حد بودن خروجی‌ها و خدمات یا محصولات، کمبود منبع وجود داشته باشد.

$$\exists \sum_{o=1}^{O} \hat{X}_{oks} > ROI_{ks} + ROE_{ks} \qquad \forall k,s \qquad (۲)$$

$$\exists \sum_{o=1}^{O}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n_i} \hat{X}_{jiotk's} > RAI_{k's} + RAE_{k's} \qquad \forall k',s \qquad (۳)$$

بنابراین داریم:

اندیس‌ها:

O	اندیس خروجی (o=1,2,…,O)
K	اندیس نوع منابع خروجی‌محور (k=1,2,…,K)
k'	اندیس نوع منابع فعالیت‌محور (k=1,2,…, K')
T	اندیس زمان (t=1,2,…,T)
I	اندیس فرآیند (i=1,2,…,m)
J	اندیس فعالیت (j=1,2,…,n_i)
S	اندیس سناریو (s=1,2,…,S)

پارامترها:

$prob^s$	احتمال سناریو s
λ_{jios}	MBCO برای فعالیت jام از فرآیندiام خروجی o در سناریو s
Bg	بودجه موجود سازمان تحت شرایط غیرعادی (غیرمنتظره)
w_o	وزن برای خروجی o

[1] redundancy
[2] Bhavathrathan
[3] Patil
[4] Gong
[5] You
[6] Jain
[7] Yarveisy
[8] Pishnamazzadeh

P_o میزان تقاضا برای خروجی oام

ROE_{ks} مقدار کل منبع خارجی kام برای خروجی‌محور در سناریوی s

ROI_{ks} مقدار کل منبع داخلی kام برای خروجی‌محور در سناریوی s

$RAE_{K's}$ مقدار کل منبع خارجی k'ام برای فعالیت‌محور در سناریوی s

$RAI_{K's}$ مقدار کل منبع داخلی k'ام برای فعالیت‌محور در سناریوی s

CE_k هزینه منبع خارجی k خروجی‌محور

$CE_{\acute{k}}$ هزینه منبع خارجی k' فعالیت‌محور

$\hat{X}_{oks}$ مقدار منابع خروجی‌محور مورد نیاز kام که به خروجی oام در سناریوی s تخصیص داده می‌شود (درحالت عادی)

$\hat{X}_{jiotk's}$ مقدار منابع فعالیت‌محور مورد نیاز k'ام که به فعالیت jام از فرآیند iام خروجی oام در زمان t و در سناریوی s تخصیص داده می‌شود (درحالت عادی)

$\widehat{CR}_{oks}$ درصد مقدار منبع مورنیاز از نوع kام برای خروجی oام در سناریوی s در حالت عادی

$\widehat{CR}_{oks}$ درصد مقدار منبع مورنیاز از نوع $\acute{k}$ام برای خروجی oام در سناریوی s در حالت عادی

متغیرها:

Y_{jitsol} اگر سطح عملیات (ijo) در زمان t و در سناریوی s برابر با l باشد، مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر

M_{jiot} اگر فعالیت jام از فرآیند iام مربوط به خروجی o در زمان t فعال باشد، مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر

XI_{Oks} مقدار منابع داخلی خروجی‌محور kام که به خروجی oام در سناریوی s تخصیص داده می‌شود (درحالت بحرانی)

XE_{Oks} مقدار منابع خارجی خروجی‌محور kام که به خروجی oام در سناریوی s تخصیص داده می‌شود (درحالت بحرانی)

$XI_{\text{jiotk's}}$ مقدار منابع داخلی فعالیت‌محور k'ام که به فعالیت jام از فرآیند iام خروجی oام در زمان t و در سناریوی s تخصیص داده می‌شود (درحالت بحرانی)

$XE_{\text{jiotk's}}$ مقدار منابع خارجی فعالیت‌محور k'ام که به فعالیت jام از فرآیند iام خروجی oام در زمان t و در سناریوی s تخصیص داده می‌شود (درحالت بحرانی)

CR_{oks} درصد مقدار منبع تخصیص یافته از نوع kام برای خروجی oام در سناریوی s در حالت بحرانی

$CR_{o\acute{k}s}$ درصد مقدار منبع تخصیص یافته از نوع $\acute{k}$ام برای خروجی oام در سناریوی s در حالت بحرانی

W_{jiots} سطح عملیات برنامه‌ریزی شده برای فعالیت jام از فرآیند iام خروجی o در زمان t در سناریوی s

W_{os} سطح عملیات برنامه‌ریزی شده برای خروجی o در سناریوی s

از این‌رو می‌توان مدل تخصیص منابع با هدف مینیمم کردن فقدان تاب‌آوری به صورت ذیل بیان نمود. بنابراین داریم:

$$\text{Min (resilience lack)} = \sum_{s=1}^{S} \text{prob}^s \sum_{t=1}^{T} \sum_{o=1}^{O} w_o \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n_m} M_{jiot} * \left(L - W_{jiots}\right) + \sum_{s=1}^{S} \text{prob}^s \sum_{0=1}^{O} w_o * (L - W_{os}) \quad (۴)$$

$$\sum_{o=1}^{O} XI_{Oks} = ROI_{ks} \quad \forall k, s \quad (۵)$$

$$\sum_{o=1}^{O} XE_{Oks} = ROE_{ks} \quad \forall k, s \quad (۶)$$

$$XE_{Oks} + XI_{Oks} \geq \alpha \times \hat{X}_{oks} \quad \forall o, k, s \quad (۷)$$

$$XE_{Oks} + XI_{Oks} < \hat{X}_{oks} \quad \forall o, k, s \quad (۸)$$

$$\sum_{t=1}^{T} \sum_{o=1}^{O} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n_m} XI_{\text{jiotk's}} \leq RAI_{K's} \quad \forall k', s \quad (۹)$$

$$\sum_{t=1}^{T} \sum_{o=1}^{O} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n_m} XE_{\text{jiotk's}} \leq RAE_{K's} \quad \forall k', s \quad (۱۰)$$

$$XI_{\text{jiotk's}} + XE_{\text{jiotk's}} \geq \alpha \times M_{jiot} \times \hat{X}_{jiotk's} \quad \forall j, i, o, t, k', s \quad (۱۱)$$

$$XI_{\text{jiotk's}} + XE_{\text{jiotk's}} < M_{jiot} \times \hat{X}_{jiotk's} \quad \forall j, i, o, t, k', s \quad (۱۲)$$

$$\sum_{l=1}^{L} \sum_{o=1}^{O} Y_{jitsol} = 1 \quad \forall j, i, s, t \quad (۱۳)$$

$$\sum_{t=1}^{T} \sum_{l=1}^{L} l * Y_{jitsol} \geq \lambda_{jios} \quad \forall j, i, o, s \quad (۱۴)$$

$$\sum_{k=1}^{K} CE_K \sum_{o=1}^{O} XE_{Oks} + \sum_{t=1}^{T} \sum_{k'=1}^{K'} CE_{\acute{K}} \sum_{o=1}^{O} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n_m} XE_{\text{jiotk's}} \leq Bg \quad \forall s \quad (۱۵)$$

$$\sum_{l=1}^{L} lY_{jitsol} \geq W_{jiots} \quad \forall j, i, o, s, t \quad (۱۶)$$

$$\sum_{t=1}^{T} M_{jiot} = 1 \qquad \forall j,i,o \tag{۱۷}$$

$$M_{jiot} - M_{j'iot} = 0 \qquad j \neq j' \qquad \forall j,i,o \tag{۱۸}$$

$$M_{jiot} \leq M_{\mathrm{j''iot}} \qquad \forall j,i,o \tag{۱۹}$$

$$M_{jiot} + M_{\mathrm{j''iot}} = 1 \qquad j \neq \mathrm{j''} \qquad \forall j,i,o \tag{۲۰}$$

$$Y_{ijtsol}, M_{jiot} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j,o,\mathrm{l},\mathrm{t},\mathrm{s} \tag{۲۱}$$

$$XE_{Oks}, XI_{Oks}, XE_{\mathrm{jiotk's}}, XI_{\mathrm{jiotk's}}, W_{jiots} \geq 0 \qquad \forall o,i,j,k,t,s \tag{۲۲}$$

