



## ارزیابی استراتژیهای مختلف نگهداری و تعمیرات تجهیزات پزشکی با رویکرد شبیه سازی سیستم‌های پویا

زهرا آقاسی زاده<sup>۱\*</sup>، علیرضا پویا<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مدیریت گرایش تحقیق در عملیات دانشگاه فردوسی مشهد/ عضو هیئت علمی مؤسسه آموزش عالی بینالود مشهد

[Aghasizadeh.zahra@um.ac.ir](mailto:Aghasizadeh.zahra@um.ac.ir)

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مدیریت دانشگاه فردوسی مشهد

[alirezapooya@um.ac.ir](mailto:alirezapooya@um.ac.ir)

تلفن: ۰۵۱۳۸۸۰۵۳۵۱

### چکیده

استراتژی‌های تعمیر و نگهداری مناسب، هزینه عملیاتی کلی تجهیزات پزشکی و فرسودگی آن‌ها را کاهش داده و منجر به افزایش دسترس پذیری به تجهیزات می‌شود. در حقیقت این مطالعه به دنبال استراتژی بهینه جهت افزایش دسترسی به تجهیزات پزشکی و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری مربوط به آن‌ها و به طور کلی در صدد افزایش ارزش خالص سیستم تعمیر و نگهداری تجهیزات است. مطالعه حاضر، به طراحی یک مدل شبیه‌سازی سیستم‌های پویا به منظور بررسی سهم اقدامات و استراتژی‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و اصلاحی، جهت بهبود عملکرد کلی تجهیزات پزشکی پرداخته است. در این راستا ابتدا متغیرهای کلیدی در سیستم نگهداری و تعمیرات تجهیزات پزشکی، شناسایی و روابط آن‌ها در قالب حلقه‌های علی تدوین گردیده، سپس با طراحی مدل اصلی و در قالب نمودار انباشت و جریان تکمیل و در نرم افزار ونسیم شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که افزایش اقدامات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه از طریق کاهش نیاز به اقدامات اصلاحی، منجر به افزایش دسترس پذیری به تجهیزات و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌گردد. نسبت تغییر منابع و میزان تخصیص آن به هریک از اقدامات تعمیر و نگهداری اصلاحی و پیشگیرانه از طریق شبیه سازی و با توجه به میزان متغیرهای اصلی و فرعی در مورد مطالعه (بیمارستان رضوی) به دست آمده است. مدل شبیه سازی شده برای سایر بیمارستان‌ها با در نظر گیری شرایط داخلی آنها قابل پیاده سازی است.

**واژه‌های کلیدی:** سیستم نگهداری و تعمیرات، استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات، سیستم‌های پویا، نمودار علی و معلولی، نمودار انباشت و جریان

### ۱- مقدمه

امروزه تجهیزات پزشکی کمک بزرگی در امر تشخیص، درمان، آموزش و پژوهش پزشکی برای متخصصان، پزشکان، پرستاران و کارشناسان بخش‌های تشخیصی و درمانی هستند و هر ساله سهم عمده‌ای از هزینه‌های بیمارستان، که حدوداً ۵-۱۵ درصد هزینه‌های کل می‌باشد، به خرید تجهیزات پزشکی از داخل و خارج کشور اختصاص می‌یابد (۱). نگهداری از تجهیزات پزشکی به اندازه طراحی و توسعه آن اهمیت دارد. هزینه‌ای که صرف نگهداری از یک وسیله پزشکی در طول دوره عمرش می‌شود، معمولاً از هزینه خرید آن بیشتر است (۲). در واقع تکنولوژی‌های مرتبط با تجهیزات پزشکی، نیازمند نگهداری‌های برنامه‌ریزی شده و برنامه‌ریزی نشده است و در دهه‌های اخیر، در راستای افزایش هزینه‌های تهیه و خرید



اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

تجهیزات پزشکی، هزینه نگهداری این تجهیزات با شدت بیشتری بالا رفته است (۳). با توجه به هزینه‌های بالای خریداری تجهیزات پزشکی، ضرورت توجه به نگهداری و تعمیرات این تجهیزات در جهت کنترل هزینه‌های بیمارستان امری حیاتی است. از سوی دیگر یکی از مهم ترین مشکلاتی که کارکنان پزشکی در بیمارستان‌ها با آن مواجه هستند، در دسترس نبودن تجهیزات پزشکی در هنگام نیاز به استفاده از آنهاست، که ناشی از سوء کارکرد سیستم تعمیر و نگهداری تجهیزات پزشکی می باشد، در حقیقت یک سیستم تعمیر و نگهداری مناسب، تقریباً برای تمامی تجهیزات به منظور تضمین عملکرد و دسترس پذیری به آن‌ها لازم است (۴).

استراتژی‌های نگهداری و تعمیر در دو دهه اخیر رو به توسعه بوده است و در بسیاری از صنایع جهت بهبود عملکرد تجهیزات به کار می‌رود، با این وجود بیشتر بیمارستان‌ها و سازمان‌های خدمات درمانی به اندازه سایر صنایع نتوانسته‌اند از منافع این استراتژی‌ها بهره‌مند شوند (۵). در حال حاضر استراتژی‌هایی که عمدتاً در اکثر بیمارستان‌ها در حال اجراست؛ شامل استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات اصلاحی و پیشگیرانه (دوره ای) می‌باشد و در حقیقت تمامی سعی مدیریت بر این است که با اجرای استراتژی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، تعمیرات اصلاحی را به حداقل ممکن برساند. نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه از یک طرف می‌تواند باعث کاهش خرابی‌ها، افزایش طول عمر تجهیزات و کند نمودن روند استهلاک آن‌ها شود و در نتیجه بهبود عملکرد سیستم و کاهش هزینه‌های تعمیر را به دنبال داشته باشد ولی از طرف دیگر نگهداری و تعمیر پیشگیرانه افراطی و بیش از حد نیاز و در فواصل زمانی نزدیک به هم می‌تواند باعث افزایش هزینه‌ها شود و به اندازه نبود آن برای سازمان زیان بار باشد. بنابراین باید توازنی بین دو استراتژی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و اصلاحی برقرار نمود (۶).

## ۲- پیشینه پژوهش

مدحت و همکاران در سال ۲۰۰۸، بر اهمیت کیفیت تجهیزات پزشکی تاکید نموده‌اند و برای اندازه‌گیری به پارامترهایی نظیر اثربخشی تجهیزات پزشکی، قابلیت اطمینان آن‌ها، احتمال خرابی و متوسط زمان بین خرابی‌دستگاه‌ها اشاره نموده‌اند (۷). بر طبق مطالعه جمشیدی و همکاران در سال ۲۰۱۴ نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، تعمیرات عمده را کاهش می‌دهد و از عملکرد نامناسب و نادرست تجهیزات پزشکی و اسقاط شدن آن‌ها جلوگیری می‌نماید. در واقع نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در بسیاری از صنایع وجود دارد و قبلاً در مراکز بهداشتی درمانی فقط برای سیستم‌های گرمایی و تهویه استفاده می‌شد، ولی اخیراً این برنامه برای تجهیزات پزشکی نیز مورد استفاده قرار گرفته است (۸). استراتژی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، مهم ترین فعالیت نگهداری مؤثر دستگاه‌های پزشکی است و عوامل دیگری مانند " برنامه کنترل تجهیزات پزشکی " و " انتخاب تجهیزات پزشکی مناسب " به پیاده‌سازی برنامه تعمیر و نگهداری بهینه کمک خواهد کرد. به طور کلی استفاده از فرآیند نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، از زوال و استهلاک دستگاه‌ها یا از عملکرد نادرست تجهیزات پزشکی جلوگیری می‌کند و طول عمر تجهیزات پزشکی را افزایش می‌دهد، در نتیجه دستگاه‌های پزشکی در وضعیت مطلوب نگهداری شده و سریعاً دچار زوال نمی‌شوند (۹). ناصر حمدی و همکاران در سال ۲۰۱۲، با تاکید بر اهمیت استراتژی‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات پزشکی و تاثیر از کارافتادگی تجهیزات پزشکی بر میزان مرگ و میر بیماران، مدلی جهت اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری تجهیزات پزشکی در بیمارستان‌های اردن ارائه نموده‌اند. نتایج مطالعه ایشان نشان می‌دهد که به کارگیری این مدل تاثیر به سزایی بر حداقل سازی از کارافتادگی تجهیزات، افزایش قابلیت اطمینان آن‌ها، صرفه‌جویی در هزینه‌ها و افزایش ایمنی تجهیزات دارد (۱۰). مکی و همکارانش در سال ۲۰۱۲، با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها به توسعه ی مدلی برای بهبود برنامه‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات پزشکی در کشورهای در حال توسعه پرداخته‌اند. ایشان مدل پیشنهادی خود را در خصوص ۳ بیمارستان در سودان و ۱۲ بیمارستان در مصر انجام داده‌اند. نتایج تحقیق ایشان نشان می‌دهد که نرخ خرابی، نرخ ماشین‌های



از کار افتاده و هزینه‌ی تعمیر و نگهداری مهم‌ترین عوامل اثرگذار در یک سیستم تعمیر و نگهداری تجهیزات پزشکی است (۱۱). جمشیدی و همکاران در سال ۲۰۱۵، یک چارچوب اولویت‌بندی مبتنی بر ریسک را برای انتخاب بهترین استراتژی تعمیر و نگهداری پیشنهاد کردند. این چارچوب شامل سه مرحله اصلی می‌باشد؛ اولین مرحله، تجزیه و تحلیل فازی عوامل شکست و آثار آن (FFMEA) است. در مرحله دوم تمامی جنبه‌های خطر و ریسک در اولویت‌بندی تجهیزات پزشکی در نظر گرفته شده و در نهایت در مرحله سوم مناسب‌ترین استراتژی تعمیر و نگهداری برای هر یک از تجهیزات، با توجه به امتیازشان ارائه می‌شود. نتایج مطالعه ایشان نشان می‌دهد مدیران با استفاده از این چهارچوب می‌توانند تجهیزات پزشکی را با توجه به امتیازات بدست آمده و فعالیت‌های نگهداری موردنیاز طبقه‌بندی کرده و دسترسی به تجهیزات با ریسک بالا را افزایش دهند (۱۲). عیدو و همکاران در سال ۲۰۱۵، به منظور ارزیابی سیستم‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات پزشکی در کشورهای در حال توسعه از رویکرد پویایی سیستم‌ها استفاده نموده‌اند. ایشان در مقاله‌ی خود به طراحی مدلی جهت بررسی سهم استراتژی‌های تعمیر و نگهداری اصلاحی و پیشگیرانه جهت بهبود عملکرد کلی دستگاه‌های پزشکی پرداخته‌اند. در حقیقت این مقاله، استراتژی مطلوب نگهداری و تعمیرات را به منظور افزایش دسترسی عملیاتی دستگاه‌های پزشکی و کاهش زوال (فرسودگی) آنها ارائه نموده‌اند (۱۳).