تابع هدف اول فقدان تاب‌آوری را کمینه می‌کند، در واقع به مینینمم کردن فاصله بین سطح عملیات برنامه‌ریزی شده (سطح عملیات یک محصول که توسط یک رویداد مخرب کاهش می‌یابد) و سطح عملیات معمولی (که حداکثر سطح عملکرد محصول است) می‌پردازد. $prob^s$ با توجه به حجم ورودی و ریسک‌های منابع در فرآیند در قالب سناریوهای سه گانه بدبینانه، واقع‌بینانه و خوبینانه در نظر گرفته خواهد شد. در اینجا تاب‌آوری بر اساس مقوله تخصیص منابع سنجش می‌شود. که دیتاهای مورد نیاز یکی در حالت عادی مقدار منابع مورد نیاز و یکی هم در حالت فعلی مقدار منابع تخصیص داده شده است. در اینجا بحث سطح عملیاتی وجود دارد که به‌عنوان مثال از ۱ تا ۵ در نظر گرفته می‌شود، که سطح عملیاتی حداکثر که برابر با ۵ است به معنی این است که همه منابع در دسترس هستند، اگر برابر با ۳ شود یعنی ۶۰ درصد منابع در دسترس هستند. با توجه به فرمول بدست آمده، هدف کم کردن فاصله سطح عملیات برنامه‌ریزی شده از سطح عملیات کل است. که دراینجا به‌عنوان مثال اگر ۶۰ درصد منابع تخصیص داده شود، این اختلاف برابر با ۵ منهای ۳ می‌شود و باید در وزن خروجی‌ها و همچنین احتمال سناریو نیز ضرب شود. حال در سازمان‌ها با داشتن دیتاهای مقدار منابع مورد نیاز و مقدار منابع تخصیص داده شده می‌توان میزان تاب‌آوری آن‌ها را محاسبه کرد. محدودیت (۵) و (۶) که محدودیت رعایت حداکثر منابع موجود برای منابع خروجی‌محور است، تضمین می‌کند که در حالت بحرانی مقدار منبع خروجی‌محور که تخصیص داده می‌شود، نمی‌تواند مقداری بیش‌تر از مقدار کل منبع داشته باشد. این محدودیت با توجه به سازمان و میزان منابع موجود و مور دنیاز ۲ حالت دارد، مساوی یا نامساوی؛ اگر میزان منابع موجود از میزان منابع مورد نیاز کمتر باشد رابطه مساوی برقرار است ولی اگر میزان منابع موجود از میزان منابع موردنیاز بیشتر باشد رابطه $\leq$ برقرار است. محدودیت حداقل تولید (۷) تضمین می‌کند که برای تولید محصول باید حداقل مقدار منبع خروجی‌محور تخصیص داده شود. محدودیت (۸) که محدودیت ظرفیت تولید است، تضمین می‌کند که به دلیل آنکه یک سری ریسک بر فرآیند مترتب می‌شود، ممکن است نتوان مقدار مورد نیاز را به آن تخصیص داد، در واقع کمتر از مقدار نیازش تخصیص داده می‌شود. بدین علت که وقتی مقدار تقاضا دو برابر شود، مقدار منبع مورد نیاز نیز دو برابر می‌شود ولی به علت ریسک‌های مترتب بر فرآیند و مقدار منابع موجود نمی‌توان به اندازه مقدار مورد نیاز به آن منبع تخصیص داد. محدودیت (۹) و (۱۰) که محدودیت رعایت حداکثر منابع موجود برای منابع فعالیت‌محور است، تضمین می‌کند که در حالت بحرانی مقدار منبع فعالیت‌محور که تخصیص داده می‌شود، نمی‌تواند مقداری بیش‌تر از مقدار کل منبع داشته باشد. این محدودیت با توجه به سازمان و میزان منابع موجود و موردنیاز ۲ حالت دارد، مساوی یا نامساوی؛ اگر میزان منابع موجود از میزان منابع مورد نیاز کمتر باشد رابطه مساوی برقرار است ولی اگر میزان منابع موجود از میزان منابع موردنیاز بیشتر باشد رابطه $\leq$برقرار است. محدودیت حداقل تولید (۱۱) تضمین می‌کند که برای تولید محصول باید به همه فعالیت‌ها درگیر در تولید خروجی حداقل مقدار منبع فعالیت‌محور تخصیص داده شود. همچنین محدودیت (۱۲) که محدودیت ظرفیت تولید، تضمین می‌کند که به دلیل آنکه یک سری ریسک بر فرآیند مترتب می‌شود، ممکن است نتوان مقداری واقعی را به آن تخصیص داد، در واقع کمتر از مقدار نیازش تخصیص داد. محدودیت (۱۳) تضمین میکند که در هر زمان، (IJ) فقط یه سطح عملیات می‌تواند داشته باشد. یعنی در زمان t، (IJO) نمی‌تواند چند سطح عملیات همزمان داشته باشد. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که برای زمان‌هایی که MTPD گذشته باشد، باید سطح عملکرد (IJO) بالاتر از MBCO باشد تا فعالیت مورد نظر fail نشود. محدودیت (۱۵) محدوده بودجه برای تأمین منابع فعالیت‌محور و خروجی‌محور را مشخص می‌کند. محدودیت (۱۶) سطح عملیات برنامه‌ریزی شده را در هر زمان مشخص می‌کند، یعنی سطح عملیات برنامه‌ریزی شده که به‌عنوان خروجی مسئله است حداکثر

می‌تواند به اندازه سطح عملیات محصول موردنظر در آن زمان باشد که در اینجا سطح حداکثر برابر با L است. محدودیت (۱۷) که محدودیت فعال بودن فعالیت است درواقع تضمین می‌کند که هر فعالیت در یک زمانی از (t=1,2,...,T) در فرآیند فعال است. محدودیت (۱۸) که محدودیت همزمانی فعالیت‌ها نامیده می‌شود، تضمین می‌کند که دو فعالیت j و j′ از فرآیند i همزمان فعال هستند. محدودیت (۱۹) و (۲۰) که محدودیت پیش‌نیازی فعالیت‌ها نامیده می‌شود، تضمین می‌کند که شرط پیش‌نیازی فعالیت‌ها برقرار است. در این نوع رابطه شرط آغاز فعالیت، اتمام فعالیت پیش‌نیازی می‌باشد. در نتیجه، فعالیت‌ها بایستی به نحوی برنامه‌ریزی شوند که حتما فعالیت‌های پیش‌نیاز آن‌ها انجام گیرند. محدودیت (۲۱) و (۲۲)، محدودیت صفر و یک بودن و نامنفی بودن متغیرهای تصمیم را تضمین می‌کند.

۴ مورد مطالعه

مورد مطالعه مقاله حاضر یک کارخانهٔ نساجی در قائم‌شهر مازندران است. کارخانه نساجی شماره یک قائمشهر جز اولین‌ها و قدیمی‌ترین کارخانجات نساجی کشور است که در علی آباد قدیم و قائم شهر امروز احداث شد. کارخانه نساجی قائم شهر دارای قسمت‌های ریسندگی، مقدمات بافندگی، بافندگی و سالن رنگرزی و تکمیل می‌باشد. در این بخش برای حل مدل از روش وزنی استفاده شده است. در جدول (۱) فعالیت‌ها و فرآیندهای مورد نیاز برای تولید خروجی‌ها با رنگ سبز نمایش داده شده است.

جدول۱- نمایش فعالیت‌های مورد نیاز برای تولید خروجی

	فرآیند حلاجی (i=1)					فرآیند مقدمات ریسندگی (i=۲)			فرآیند ریسندگی (i=۳)	فرآیند بازیابی (i=۴)	فرآیند مقدمات بافندگی (i=۵)		فرآیند بافندگی (i=۶)
محصول	انتقال بسته‌های پنبه uni flocکنار دستگاه (j=1)	عدل شکن (j=2)	باز کردن الیاف (j=۳)	انبار کردن الیاف باز شده (j=۴)	شانه کردن (j=۵)	فتیله کردن (j=۶)	کشش (تبدیل ۶ فتیله به یکی) (j=۷)	کشش (تبدیل ۸ فتیله به یکی) (j=۸)	ریسندگی (j=۹)	اصلاح ایرادات نخ (j=۱۰)	قرار دادن نخ در قفسه (j=۱۱)	چله‌پیچی (تشکیل تار) (j=۱۲)	بافندگی (ترکیب تار و پود) (j=۱۳)
نخ کارمزدی (O=1)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰
پارچه (O=2)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

با توجه به موارد ذکر شده، اطلاعات مربوط به مقدار منبع مورد نیاز در حالت بحرانی، مقدار منبع موجود داخلی و خارجی و مقدار تقاضا داده شده است.