هدف این مقاله ایجاد یک مدل سیستم‌های پویاست، تا از طریق نظارت بر عملکرد تجهیزات پزشکی و تدوین استراتژی‌های مناسب نگهداری و تعمیرات، اثربخشی تجهیزات پزشکی در طول دوره عمر آنها افزایش یابد. در این مقاله ابتدا فرضیه‌ی پویا ارائه شده، سپس متغیرهای کلیدی مدل شناسایی و برای نمایش نحوه‌ی ارتباط متغیرها به توسعه‌ی نمودار علت و معلولی پرداخته شده است. در گام بعدی، نمودار انباشت و جریان سیستم تعمیر و نگهداری تجهیزات پزشکی، ترسیم و در نهایت مدل ایجاد شده، در قالب سه سیاست مختلف شبیه‌سازی شده است. گام‌های مذکور در بخش‌های بعدی این مقاله با جزئیات بیشتر ارائه گردیده است.

### ۳- متدولوژی

در پژوهش حاضر، به منظور جمع‌آوری مقادیر واقعی داده‌های مربوط به متغیرهای شناسایی شده در مدل، از پرسشنامه‌ای مشتمل بر ۱۸ سوال استفاده شده است. لازم به ذکر است که تمرکز مقاله حاضر بر تجهیزات و استراتژی‌های تعمیر و نگهداری آنها در بخش سونوگرافی بیمارستان رضوی می‌باشد. پرسشنامه‌های مربوطه از طریق ارتباطات رودرو و بر طبق نظرات پاسخ‌دهندگان و توسط شخص محقق تکمیل گردیده است. در حقیقت داده‌های جمع‌آوری شده تنها به منظور تعیین موقعیت اولیه سیستم، جهت تنظیم محدوده متغیرها و ارائه سیاست‌های واقعی، بکار گرفته شده است. مجموعه‌ی پاسخ دهندگان پرسشنامه‌ی مذکور شامل ۵ نفر از مهندسان واحد نگهداری و تعمیرات تجهیزات پزشکی و ۲ نفر از مدیران این بخش می‌باشند. همچنین جهت تهیه و تنظیم الگوهای مرجع از اسناد و مدارک بیمارستان مربوط به سال‌های گذشته استفاده شده است.

در این پژوهش از نرم افزار ونسیم<sup>۱</sup> استفاده شده است. این نرم افزار، یک ابزار مدل‌سازی بصری است که امکان مفهوم-سازی، سندسازی، شبیه‌سازی، تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی مدل‌های سیستم‌های پویا را فراهم می‌آورد. به طور کلی ونسیم راهی ساده و انعطاف‌پذیر به منظور شبیه‌سازی مدل‌های سیستم‌های پویا با استفاده از حلقه‌های علی و معلولی و نمودار انباشت و جریان است (۱۴). جهت اعتبار سنجی مدل ایجاد شده آزمون‌های مختلفی وجود دارد که در این پژوهش از آزمون وضعیت حدی برای اعتبار سنجی مدل استفاده شده است. در این آزمون معناداری رفتار مدل با تغییر قابل توجه در ورودی‌های مدل بررسی می‌شود (۱۵).

<sup>۱</sup> Vensim



#### ۴- مدل‌سازی سیستم دینامیک

در دهه ۱۹۶۰ در زمینه سایبرنتیک و دینامیک سیستم‌ها، پیشرفت‌های مهمی به وجود آمد. جی فارستر<sup>۱</sup> در سال ۱۹۶۱ مبحث دینامیک صنعتی را به وجود آورد. هدف او از طرح این موضوع آن بود که سازمان‌ها را همانند سیستم‌های سایبرنتیک بنگرد و از راه شبیه‌سازی نحوه کارشان را دریابد (۱۶).

مسائل سیستم‌ها، ثبت و بررسی نقاط مهم عملکرد سیستم‌ها، به شکل سناریویی از آینده است که رفتار گذشته و حال محیط سیستم را ملاک قرار می‌دهد. ثبت این سناریو، نیازمند دانش و تکنیکی است که با بهره‌گیری از نگرش سیستمی، مشکلات را به درستی شناسایی و سریع‌ترین واکنش را نشان می‌دهد. در این مطالعه با استفاده از رویکرد سیستم دینامیک، رابطه بین اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه تعمیر و نگهداری با خرابی تجهیزات، دسترسی به تجهیزات و کیفیت فرآیند بررسی می‌شود. مراحل مدل‌سازی سیستم با استفاده از رویکرد سیستم دینامیک به شرح زیر است:

##### ۴-۱- فرضیه پویا

تخصیص منابع در دسترس برای نگهداری و تعمیرات، به اقدامات تعمیر و نگهداری اصلاحی و پیشگیرانه، از طریق تخصیص بودجه و نیروی انسانی بیشتر، منجر به کاهش میانگین زمان لازم برای هر بار تعمیرات<sup>۲</sup> تجهیزات می‌گردد که در نتیجه، نرخ تعمیر افزایش یافته و میزان نقص آن‌ها کاهش می‌یابد. در نتیجه‌ی کاهش نقص دستگاه‌ها، میانگین زمان مابین دو کارافتادگی آن‌ها افزایش می‌یابد و در حقیقت تعداد ساعت‌هایی که دستگاه خارج از سرویس قرار دارد کاهش می‌یابد که این امر منجر به افزایش میزان دسترسی به دستگاه‌ها می‌گردد. همچنین کاهش نقص تجهیزات، از طریق کاهش تعداد ساعت‌هایی که دستگاه‌ها با وجود نقص به کار می‌پردازند (imperfect machine)، منجر به افزایش کارکرد (function) تجهیزات و در نتیجه افزایش دسترسی به آن‌ها می‌گردد. از سوی دیگر با افزایش اقدامات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، تعداد دستگاه‌هایی که بدون هیچگونه نقصی به کار خود می‌پردازند افزایش می‌یابد، که این امر منجر به افزایش کارکرد (function) تجهیزات و در نتیجه افزایش دسترسی به آن‌ها می‌گردد. با افزایش در دسترس بودن دستگاه‌ها و در صورت وجود تقاضا برای آن‌ها، تعداد ساعات عملیاتی دستگاه‌ها افزایش یافته که این امر منجر به استهلاک تجهیزات و در نتیجه افزایش نرخ ایجاد نقص و تعداد دستگاه‌های معیوب و از کار افتاده می‌گردد، که در نهایت منجر به کاهش دسترسی به دستگاه می‌شود. به طور کلی تخصیص متوازن منابع تعمیر و نگهداری به اقدامات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و اصلاحی منجر به افزایش دسترسی به تجهیزات و کاهش هزینه‌های نگهداری شامل هزینه‌های نگهداری و تعمیرات اصلاحی و پیشگیرانه می‌شود و در نهایت، ارزش خالص استراتژی تعمیر و نگهداری افزایش می‌یابد.

##### ۴-۲- نمودار علی و حلقوی

پس از ارائه فرضیه پویا، مدل علی حلقوی ایجاد می‌گردد. در شکل ۲، مدل علی حلقوی سیستم تعمیر و نگهداری تجهیزات پزشکی، ارائه گردیده است. در حقیقت از نمودار علی به منظور نمایش ساختار بازخوردی سیستم استفاده می‌شود. این نمودار شامل دو یا تعداد بیشتری ارتباط علی است که در واقع متغیرهای مختلف مدل را به یکدیگر پیوند می‌دهد. بازخورد در واقع یک مفهوم کلیدی در سیستم دینامیک است که تعامل بین متغیرها را نشان می‌دهد. به طور کلی دو حلقه‌ی بازخوردی شامل حلقه‌های مثبت یا خود تقویت‌کننده و حلقه‌های منفی یا خود تعادلی وجود دارد. همان‌طور که از نام این حلقه‌ها مشخص است، حلقه‌های مثبت به صورت نمایی اثر رشد را تقویت می‌کند و حلقه‌های منفی بر طبق رویکرد تعادل، شکاف میان وضعیت موجود سیستم و وضعیت تعادل را کاهش می‌دهد.