همانطور که ذکر شده، منابع به دو دسته فعالیت‌محور و خروجی‌محور تقسیم می‌شوند:

۱- منابع فعالیت‌محور: برخی از منابع بر اساس ماهیت فعالیت هستند (مثل نیروی انسانی، ماشین‌آلات)

۲- منابع خروجی‌محور: برخی بر اساس تعداد خروجی o هستند (مثل مواد اولیه)

که منابع خروجی‌محور منابعی است که به ازای هر محصول است و ربطی به فعالیت ندارد، درسته در فعالیت خرج می‌شود ولی وابستگی به محصول دارد، درواقع منابع خروجی‌محور مستقیماً بر خروجی‌ها اثر می‌گذارند ولی منابع فعالیت‌محور از طریق فعالیت‌ها بر خروجی اثرشان را نشان می‌دهند.

۴-۱- ورودی‌های مسئله

در این بخش ورودی‌های مسئله را داریم، که میزان احتمال سناریو برای شرایط بدبینانه ۰.۳، واقع‌بینانه ۰.۵ و خوش‌بنیانه ۰.۲ است. همچنین میزان تقاضا برای خروجی ۱ برابر با ۳۷۵۰۰ کیلوگرم و برای خروجی ۲ برابر با m۱۷۲۵۰۰ است. میزان هزینه منبع انسانی ۱۲۰۰۰، منبع ماشین‌آلات برابر با ۳۰۰۰۰۰ و منبع مواد اولیه برابر با ۱۵۰۰۰ است. مقدار بودجه کارخانه برابر با ۵۰۰۰۰۰۰۰ است. همچنین وزن خروجی ۱ برابر با ۰.۶ و خروجی ۲ برابر با ۰.۴ است. میزان منبع موجود داخلی منابع انسانی در سناریو بدبینانه برابر با ۲۷۲۰۰، در سناریوی واقع‌بینانه برابر با ۲۹۶۰۰ و در سناریو خوش‌بینانه برابر با ۳۱۲۰۰ است. میزان منبع موجود خارجی منابع انسانی

در سناریو بدبینانه برابر با ۱۱۲۰۰، در سناریوی واقع‌بینانه برابر با ۱۲۰۰۰ و در سناریو خوش‌بینانه برابر با ۱۵۳۶۰ است. میزان منبع موجود داخلی منبع ماشین‌آلات در سناریو بدبینانه برابر با ۳۲۴۰۰، در سناریوی واقع‌بینانه برابر با ۳۷۴۴۰ و در سناریو خوش‌بینانه برابر با ۴۶۸۰۰ است. میزان منبع موجود خارجی منبع ماشین‌آلات در سناریو بدبینانه برابر با ۰، در سناریوی واقع‌بینانه برابر با ۰ و در سناریو خوش‌بینانه برابر با ۴۸۰ است. میزان منبع موجود داخلی منبع مواد اولیه در سناریو بدبینانه برابر با ۸۱۰۰۰، در سناریوی واقع‌بینانه برابر با ۸۲۰۰۰ و در سناریو خوش‌بینانه برابر با ۸۵۰۰۰ است. میزان منبع موجود خارجی منبع مواد اولیه در سناریو بدبینانه برابر با ۴۰۰۰، در سناریوی واقع‌بینانه برابر با ۵۰۰۰ و در سناریو خوش‌بینانه برابر با ۵۰۰۰ است.

جدول۲- نرخ مصرف منابع خروجی‌محور kام برای خروجی oام

r_{oks}			
	K=1,s=1	K=1,s=2	K=1,s=3
o=1	۶	۵	۳
o=2	۶	۵	۳

جدول۳. MBCO برای فعالیت jام از فرآیندام خروجی o در سناریو s

λ_{jios}			
	S=1	S=2	S=3
i=1 , j=1,o=1	۷	۶	۵
i=1 , j=1,o=2	۷	۶	۵
i=1 , j=2,o=1	۹	۸	۷
i=1 , j=2,o=2	۹	۸	۷
i=1 , j=3,o=1	۹	۸	۷
i=1 , j=3,o=2	۹	۸	۷
i=1 , j=4,o=1	۶	۵	۴
i=1 , j=4,o=2	۶	۵	۴
i=1 , j=5,o=1,	۶	۵	۴
i=1 , j=5,o=2	۶	۵	۴
i=2 , j=6,o=1	۷	۶	۵
i=2 , j=6,o=2	۷	۶	۵
i=2 , j=7,o=1	۸	۷	۶
i=2 , j=7,o=2	۸	۷	۶
i=2 , j=8,o=1	۶	۵	۴
i=2 , j=8,o=2	۶	۵	۴
i=3, j=9,o=1	۵	۴	۳
i=3 , j=9,o=2	۵	۴	۳
i=4 , j=10,o=1	۹	۸	۷
i=4 , j=10,o=2	۹	۸	۷
i=5 , j=11,o=2	۸	۷	۶
i=5 , j=12,o=2	۶	۵	۴
i=6 , j=13,o=2	۵	۴	۳

جدول۴. نرخ مصرف منابع فعالیت‌محورkام برای خروجی oام در زمان t و در سناریو s

$r_{jiotk's}$			
	t=1,2,3 $s=1$	t=1,2,3 s=2	t=1,2,3 s=3
i=1 , j=1,o=1, $k'=1$	۲۰	۱۷	۱۵
i=1 , j=1,o=2, $k'=1$	۲۰	۱۷	۱۵
i=1 , j=2,o=1, $k'=1$	۱۵	۱۲	۱۰
i=1 , j=2,o=2, $k'=1$	۱۵	۱۲	۱۰
i=1 , j=3,o=1, $k'=1$	۱۶	۱۳	۱۱
i=1 , j=3,o=2, $k'=1$	۱۶	۱۳	۱۱
i=1 , j=4,o=1, $k'=1$	۱۳	۱۰	۹
i=1 , j=4,o=2, $k'=1$	۱۳	۱۰	۹
i=1 , j=5,o=1, $k'=1$	۸۰	۷۰	۶۰
i=1 , j=5,o=2, $k'=1$	۸۰	۷۰	۶۰
i=2 , j=6,o=1, $k'=1$	۷۰	۶۵	۶۰
i=2 , j=6,o=2, $k'=1$	۷۰	۶۵	۶۰
i=2 , j=7,o=1, $k'=1$	۱۲۰	۱۰۰	۹۰
i=2 , j=7,o=2, $k'=1$	۱۲۰	۱۰۰	۹۰
i=2 , j=8,o=1, $k'=1$	۱۵۰	۱۴۰	۱۳۰
i=2 , j=8,o=2, $k'=1$	۱۵۰	۱۴۰	۱۳۰
i=3, j=9,o=1, $k'=1$	۶۰۰	۵۰۰	۴۵۰
i=3 , j=9,o=2, $k'=1$	۶۰۰	۵۰۰	۴۵۰
i=4 , j=10,o=1, $k'=1$	۲۳۰	۲۱۰	۲۰۰
i=4 , j=10,o=2, $k'=1$	۲۳۰	۲۱۰	۲۰۰
i=5 , j=11,o=2, $k'=1$	۱۱	۹	۸
i=5 , j=12,o=2, $k'=1$	۷۰	۶۵	۶۰
i=6 , j=13,o=2, $k'=1$	۱۴۰	۱۱۰	۹۰
i=1 , j=1,o=1, $k'=2$	۱۵	۱۳	۱۱
i=1 , j=1,o=2, $k'=2$	۱۵	۱۳	۱۱
i=1 , j=2,o=1, $k'=2$	۲۰	۱۸	۱۴
i=1 , j=2,o=2, $k'=2$	۲۰	۱۸	۱۴
i=1 , j=3,o=1, $k'=2$	۱۶	۱۳	۱۰
i=1 , j=3,o=2, $k'=2$	۱۶	۱۳	۱۰
i=1 , j=4,o=1, $k'=2$	۱۳	۱۰	۷
i=1 , j=4,o=2, $k'=2$	۱۳	۱۰	۷
i=1 , j=5,o=1, $k'=2$	۸۰	۷۰	۶۰
i=1 , j=5,o=2, $k'=2$	۸۰	۷۰	۶۰
i=2 , j=6,o=1, $k'=2$	۷۰	۶۵	۵۵
i=2 , j=6,o=2, $k'=2$	۷۰	۶۵	۵۵
i=2 , j=7,o=1, $k'=2$	۹۰	۸۰	۷۰
i=2 , j=7,o=2, $k'=2$	۹۰	۸۰	۷۰
i=2 , j=8,o=1, $k'=2$	۱۴۰	۱۳۰	۱۱۵
i=2 , j=8,o=2, $k'=2$	۱۴۰	۱۳۰	۱۱۵
i=3, j=9,o=1, $k'=2$	۳۰۰	۲۵۰	۲۲۰
i=3 , j=9,o=2, $k'=2$	۳۰۰	۲۵۰	۲۲۰
i=4 , j=10,o=1, $k'=2$	۱۳۰	۱۱۰	۹۰
i=4 , j=10,o=2, $k'=2$	۱۳۰	۱۱۰	۹۰
i=5 , j=11,o=2, $k'=2$	۴۰	۳۵	۲۰
i=5 , j=12,o=2, $k'=2$	۱۸	۱۶۵	۱۴۵
i=6 , j=13,o=2, $k'=2$	۲۶۰	۲۴۰	۲۲۰

۴-۲- خروجی‌های مسئله

ابتدا شرط مسئله که حداقل در یکی از منابع موجود (نیروی انسانی، ماشین‌آلات یا مواد اولیه) با توجه به شرایط بحرانی باید کمبود منبع وجود داشته باشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد. که با توجه به بررسی‌های انجام شده در قسمت منبع مواد اولیه (پنبه) کمبود وجود دارد. یعنی با توجه به رابطه (۲) میزان منبع مورد نیاز از میزان منابع موجود داخلی و خارجی بیشتر است، که در جدول (۵) مقدار آن‌ها مشخص شده است. پس شرط مسئله برقرار است.

جدول۵- مقادیر مربوط به منابع مورد نیاز و موجود جهت اثبات برقراری فرض مسئله

	$\sum_{o=1}^{O} \hat{X}_{oks}$	$ROI_{ks} + ROE_{ks}$
S=1	۱۹۵۰۰۰	۸۱۰۰۰+۴۰۰۰=۸۵۰۰۰
S=2	۱۶۲۵۰۰	۸۲۰۰۰+۵۰۰۰=۸۷۰۰۰
S=3	۹۷۵۰۰	۸۵۰۰۰+۵۰۰۰=۹۰۰۰۰

مدل در نرم افزار GAMS حل و از روش وزنی استفاده شده است. خروجی‌های مدل به صورت ذیل است:

مقدار تاب‌آوری ۳.۲۷۸ شده است. مقدار منابع تخصیص داده شده به دو دسته منابع خارجی و داخلی تقسیم شدند که جمع مقدار منابع تخصیص داده شده داخلی فعالیت‌محور با منابع خارجی فعالیت‌محور برابر با مقدار منابع موردنیاز است. مقدار منابع تخصیص داده شده خارجی خروجی‌محور در سناریوی بدبینانه برابر با ۴۰۰۰، در سناریو واقع‌بینانه برابر با ۵۰۰۰ و در سناریوی خوش‌بینانه برابر با ۵۰۰۰ است. مقدار سطح عملیاتی از ۱ تا ۱۰ در نظر گرفته شده که سطح عملیات برنامه‌ریزی شده برای فعالیت *j*ام از فرآیند *i*ام خروجی *o* در زمان *t* در سناریوی s برابر با ۱۰ است، زیرا در منابع فعالیت‌محور کمبود وجود ندارد و با توجه به رابطه مربوطه برای سطح عملیات برنامه‌ریزی شده همه مقادیر سطح عملیات برنامه‌ریزی شده برای منابع فعالیت‌محور نیز ۱۰ بدست آمده است. و سطح عملیات برنامه‌ریزی شده برای منابع خروجی‌محور برای خروجی ۱ در همه سناریوها برابر با ۸ و برای خروجی ۲ در سناریوی بدبینانه برابر با ۱، در سناریو واقع‌بینانه برابر با ۳ و در سناریوی خوش‌بینانه برابر با ۸ است. همچنین فعالیت‌های ۱ تا ۸ در دوره ۱ و فعالیت‌های ۹ و ۱۰ در دوره ۲ و فعالیت‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ در دوره ۳ فعال هستند.

جدول۶- مقدار منابع خارجی فعالیت‌محور k'ام که به فعالیت jام از فرآیند iام خروجی oام در زمان t و در سناریوی s تخصیص داده می‌شود (درحالت بحرانی)

$XE_{\text{jiotk's}}$					
	t=1 $s=1$	t=1 s=3	t=2 $s=1$	t=2 s=3	t=3 $s=1$
i=1, j=2,o=1, $k'=1$	۶۳.۵۴۲				
i=1 , j=4,o=2, $k'=1$		۵۵.۶۲۵			
i=2 , j=8,o=2, $k'=1$	۹۲۷.۰۸۳				
i=3 , j=9,o=1, $k'=1$			۲۵۴۱.۶۶۷		
i=4, j=10,o=2, $k'=2$				۴۸۰	
i=6 , j=13,o=2, $k'=1$					۶۳۴.۳۷۴

جدول۷. مقدار منابع داخلی خروجی‌محور Kام خروجی oام در سناریوی s تخصیص داده می‌شود (درحالت بحرانی)

XI_{Oks}	$s=1$	$s=2$	$s=3$
O=1 , k=1	۷۰۶۵۰	۷۱۲۵۰	۴۰۷۵۰
O=2 , k=1	۱۰۳۵۰	۱۰۷۵۰	۴۴۲۵۰

۵- اعتبارسنجی مدل

در تحقیقات کمی و مدل‌سازی بحث روایی و اعتبارسنجی بسیار مهم است. و هدف آن این است که پژوهش انجام شده به چه میزان آنچه که قصد سنجیدن آن را دارد به خوبی می‌سنجد و نتایج حاصل از آن تا چه میزان صحیح می‌باشد. که در این مقاله اعتبارسنجی مدل به دو صورت انجام می‌گیرد؛ تحلیل حساسیت و مقایسه با وضعیت فعلی کارخانه.

در وضعیت فعلی کارخانه نساجی قائمشهر، منبع مواد اولیه به صورت زیر تخصیص داده می‌شود:

جدول۸۰- مقدار منابع خروجی‌محور تخصیص داده شده توسط کارخانه نساجی

	s =1	s =2	s=3
O=1 , k=1	۵۰۰۰۰	۴۵۰۰۰	۴۵۰۰۰
O=2 , k=1	۳۵۰۰۰	۴۲۰۰۰	۴۵۰۰۰

که با توجه به منبع تخصیص داده شده کارخانه، میزان فقدان تاب‌آوری برابر با ۳.۹۹ است. همانطور که مشاهده گردید در مدل پیشنهادی میزان فقدان تاب‌آوری برابر با ۳.۲۷۸ است که این میزان نسبت به وضعیت فعلی کارخانه بهبود پیدا کرده است.

همچنین از طریق تحلیل حساسیت به اعتبارسنجی مدل پرداخته شده است:

وقتی مقدار بودجه کم شود انتظار می‌رود مقدار منبع تخصیص داده شده خارجی و سطح عملیات برنامه ریزی شده کاهش و مقدار فقدان تاب‌آوری افزایش پیدا کند. با توجه به خروجی بدست آمده مقدار فقدان تاب‌آوری از ۳.۲۷۸ به ۳.۵۷۱ افزایش داشته، همچنین مقدار منبع تخصیص داده شده خارجی و سطح عملیات برنامه ریزی شده فعالیت ۱۳ از مقدار ۱۰ به مقدار ۸ کاهش داشته‌اند.

جدول۹- مقدار منابع خارجی فعالیت‌محور k'ام که به فعالیت jام از فرآیند iام خروجی oام در زمان t و در سناریوی s تخصیص داده می‌شود (درحالت بحرانی)

$XE_{\text{jiotk's}}$		
	t=2 $s=1$	t=3 $s=1$
i=4 , j=10,o=1, $k'=1$	۹۴۷.۹۱۷	
i=5 , j=11,o=2, $k'=1$		۷۱۸.۷۵

با افزایش هزینه منبع خارجی انتظار می‌رود مقدارمنبع خارجی تخصیص داده شده کاهش یابد، همچنین مقدار سطح عملیات برنامه‌ریزی شده کاهش و فقدان تاب‌آوری افزایش پیدا کند. با توجه به خروجی بدست آمده مقدار فقدان تاب‌آوری از ۳.۲۷۸ به ۳.۵۸۳ افزایش داشته و همانطور که در جدول ذیل مشاهده می‌گردد مقدار منبع خارجی تخصیص داده شده کاهش پیدا کرده است. همچنین سطح عملیات برنامه‌ریزی شده به دلیل افزایش هزینه منابع خارجی و کمبود منابع تخصیص داده شده نیز کاهش پیدا کرده که در منابع فعالیت‌محور سطح عملیات برنامه‌ریزی شده فعالیت ۱۳ نیز از مقدار ۱۰ به مقدار ۷ کاهش یافته است.