<sup>1</sup> Jay Farrester

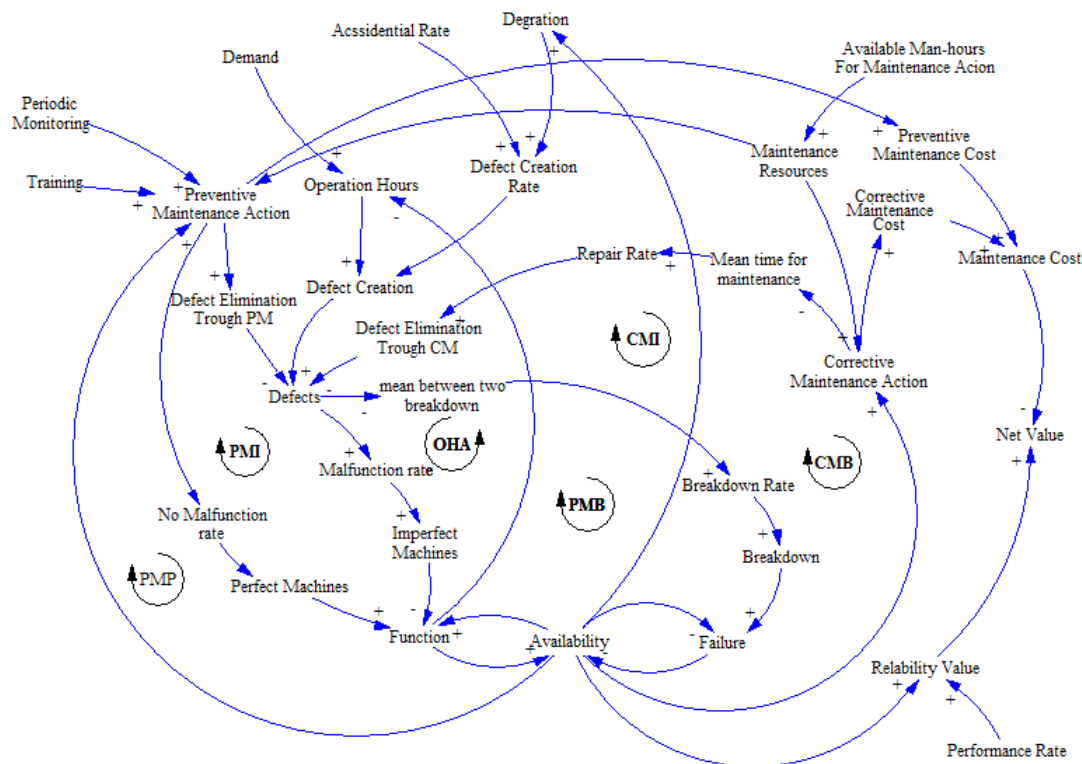
<sup>2</sup> Mean for repair



اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

نمودار علی که در شکل ۲ نمایش داده شده است، به دو زیرسیستم قابل تفکیک است، زیر سیستم تعمیر و نگهداری اصلاحی و زیرسیستم تعمیر و نگهداری پیشگیرانه یا دوره ای. این دو زیر سیستم توسط متغیرهای میزان دسترس پذیری و هزینه ی تعمیر و نگهداری به یکدیگر متصل می‌شوند. خرابی و کارکرد به ترتیب دارای اثر منفی و مثبت بر میزان دسترس پذیری هستند، حال آنکه تاثیر میزان در دسترس بودن دستگاه بر روی این دو متغیر (خرابی و کارکرد)، مثبت است. بنابراین در این قسمت دو حلقه وجود دارد؛ حلقه بین کارکرد و دسترس پذیری که مثبت است و حلقه ی بین خرابی و دسترس پذیری که منفی است.

از آن جایی که تخصیص منابع و نیروی انسانی بیشتر برای تعمیر و نگهداری، منجر به افزایش هزینه و در نتیجه کاهش اثربخشی استراتژی‌های نت می‌گردد، بنابراین متغیر هزینه نیز در نمودار علی ارائه گردیده است. در این مقاله افزایش منابع و نیروی انسانی تخصیص یافته جهت تعمیر، منجر به افزایش دوبار در هزینه‌های تعمیر و نگهداری اصلاحی می‌گردد، همچنین بین اقدامات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و هزینه های مربوط به آن، رابطه ی مثبت و نمایی وجود دارد. آنچه به عنوان خروجی مدل و مبنایی برای تصمیم گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌های بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد، ارزش خالص نت است. در حقیقت ارزش خالص نت، از طریق دو متغیر میزان دسترس پذیری به دستگاه و هزینه ی تعمیر و نگهداری، تحت تاثیر قرار می‌گیرد و می‌تواند به منظور تجزیه و تحلیل اقدامات و استراتژی‌های نت به کار گرفته شود.



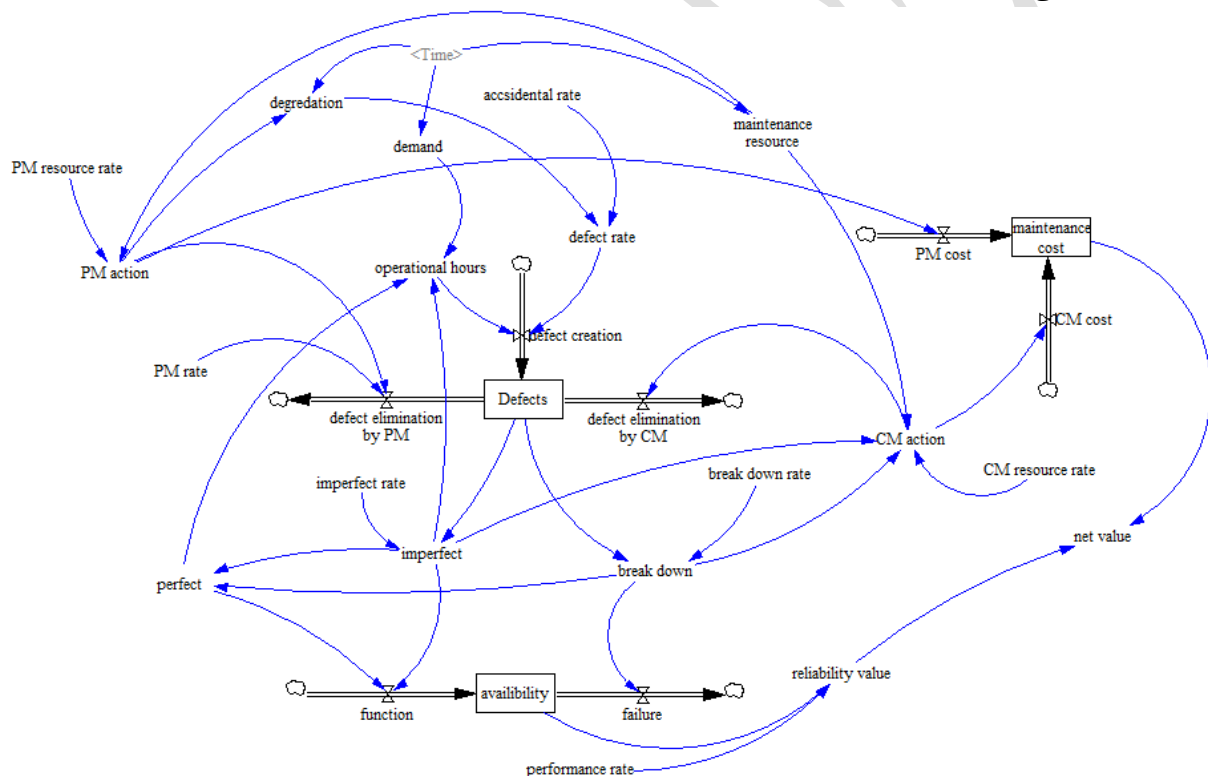
شکل (۱): نمودار علی حلقوی سیستم نگهداری و تعمیرات تجهیزات پزشکی