جدول۱۰- مقدار منابع خارجی فعالیت‌محور k'ام که به فعالیت jام از فرآیند آام خروجی oام در زمان t و در سناریوی s تخصیص داده می‌شود (درحالت بحرانی)

$XE_{\text{jiotk's}}$	
	t=1 $s=1$
i=1 , j=5,o=2, $k'=1$	۴۹۴.۴۴۴
i=2 , j=6,o=2, $k'=1$	۳۲۳.۸۸۹
i=2 , j=7,o=2, $k'=1$	۷۴۱.۶۶۷

با کاهش مقدار منبع مورد نیاز انتظار می‌رود مقدار سطح عملیات برنامه‌ریزی شده افزایش و فقدان تاب‌آوری کاهش پیدا کند. همانطور که مشاهده می‌گردد مقدار فقدان تاب‌آوری از ۳.۲۷۸ به ۲.۹۱۰ کاهش داشته و سطح عملیات برنامه‌ریزی شده افزایش داشته است. و سطح عملیات برنامه‌ریزی شده برای منابع خروجی‌محور برای خروجی ۱ در همه سناریوها برابر با ۱۰ و برای خروجی ۲ در سناریوی بدبینانه و واقع‌بینانه برابر با ۲ و در سناریوی خوش‌بینانه برابر با ۹ است.

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله به مدل‌سازی تخصیص بهینه منابع با هدف کمینه کردن فقدان تاب‌آوری پرداخته شده است. همانطور که ذکر شده است، باید در فرآیند کاری کرد منابع طوری تخصیص داده شوند که فرآیند در شرایط مختلف عملکرد بهینه خود را داشته باشد. در این شرایط مختلف می‌تواند ریسک‌هایی حاکم باشد که مبنای عملکرد فرآیند باید بر پایه تاب‌آوری فرآیند باشد. بدین ترتیب به دلیل تنش‌های بوجود آمده در فرآیند، یعنی فرآیند در مواجهه با خروجی‌های مختلف یا در مواجهه با ریسک‌های مختلف یا کمبودهای مختلف چقدر می‌تواند تاب بیاورد تا به آن خروجی برسد، باعث می‌شود که هنگام تخصیص منابع به موضوع تاب‌آوری توجه کرد. نتایج نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی

الگوی مناسبی برای حل مسئله بهینه‌سازی استراتژی پیشنهاد مقدار منبع قابل تخصیص در شرایط بحرانی با استفاده از تابع هدف تاب‌آوری است. مدل مذکور این اطمینان را حاصل می‌کند که سازمان بتواند با حداقل منابع، عملیات حیاتی سازمان را در موقعیت‌های مخرب در سریع‌ترین زمان ممکن با حداقل میزان فقدان تاب‌آوری از سر گرفته و بازیابی کند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی یک روش کاربردی برای مدیریت تاب‌آوری در یک سازمان است. با افزودن تاب‌آوری به مدل تخصیص منابع موجب می‌شود در صورت شرایط بحران و ورودی‌های خیلی زیاد یا خروجی‌های خیلی پایین، بتوان یافت که تا چه سطحی فرایند تاب‌آور است و در این صورت فعالیت سازمان متوقف نشده و تخصیص منابع بدرستی انجام گیرد. و چون این تاب‌آوری به منابع وابستگی پیدا می‌کند برای همین در مدل تخصیص منابع نیز تاب‌آوری دیده شده است. درواقع در تاب‌آوری توجه به این می‌کند که عملکرد خیلی افت نکند یا حداقل ممکن افت کند که شدنی باشد. بنابراین چون در شرایط بحرانی با کمبود منابع مواجهه هستیم، انتظار داریم فعالیت‌ها و فرایندها در سازمان متوقف نشود و اختلال بر فرایندها اثر نگذارد، پس نیازمند تاب‌آور بودن فرایندها در مواجهه با کمبود منابع است. برای تحقیقات آتی می‌توان به هنگام تخصیص منابع علاوه بر در نظر گرفتن تاب‌آوری، تداوم فرآیند را هم در نظر گرفت. همچنین ریسک‌های حاکم بر منابع به هنگام تخصیص منابع می‌تواند لحاظ شود. سازمان‌ها و شرکت‌ها از مدل موجود در این مقاله می‌توانند برای تخصیص بهینه منابع خود بویژه در شرایط بحران استفاده کنند. بدین ترتیب که سازمان‌ها ابتدا میزان منابع مورد نیاز برای هر فرآیند و فعالیت‌های آن‌ها را استخراج می‌کنند، سپس با توجه به وزنی که به هر خروجی با توجه میزان اهمیت تولید آن‌ها برای سازمان دارد و احتمال سناریو نیز میزان تاب‌آوری را بدست می‌آورند. البته میزان سطح عملیاتی برنامه‌ریزی شده نیز با استفاده از فرمول زیر بدست می‌آید.

$$W_{jiots} = \left[L * \sum_{k'=1}^{K'} \frac{XI_{\text{jiotk}'s} + XE_{\text{jiotk}'s}}{\hat{X}_{jiotk's}}\right] \quad \forall i,j,o,t,s \qquad (۲۳)$$

$$W_{os} = [L * \sum_{k=1}^{K} \frac{XI_{Oks} + XE_{Oks}}{\hat{x}_{oks}}] \qquad \forall o,s \qquad (۲۴)$$

که در مدل مقاله حاضر سعی در کمینه کردن اختلاف سطح عملیات برنامه‌ریزی شده از سطح عملیات کل است. همچنین سازمان‌ها می‌توانند از وضعیت فعلی تاب‌آوری خود با استفاده از منابع موردنیاز و مقدار منابع تخصیص داده شده مطلع شوند.

همچنین سبد بهینه تخصیص منابع در شرایط بهینه و سبد درصد تخصیص منابع در وضعیت فعلی کارخانه به صورت جدول (۱۱) است، که مقدار درصدها به ترتیب برابر با مقدار تخصیص منبع انسانی، منبع ماشین‌آلات و مواد اولیه است. از آنجا که در منابع فعالیت‌محور کمبودی وجود ندارد بنابراین میزان درصد تخصیص منابع در شرایط بهینه و وضعیت فعلی کارخانه برابر است ولی در منابع خروجی‌محور (مواد اولیه) چون میزان منبع موردنیاز از منبع موجود بیشتر است، بنابراین همانطور که در جدول زیر مشاهده می‌گردد میزان درصد تخصیص منبع مواد اولیه در شرایط بهینه و وضعیت موجود کارخانه متفاوت است، که باعث شده میزان فقدان تاب‌آوری از ۳.۹۹ (در وضعیت موجود کارخانه) به مقدار ۳.۲۷۸ کاهش پیدا کند.

جدول۱۱- سبد بهینه تخصیص منابع

	خروجی	درصد تخصیص منابع (سبد بهینه)	درصد تخصیص منابع (وضعیت موجود کارخانه)
سناریو بدبینانه	پارچه خام تولید شده	{۸۸٪، ۱۲٪، ۱۸٪}	{۵۹٪، ۱۲٪، ۱۸٪}
	پارچه تکمیل شده	{۱۲٪، ۸۸٪، ۸۲٪}	{۴۱٪، ۸۸٪، ۸۲٪}
سناریو واقع‌بینانه	پارچه خام تولید شده	{۱۷٪، ۱۱٪، ۱۷٪}	{۵۲٪، ۱۱٪، ۱۷٪}
	پارچه تکمیل شده	{۸۳٪، ۸۹٪، ۸۳٪}	{۴۸٪، ۸۹٪، ۸۳٪}
سناریو خوش‌بینانه	پارچه خام تولید شده	{۱۶٪، ۱۱٪، ۱۶٪}	{۵۰٪، ۱۱٪، ۱۶٪}
	پارچه تکمیل شده	{۸۴٪، ۸۹٪، ۸۴٪}	{۵۰٪، ۸۹٪، ۸۴٪}

تاکنون مطالعات بسیاری برای تخصیص منابع انجام شده است، اما هیچ یک از مطالعات ترکیب‌های مختلف در تخصیص جهت پیدا کردن بهترین ترکیب را در نظر نگرفته است، در این مقاله بهترین سبد ترکیبی از تخصیص منابع بدست می‌آید. در تحقیقات قبلی مشابه، بحث تخصیص در مدل‌سازی ماهیت عملیات و فعالیت‌ها دیده نشده است. درواقع فرض‌های پیش‌نیازی و همزمانی فعالیت‌ها را در نظر نگرفته‌اند. در مدل‌های قبلی اندازه‌گیری تاب‌آوری را در سطح سازمان کار کردند ولی در سطح فرآیند کار نشده است.

۷- مراجع

[1] Taleb-Berrouane, M., & Khan, F. (2019). Dynamic Resilience Modelling of Process Systems. *CHEMICAL ENGINEERING*, 77.

[2] Zio, E. (2018). The future of risk assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 177 ,September ,Pages 176-190.

[3] Peteraf, M. A.(2005). Research complementarities: A resource-based view of the resource allocation process model (and vice versa). *From resource allocation to strategy*, 409-426.

[4] Amirteimoori, A., & Tabar, M. M. (2010). Resource allocation and target setting in data envelopment analysis. *Expert Systems with Applications*, 37(4), 3036-3039.

[5] Lozano, S., Villa, G., & Adenso-Dıaz, B. (2004). Centralised target setting for regional recycling operations using DEA. Omega, 32(2), 101-110.

[6] Joglekar, N. R., & Ford, D. N. (2005). Product development resource allocation with foresight. *European Journal of Operational Research*, *160*(1), 72-87.

[7] Withanachchi, N., Uchida, Y., Nanayakkara, S., Samaranayake, D., & Okitsu, A. (2007). Resource allocation in public hospitals: Is it effective?. Health policy, 80(2), 308-313.

[8] Hosseini, S., Barker, K., & Ramirez-Marquez, J. E. (2016). A review of definitions and measures of system resilience. *Reliability Engineering & System Safety*, 145, 47-61.

[9] Sahebjamnia, N., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (2015). Integrated business continuity and disaster recovery planning: Towards organizational resilience. *European Journal of Operational Research*, 242(1), 261-273.

[10] Torabi, S. A., Giahi, R., & Sahebjamnia, N. (2016). An enhanced risk assessment framework for business continuity management systems. *Safety science*, 89, 201-218.

[11] Sahebjamnia, N., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (2018). Building organizational resilience in the face of multiple disruptions. *International Journal of Production Economics*, 197, 63-83.

[12] Ostadi, B., Ghorbani, A., & Mokhtarian, R. (2019). Modelling the estimation of the optimum number of required equipment and manpower for operational processes under uncertainty conditions (case study: Textile industry). Advances in Industrial Engineering, 53(1), 509-521.

[13] Ostadi B, Mokhtarian Daloie, R., Sepehri, M M. (2019). A Developed Method for Handling Uncertainty in Activity - Based Costing for Hospital Services Using Fuzzy Approach. *jhosp*, 17 (4) :19-34.

[14] Rezaei Soufi, H., Torabi, S. A., & Sahebjamnia, N. (2019). Developing a novel quantitative framework for business continuity planning. *International Journal of Production Research*, 57(3), 779-800.

[15] Mokhtarian Daloie. R, Ostadi. B. (2019). Developing a discrete-event simulation model for improving the quality of services: A case study in urology unit at a kidney center. *Journal of Engineering and Quality Management*, 9(3), 244-260, Persian.

[16] Shokri, M. and Saghaee, A. (2020). Developing Emergency organization resources Management Productivity to Increase the Welfare of Stroke and heart attack patients Using Statistical and Spatial Statistics Analysis in Tehran. Journal of Quality Engineering and Management, 10(2), 145-158. (in persian)

[17] Yu, W., Jia, M., Fang, X., Lu, Y., & Xu, J. (2020). Modeling and analysis of medical resource allocation based on Timed Colored Petri net. Future Generation Computer Systems, 111, 368-374.

[18] Alkaabneh, F., Diabat, A., & Gao, H. O. (2021). A unified framework for efficient, effective, and fair resource allocation by food banks using an Approximate Dynamic Programming approach. Omega, 100, 102300.

[19] Deng, Y. J., Li, Y. Q., Qin, Y. H., Dong, M. R., & Liu, B. (2020). Optimal defense resource allocation for attacks in wireless sensor networks based on risk assessment model. Chaos, Solitons & Fractals, 137, 109780.

[20] Ketabi, S., Ghandehari, M., & Bolandi, D. (2020). Efficiency Analysis and Hospital Resource Allocation Using Centralized Data Envelopment Analysis. Journal of Production and Operations Management. 11.3: 1-16.

[21] Najarian, M., & Lim, G. J. (2020). Optimizing infrastructure resilience under budgetary constraint. *Reliability Engineering & System Safety*, 198, 106801.

[22] Ostadi B, Seifi M.M., Husseinzadeh Kashan A. (2021). A multi-objective model for resource allocation in disaster situations to enhance the organizational resilience and maximize the value of business continuity with considering events interactions. *Proceedings of the*

[33] Azadeh, A., Salehi, V., Ashjari, B., & Saberi, M. (2014). Performance evaluation of integrated resilience engineering factors by data envelopment analysis: The case of a petrochemical plant. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(3), 231-241.

[34] Azadeh, A., Salehi, V., Arvan, M., & Dolatkhah, M. (2014). Assessment of resilience engineering factors in high-risk environments by fuzzy cognitive maps: A petrochemical plant. *Safety Science*, 68, 99-107.

[35] Bhavathrathan, B. K., & Patil, G. R. (2015). Capacity uncertainty on urban road networks: A critical state and its applicability in resilience quantification. *Computers, Environment and Urban Systems, 54, 108-118.*

[36] Qomi, M., Jalalinaeeni, Gh. R., Tavakoli Moghadam, R. and Jabarzadeh, A. (2021). Closed loop supply chain network design under disturbance and uncertainty conditions considering quality and resilience strategy. Journal of Quality Engineering and Management, 6(2), 133-145. (in persian)

[37] Azadeh, A., Salehi, V., Mirzayi, M., & Roudi, E. (2017). Combinatorial optimization of resilience engineering and organizational factors in a gas refinery by a unique mathematical programming approach. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 27(1), 53-65.

[38] Gong, J., & You, F. (2018). Resilient design and operations of process systems: Nonlinear adaptive robust optimization model and algorithm for resilience analysis and enhancement. *Computers & Chemical Engineering*, 116, 231-252.

[39] Jain, P., Pistikopoulos, E. N., & Mannan, M. S. (2019). Process resilience analysis based data-driven maintenance optimization: Application to cooling tower operations. *Computers & Chemical Engineering*, 121, 27-45.

[40] Yarveisy, R., Gao, C., & Khan, F. (2020). A simple yet robust resilience assessment metrics. *Reliability Engineering & System Safety*, 197, 106810.

[41] Pishnamazzadeh, M., Sepehri, M. M., & Ostadi, B. (2020). An Assessment Model for Hospital Resilience according to the Simultaneous Consideration of Key Performance Indicators: A System Dynamics Approach. Perioperative Care and Operating Room Management, 20, 100118.

Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability, February. doi:10.1177/1748006X21991027.

[23] Ostadi, B., Ebrahimi Sadrabadi, M., Hosseinzadeh Kashan, A. and Sepehri, M.M. (2021). Presenting a model for the optimal allocation of human resources to operational processes using the Markowitz model: A case study in urology unit at a kidney center. Journal of Quality Engineering and Management, 11(1).

[24] Hao, L. (2022). Optimal Allocation of Human Resource Structure Based on Capability Maturity Model Integration. Security and Communication Networks, 2022.

[25] Liao, P. H., Chu, W., & Ho, C. S. (2022, April). An Analysis of Waiting Time for Emergency Treatment and Optimal Allocation of Nursing Manpower. In Healthcare (Vol. 10, No. 5, p. 820). MDPI.

[26] Bhamra, R., Dani, S., & Burnard, K. (2011). Resilience: the concept, a literature review and future directions. *International Journal of Production Research*, 49(18), 5375-5393.

[27] Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M. & Von Winterfeldt, D. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake spectra*, 19(4), 733-752.

[28] Chang, S. E., & Shinozuka, M. (2004). Measuring improvements in the disaster resilience of communities. *Earthquake spectra*, 20(3), 739-755.

[29] Cox, A., Prager, F., & Rose, A. (2011). Transportation security and the role of resilience: A foundation for operational metrics. *Transport policy*, 18(2), 307-317.

[30] Madni, A. M., & Jackson, S. (2009). Towards a conceptual framework for resilience engineering. *IEEE Systems Journal*, 3(2), 181-191.