### ۳-۴- نمودار انباشت و جریان<sup>۱</sup>

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های نمودارهای علی حلقوی، عدم توانایی آن‌ها در نمایش ساختار انباشت و جریان سیستم است. در حقیقت انباشت‌ها و جریان‌ها، همراه با بازخورد، دو مفهوم کلیدی در نظریه سیستم‌های پویا بشمار می‌روند. بطور کلی در یک سیستم، انباشت‌ها در نتیجه ی تفاوت میان نرخ‌های جریان‌های ورودی و خروجی و در طی یک فرآیند در سیستم رخ می‌دهند. در حقیقت انباشت‌ها منجر به ایجاد حافظه در سیستم می‌شوند که مبنایی برای اقدامات و تصمیم‌گیری‌ها در سیستم هستند. همچنین انباشت‌ها منجر به ایجاد تاخیر و عدم تعادل در سیستم می‌شوند.

براساس مساله تحقیق و مبتنی بر نمودار علی حلقوی ارائه شده، از آنجاییکه هدف تحقیق بهبود بروندهای سیستم نگهداری و تعمیرات تجهیزات پزشکی می باشد، متغیرهای تعداد نقص، هزینه کل نگهداری و دسترس پذیری به عنوان متغیر انباشت در نظر گرفته شده اند و متغیر ارزش خالص متغیر خروجی و هدف غایی تحقیق است. نمودار انباشت و جریان یکپارچه در نتیجه تلفیق سه زیرسیستم نقص یا خرابی، در دسترس بودن دستگاه و هزینه‌های تعمیر و نگهداری به صورت شکل ۶ قابل ارائه می باشد.



شکل (۲)، نمودار انباشت و جریان سیستم نگهداری و تعمیرات تجهیزات پزشکی

### ۵- بررسی اعتبار مدل

اعتبار در مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم به دو گونه اعتبار ساختاری<sup>۲</sup> و اعتبار رفتاری<sup>۱</sup> تقسیم شده است. اعتبار ساختاری به معنای ایجاد روابطی در مدل است که به شیوه ای رسا و کافی نشان دهنده روابط جهان واقعی (با در نظر گرفتن

<sup>۱</sup> Stock and Flow Diagram

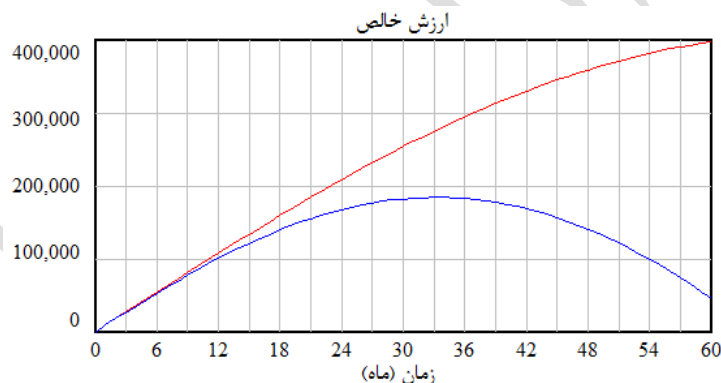
<sup>۲</sup> Structural validation





اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

هدف مطالعه) باشند (۱۷). اعتبار رفتاری بدین معنی است که رفتار مدل به اندازه کافی نشان دهنده رفتار پدیده در جهان واقعی باشد اعتبار ساختاری مدل بر اعتبار رفتاری آن اولویت داشته و فقط وقتی ساختار مدل معتبر باشد می توان اعتبار رفتار آن را بررسی کرد (۱۸). بنابراین در تحقیق حاضر برای ارزیابی اعتبار مدل از آزمون پایداری تحت شرایط حدی استفاده شده است. قرار دادن پارامتر اصلی در حالت حداقلی و حداکثری و تست خروجی مدل، شیوه این نوع اعتبارسنجی است تا میزان حساسیت آن در برابر این تغییرات بررسی شود. با وجود اینکه نمودارهای حاصل از نقاط حدی ممکن است هرگز در شرایط واقعی مشاهده نشود اما رفتار منطقی از مدل مورد انتظار است (۱۹). برای این منظور در یک سمت طیف درصد اختصاص یافته منابع به استراتژی تعمیر و نگهداری اصلاحی صفر و به استراتژی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه صد و در سمت دیگر طیف عکس این وضعیت؛ یعنی درصد اختصاصی به استراتژی تعمیر و نگهداری اصلاحی صد و استراتژی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه صفر در نظر گرفته شد. قابل ذکر است تسهیم بودجه تعمیرات و نگهداری تجهیزات پزشکی مورد مطالعه در واقعیت به دلیل تعمیرات اصلاحی مورد نیاز در لحظه در شرایط اورژانسی به شکل فوق امکانپذیر نمی باشد و این حالت صرفا برای بررسی رفتارهای متغیرهای درونزا جهت اعتبارسنجی می باشد.



شکل (۳): نمودارهای حدی متغیر ارزش خالص

همانطور که در نمودار بالا مشاهده می شود با اختصاص کل بودجه به تعمیر و نگهداری پیشگیرانه ارزش خالص سیستم روندی روبه رشد و صعودی خواهد داشت و از طرف دیگر با تخصیص کل بودجه به تعمیر و نگهداری اصلاحی ارزش خالص سیستم پس از طی یک دوره زمانی روندی نزولی و به سمت صفر خواهد داشت. با مشاهده این رفتارهای منطقی از سیستم در نقاط حدی اعتبار مدل مورد تایید خواهد بود.