[31] Enjalbert, S., Vanderhaegen, F., Pichon, M., Ouedraogo, K. A., & Millot, P. (2011). Assessment of transportation system resilience. *In Human modelling in assisted transportation*, (pp. 335-341). Springer, Milano.

[32] Ouyang, M., Dueñas-Osorio, L., & Min, X. (2012). A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems. *Structural safety*, 36, 23-31.

Mathematical modeling of resource allocation in critical conditions with the aim of increasing the level of resilience of operational processes: the case study of the textile industry

Mahnaz Ebrahimi-Sadrabadi
PhD Student, Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Bakhtiar Ostadi[1]
Associate Professor, Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Ali Husseinzadeh Kashan
Associate Professor, Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Mohammad Mehdi Sepehri
Professor of Healthcare Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract In today's risky and changing world, the optimal resource allocation is of great importance, which in case of incorrect allocation of resources, causes great losses to organizations. Due to the increased demand in critical conditions, the optimal allocation of resources is very critical. Also, as time goes on and crises increase in societies, organizations are increasingly exposed to disruption. So, organizations need to be resilient to protect themselves from destructive consequences. In allocating resources and in places where there is a lack of resources, the resilience of processes is a significant category. If the resources allocation is not done correctly or is done with a shortage, it will have consequences, including that the processes are not resilient. So addressing the issue of resilience for operational processes in the issue of resource allocation becomes very important. Obviously, in any organization, the primary goal is to allocate the least resources to recover operations and to bring activities back to the tolerance threshold so that destructive events do not stop vital activities. In the modeling of this article, resource allocation is used with the aim of minimizing the lack of resilience. This modeling has led to the formation of a new concept called process resilience. The problem has a basic assumption, that there is a shortage of resources in at least one of the available resources due to excessive demand. After solving the model by numerical experiment, the results of the model were described and it was found that destructive events were retrieved before the tolerance threshold. The amount of lack of resilience according to the allocated resources of the factory and in the current state of the factory is equal to 3.99, but the amount of lack of resilience in optimal conditions and using the modeling in this article is equal to 3.278.

Keywords: Process optimization, Process resilience, Resource allocation, Lack of resources

Introduction

The importance of process optimization is not hidden from anyone, because it leads organizations to achieve their goals and facilitates the implementation of organizational missions. Especially in the current situation where organizations are in a bad economic situation and crisis, process optimization is more discussed. In the current high-risk and changing

[1] Corresponding author: bostadi@modares.ac.ir

conditions, the optimal allocation of resources is very important, which in case of incorrect allocation of resources, will cause a lot of damage to organizations. In times of crisis, organizations seek to make the best use of their available resources. The main effort of the organization is to achieve the maximum output that can be achieved by using optimization models. Modeling is a regular tool in the formulation and allocation of resources that can provide the information needed for decisions to achieve goals. Since the issue of resource allocation has many and wide applications in different fields, different methods are used to formulate this issue. If disastrous events occur during resource allocation, the organization must respond to disastrous events by providing an appropriate level of organizational resilience. Therefore, with the emergence of issues such as the importance of process resilience, research in the field of resilience also became relevant. Due to the increasing risks, which in some cases lead to a major catastrophe, society has needed the management of resilience. In fact, when a destructive event occurs, resilience manages it, which can ultimately reduce the duration of the disruption or reduce its impact on system performance [1]. In the literature in the field of modeling, there are various models, methods and frameworks for analyzing and measuring it in various fields such as ecological systems, economics and financial systems, seismic engineering and structural systems, service systems, telecommunication systems, infrastructure. Is [2].

Tables

Table (1) shows the activities and processes required to produce the outputs in green.

Table 1: The activities required to produce output

Output	Blowing process (i=1)					process of spinning preparation (i=2)			Spinning process (i=3)	Recovery process (i=4)	process of weaving preparation (i=5)		weaving process (i=6)
	Transfer cotton packages to the uni floc machine (j=1)	cotton transfer by air flow (j=2)	opening the cotton fibers (j=3)	Storage of open fibers (j=4)	combing (j=5)	Carding (j=6)	1st Stage Drawing (j=7)	2nd Stage Drawing (j=8)	Spinning (j=9)	Correction of thread defects (j=10)	Put the thread on the shelf (j=11)	Warping (j=12)	weaving (j=13)
thread (O=1)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
fabric (O=2)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

According to the above, the information about the inputs, ie the amount of resource required in the critical conditions, consumption rate, the amount of demand and the amount of existing internal resources and external resources in the table (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ,9 ,10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 and 17) is given. Tables (5, 10, 11, 14, 15 and 16) are related to activity-oriented resources data and tables (4, 8, 9, 12 and 13) are related to output-oriented resources data. Tables (8) and (10) are related to the consumption rate, which consumption rate means how much $r_{ijok'}^{t}$ or r_{ok} of the resource is required for each output unit.

Table 2- The demand for the oth output in 3 week

P_o	
O=1	37500 kg
O=2	172500 m

Table 3- The probability of scenario s

$prob^s$	
s=1	0.3
s=2	0.5
S=3	0.2

Table 4: External **resources** cost k output-oriented

CE_k	
k=1	15000

Table 5: External resources cost k activity-oriented

CE_k	
$k'=1$	12000
$k'=2$	300000

Table 6: Weight for output **o**

W_o	
o=1	0.6
o=2	0.4

Table 7: Existing organization budget under critical condition (unexpected)

BG	50000000

Table 8: The consumption rate of kth output-oriented resources for oth output

r_{oks}			
	K=1,s=1	K=1,s=2	K=1,s=3
o=1	6	5	3
o=2	6	5	3

Table 9- The amount of the kth required output-oriented resources allocated to the oth output in scenario s (in the normal condition)

$\hat{X}_{oks}$			
	S=1	S=2	S=3
o=1, k=1	91500	76250	45750
o=2,k=1	103500	86250	51750

Table 10: The consumption rate of k'th activity-oriented resources for oth output at time t in scenario S

$r_{jiotk's}$			
	t=1,2,3 $s=1$	t=1,2,3 s=2	t=1,2,3 s=3
i=1 , j=1,o=1, $k'=1$	20	17	15
i=1 , j=1,o=2, $k'=1$	20	17	15
i=1 , j=2,o=1, $k'=1$	15	12	10
i=1 , j=2,o=2, $k'=1$	15	12	10
i=1 , j=3,o=1, $k'=1$	16	13	11
i=1 , j=3,o=2, $k'=1$	16	13	11
i=1 , j=4,o=1, $k'=1$	13	10	9
i=1 , j=4,o=2, $k'=1$	13	10	9
i=1 , j=5,o=1, $k'=1$	80	70	60
i=1 , j=5,o=2, $k'=1$	80	70	60
i=2 , j=6,o=1, $k'=1$	70	65	60
i=2 , j=6,o=2, $k'=1$	70	65	60
i=2 , j=7,o=1, $k'=1$	120	100	90
i=2 , j=7,o=2, $k'=1$	120	100	90
i=2 , j=8,o=1, $k'=1$	150	140	130
i=2 , j=8,o=2, $k'=1$	150	140	130
i=3, j=9,o=1, $k'=1$	600	500	450
i=3 , j=9,o=2, $k'=1$	600	500	450
i=4 , j=10,o=1, $k'=1$	230	210	200
i=4 , j=10,o=2, $k'=1$	230	210	200
i=5 , j=11,o=2, $k'=1$	11	9	8
i=5 , j=12,o=2, $k'=1$	70	65	60
i=6 , j=13,o=2, $k'=1$	140	110	90
i=1 , j=1,o=1, $k'=2$	15	13	11
i=1 , j=1,o=2, $k'=2$	15	13	11
i=1 , j=2,o=1, $k'=2$	20	18	14
i=1 , j=2,o=2, $k'=2$	20	18	14
i=1 , j=3,o=1, $k'=2$	16	13	10
i=1 , j=3,o=2, $k'=2$	16	13	10
i=1 , j=4,o=1, $k'=2$	13	10	7
i=1 , j=4,o=2, $k'=2$	13	10	7
i=1 , j=5,o=1, $k'=2$	80	70	60
i=1 , j=5,o=2, $k'=2$	80	70	60
i=2 , j=6,o=1, $k'=2$	70	65	55
i=2 , j=6,o=2, $k'=2$	70	65	55
i=2 , j=7,o=1, $k'=2$	90	80	70
i=2 , j=7,o=2, $k'=2$	90	80	70
i=2 , j=8,o=1, $k'=2$	140	130	115
i=2 , j=8,o=2, $k'=2$	140	130	115
i=3, j=9,o=1, $k'=2$	300	250	220
i=3 , j=9,o=2, $k'=2$	300	250	220
i=4 , j=10,o=1, $k'=2$	130	110	90
i=4 , j=10,o=2, $k'=2$	130	110	90
i=5 , j=11,o=2, $k'=2$	40	35	20
i=5 , j=12,o=2, $k'=2$	18	165	145
i=6 , j=13,o=2, $k'=2$	260	240	220

Table 11- The amount of the k'th required activity-oriented resources allocated to the jth activity of the ith process of the oth output at time t in scenario s (in the normal condition)

$\bar{X}_{jiotk's}$			
	t=1,2,3 s = 1	t=1,2,3 s=2	t=1,2,3 s=3
i=1 , j=1,o=1, $k' = 1$	84.7222	72.01389	63.54167
i=1 , j=1,o=2, $k' = 1$	123.6111	74.16667	92.70833
i=1 , j=2,o=1, $k' = 1$	63.54167	50.83333	42.36111
i=1 , j=2,o=2, $k' = 1$	92.70833	74.16667	61.80556
i=1 , j=3,o=1, $k' = 1$	67.77778	55.06944	46.59722
i=1 , j=3,o=2, $k' = 1$	98.88889	80.34722	67.98611
i=1 , j=4,o=1, $k' = 1$	55.06944	42.36111	38.125
i=1 , j=4,o=2, $k' = 1$	80.34722	61.80556	55.625
i=1 , j=5,o=1, $k' = 1$	338.8889	296.5278	254.1667
i=1 , j=5,o=2, $k' = 1$	494.4444	432.6389	370.8333
i=2 , j=6,o=1, $k' = 1$	296.5278	275.3472	254.1667
i=2 , j=6,o=2, $k' = 1$	432.6386	401.7361	370.8333
i=2 , j=7,o=1, $k' = 1$	508.3333	423.6111	381.25
i=2 , j=7,o=2, $k' = 1$	741.6667	618.0556	556.25
i=2 , j=8,o=1, $k' = 1$	635.4167	593.0556	550.6944
i=2 , j=8,o=2, $k' = 1$	927.0833	865.2778	803.4722
i=3, j=9,o=1, $k' = 1$	2541.667	2118.056	1906.25
i=3 , j=9,o=2, $k' = 1$	3708.333	3090.278	2781.25
i=4 , j=10,o=1, $k' = 1$	974.3056	889.5833	847.2222
i=4 , j=10,o=2, $k' = 1$	1421.528	1297.917	1236.111
i=5 , j=11,o=2, $k' = 1$	718.75	575	479.1667
i=5 , j=12,o=2, $k' = 1$	6708.333	6229.167	5750
i=6 , j=13,o=2, $k' = 1$	10252.083	10020.83	10001.67
i=1 , j=1,o=1, $k' = 2$	63.54167	55.06944	46.59722
i=1 , j=1,o=2, $k' = 2$	92.70833	80.34722	67.98611
i=1 , j=2,o=1, $k' = 2$	84.72222	76.25	59.30556
i=1 , j=2,o=2, $k' = 2$	123.6111	111.25	86.52778
i=1 , j=3,o=1, $k' = 2$	67.77778	55.06944	42.36111
i=1 , j=3,o=2, $k' = 2$	98.88889	80.34722	61.80556
i=1 , j=4,o=1, $k' = 2$	55.06944	42.36111	29.65278
i=1 , j=4,o=2, $k' = 2$	80.34722	61.80556	43.26389
i=1 , j=5,o=1, $k' = 2$	338.8889	296.5278	254.1667
i=1 , j=5,o=2, $k' = 2$	494.4444	432.6389	370.8333
i=2 , j=6,o=1, $k' = 2$	296.5278	275.3472	232.9861
i=2 , j=6,o=2, $k' = 2$	432.6389	401.7361	339.9306
i=2 , j=7,o=1, $k' = 2$	381.25	338.8889	296.5278
i=2 , j=7,o=2, $k' = 2$	556.0556	494.4444	432.6389
i=2 , j=8,o=1, $k' = 2$	593.0556	550.6944	487.1528
i=2 , j=8,o=2, $k' = 2$	865.2778	803.4722	710.76639
i=3, j=9,o=1, $k' = 2$	1270.833	1059.028	931.9444
i=3 , j=9,o=2, $k' = 2$	1854.167	1545.139	1359.722
i=4 , j=10,o=1, $k' = 2$	550.6944	465.9722	381.25
i=4 , j=10,o=2, $k' = 2$	803.4722	679.8611	556.25
i=5 , j=11,o=2, $k' = 2$	1916.667	1677.083	958.3333
i=5 , j=12,o=2, $k' = 2$	8625	7906.25	6947.917
i=6 , j=13,o=2, $k' = 2$	12458.33	11500	10541.67

Table 12- Existing external resource value in scenario S (output-oriented)

ROE_{ks}			
	S=1	S=2	S=3
K=1	4000	5000	5000

Table 13: Existing internal resource value in scenario S (output-oriented)

ROI_{ks}			
	S=1	S=2	S=3
K=1	81000	82000	85000

Table 14- Existing external resource values in scenario S (output-oriented)

$RAE_{K's}$			
	S=1	S=2	S=3
$K' = 1$	11200	12000	15360
$K' = 2$	0	0	480

Table 15- Existing internal resource value in scenario S (output-oriented)

$RAI_{K's}$			
	S=1	S=2	S=3
$K' = 1$	27200	29600	31200
$K' = 2$	32400	37440	46800

Table 16- MBCO for the jth activity j in the ith process for the oth output in scenario S

λ_{jios}			
	S=1	S=2	S=3
i=1 , j=1,o=1	7	6	5
i=1 , j=1,o=2	7	6	5
i=1 , j=2,o=1	9	8	7
i=1 , j=2,o=2	9	8	7
i=1 , j=3,o=1	9	8	7
i=1 , j=3,o=2	9	8	7
i=1 , j=4,o=1	6	5	4
i=1 , j=4,o=2	6	5	4
i=1 , j=5,o=1,	6	5	4
i=1 , j=5,o=2	6	5	4
i=2 , j=6,o=1	7	6	5
i=2 , j=6,o=2	7	6	5
i=2 , j=7,o=1	8	7	6
i=2 , j=7,o=2	8	7	6
i=2 , j=8,o=1	6	5	4
i=2 , j=8,o=2	6	5	4
i=3, j=9,o=1	5	4	3
i=3 , j=9,o=2	5	4	3
i=4 , j=10,o=1	9	8	7
i=4 , j=10,o=2	9	8	7
i=5 , j=11,o=2	8	7	6
i=5 , j=12,o=2	6	5	4
i=6 , j=13,o=2	5	4	3

After solving the model in GAMS software, the model outputs are given in Tables **17**.

Table 17: objective function output

Output	process resilience
	Activity- oriented and output-oriented resources
O=1	3.278
O=2	

The model was solved in GAMS software, and the weighted method was used to solve the model. The amount of allocated resources were divided into two categories of external and internal resources, and the sum of the amount of internal and external resources allocated for activity-oriented resources is equal to the required amount of resources. The amount of output-oriented external allocated resources for output 1 in pessimistic scenario equals 70650, in realistic scenario equals 71250 and in optimistic scenario equals 40750 and for output 2 in pessimistic scenario equals 10350, in realistic scenario equals 10750 and In the optimistic scenario it is equal to 44250. The amount of output-oriented external allocated resources for output 1 is 4000 in the pessimistic scenario, 5000 in the realistic scenario, and 5000 in the optimistic scenario. The value of the operating level is considered from 1 to 10. The planned operational level for activity j of process i output o at time t in scenario s is equal to 10, because there is no lack of activity-oriented resources, and according to the relevant relationship for the planned operational level, All planned operational level values for activity-based resources are also obtained as 10. and the planned operational level for output-oriented resources for output 1 in the pessimistic scenario it is equal to 9 and in the realistic and optimistic scenario it is equal to 10 and for output 2 in the pessimistic scenario it is equal to 1, in the realistic scenario it is equal to 2 and in the optimistic scenario it is equal to 9. Activities 1 to 8 in period 1, activities 9 and 10 in period 2, and activities 11, 12, and 13 in period 3 are also active.

Reference

1.Taleb-Berrouane, M., & Khan, F. (2019). Dynamic Resilience Modelling of Process Systems. *CHEMICAL ENGINEERING*, 77.
2.Zio, E. (2018). The future of risk assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 177 ,September ,Pages 176-190.