## ۶- یافته های شبیه سازی شده برای سیاست های مختلف

در این بخش به بررسی سیاست های مختلف، در خصوص تخصیص منابع تعمیر و نگهداری موجود به استراتژی های نگهداری و تعمیرات اصلاحی و پیشگیرانه، پرداخته شده است. سیاست اول، بررسی روند استراتژی های نگهداری و تعمیرات در وضعیت فعلی است، بدان معنا که هیچ گونه تغییری در سیاست های نت اصلاحی و پیشگیرانه فعلی اعمال نمی گردد. در واقع در شرایط فعلی بیمارستان، منابع موجود جهت تعمیر و نگهداری به نسبت مساوی به استراتژی تعمیر و نگهداری اصلاحی و پیشگیرانه اختصاص می یابد. در سیاست دوم، نسبت منابع و نیروی انسانی اختصاص یافته برای تعمیر و نگهداری اصلاحی<sup>۲</sup>

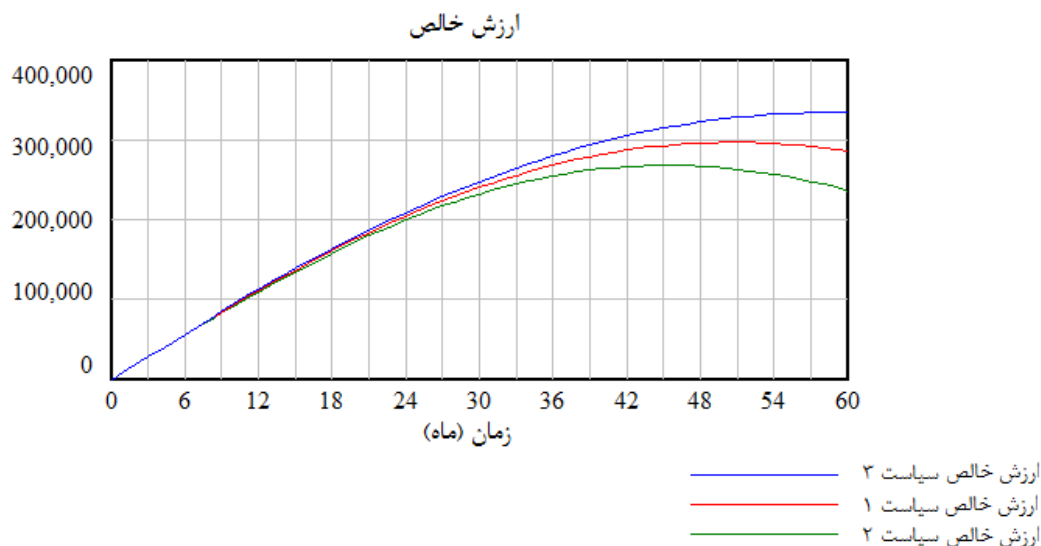
<sup>1</sup> Behavior validation

<sup>2</sup> CM resource rate



اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

افزایش و از ۵۰٪ به ۷۰٪ رسیده و منابع و نیروی انسانی اختصاص یافته به تعمیر و نگهداری پیشگیرانه<sup>۱</sup> از ۵۰٪ به ۳۰٪ کاهش یافته است. در سیاست سوم، درصد منابع اختصاص یافته به تعمیر و نگهداری پیشگیرانه به ۷۰٪ افزایش و برای استراتژی تعمیر و نگهداری اصلاحی به ۳۰٪ کاهش می‌یابد. نمودار انباشت مربوط به متغیر ارزش خالص، برای سیاستهای فوق ارائه گردیده است.



شکل (۴): نمودار انباشت متغیر ارزش خالص برای سیاستهای مختلف

همان طور که در نمودارهای فوق قابل مشاهده است، تغییرات مطرح شده در سیاستهای فوق، منجر به تغییر سطح ارزش خالص استراتژی‌های نت می‌گردد.

سطح زیر نمودار هر سیاست بیان کننده این است که بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات، جهت انتخاب توسط تصمیم گیران کدام است. در حقیقت، سیاستی که بیشترین سطح زیر نمودار را دارد، بهترین سیاست می‌باشد

$$Area = \int Net\ valu(t) dt = \sum Net\ value(t) dt \times \Delta t$$

همان طور که در نمودار فوق مشاهده می‌شود در ماه‌های ابتدایی تفاوت چندانی در سیاستهای مختلف وجود ندارد اما با گذشت زمان سیاست ۳، که همان اختصاص سهم بیشتری از منابع به استراتژی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه است، بیشترین سطح زیر منحنی را برای ارزش خالص دارد. از طرف دیگر مشاهده می‌شود که در مقایسه با دو سیاست ۱ و ۳، در سیاست ۲ که اختصاص سهم بیشتری از منابع به استراتژی تعمیر و نگهداری اصلاحی را عنوان می‌نماید، سطح زیر منحنی کمتری برای متغیر ارزش خالص وجود دارد.

بنابراین بر اساس مقادیر ارزش خالص به ترتیب سیاست ۳، ۱ و ۲ جهت سیاست‌گذاری واحد تعمیر و نگهداری تجهیزات بیمارستان رضوی پیشنهاد می‌گردد. بنابراین استراتژی بهینه در بیمارستان، سیاست ۳ یا همان سرمایه گذاری و اختصاص منابع بیشتر به استراتژی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه است.

<sup>1</sup> PM resource rate





## ۷- بحث

در این مقاله، از رویکرد سیستم‌های پویا برای مدلسازی برنامه‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات بیمارستانی (بخش سونوگرافی بیمارستان رضوی) و تسهیم منابع بین استراتژیهای مختلف تعمیرات و نگهداری و تجهیزات استفاده شده است. بر طبق این رویکرد و به منظور ارائه روابط علی میان متغیرهای کلیدی شناسایی شده، از نمودار علی-حلقوی استفاده شده است. همچنین، از ساختار انباشت و جریان برای شبیه‌سازی سیستم پیشنهادی استفاده گردید. هر دو ساختار علی-حلقوی و انباشت و جریان در خصوص این مورد مطالعاتی به تفصیل ارائه گردید.

مدل ارائه شده در این تحقیق با درنظر گرفتن زیرسیستم‌های هزینه، میزان دسترس پذیری و تعداد نقص نسبت به تحقیقات پیشین کامل تر است. مزیت این مقاله نسبت به مقالات پیشین این است که متغیر ارزش خالص که در واقع برآیند دو متغیر هزینه و دسترس پذیری است به مدل افزوده شده و امکان تصمیم‌گیری دقیق‌تر را برای انتخاب بهترین سیاست فراهم می‌سازد. در مقالات گذشته به متغیر هزینه نگهداری و تعمیرات یا متغیر میزان ازکارافتادگی ماشین آلات به عنوان متغیر نهایی و خروجی مدل بسنده می‌شد که با توجه به تاثیر متقابل متغیرها برهم و همچنین تاثیرگذاری عواملی مانند کارکرد، قابلیت اطمینان و دسترس پذیری مشخص است که از جامعیت کافی برخوردار نبودند، حال آنکه در این مقاله سعی شده است مدلی جامع ارائه شود که تصویر دقیق‌تری از رفتار پویای سیستم نگهداری و تعمیرات پزشکی، با استفاده از مفهوم سیستم دینامیک به نمایش گذارد (۸) (۱۱) (۱۳).

## ۸- نتیجه گیری

در این مقاله استراتژی‌های تعمیر و نگهداری مختلفی در خصوص مدل مطرح شده لحاظ گردید و سپس براساس مقادیر ارزش خالص هر استراتژی، سهم هر استراتژی از منابع تعیین شد. در حقیقت استراتژی‌ای که بیشترین مقدار ارزش خالص را داشته باشد بهترین استراتژی است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی و بررسی سیاستهای مختلف به این نتیجه می‌رسیم که سرمایه‌گذاری در استراتژی‌های مختلف تعمیر و نگهداری در سال‌های ابتدایی، تغییرات محسوسی را در خروجی‌های مدل ایجاد نمی‌کند و به بیان دیگر، استراتژی‌های مختلف تفاوت چندانی با هم ندارد، اما سرمایه‌گذاری بیشتر در استراتژی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و اختصاص منابع بیشتر به این استراتژی، در بلند مدت منجر می‌شود که سطح دسترس پذیری به تجهیزات و ارزش خالص نسبت به دو استراتژی دیگر، که در این مقاله مطرح شده است، بالاتر و هزینه نگهداری در سطح پایین‌تری قرار گیرد.

با افزودن زیرسیستم‌های دیگر می‌توان مدل فعلی را بهبود بخشید و با شرایط داخلی هر بیمارستان تطبیق داد. سیاست گذاری‌های داخلی بیمارستان، میزان اثربخشی نیروی کار نگهداری و تعمیر، آموزش و توسعه نیروی کار و همچنین نحوه رفتار با رقبا (در بیمارستان‌های خصوصی) نیز بخش‌هایی هستند که می‌توانند مدل ارائه شده در این تحقیق را کامل‌تر کنند. همچنین از آنجا که مفاهیم نگهداری و تعمیر تنها به نگهداری و تعمیر اصلاحی و پیشگیرانه خلاصه نمی‌شود، با تعریف متغیرهای جدید در مدل می‌توان سناریوهای جدیدی مانند استراتژی نگهداری و تعمیر پیش بین و استراتژی نگهداری و تعمیر بهره‌ور جامع را تعریف و مدل را تحت این سناریوها ارزیابی کرد.



#### مراجع

- [1] Nooritagher M., Dabaghi F., Mohammadi R., Haghani H., (2003), **A survey of maintenance and cost of medical equipment in hospitals associated of Iran University of Medical Science**. Iran Univ. of Med. Sci. J.,30(9), pp 445-453.
- [2] Dhillon, B.S., (2011), **Medical Equipment Reliability: A Review, Analysis, and Improvement**
- [3] Wang B., (2012), **Medical Equipment Maintenance: Management and Oversight**, Synthesis Lectures on Biomedical Engineering, J.D. Enderle (ed.), Morgan & Claypool Publ., Princeton NJ.
- [4] Bhawan, P., (2012), **The Medical Equipment Maintenance Policy**, C.I.G. Road, New Delhi-110 002.
- [5] Taghipour, S., (2012), **Reliability and Maintenance of Medical Devices**, Thesis.
- [6] Keil, O.R., (2008), **Unnecessary Preventative Maintenance: Its Effect on Opportunity Costs**, JClinEng 33(1): 8.
- [7] N., Medhat, S.A., Samy, M., Abdel Wahed, A.S., (2008), **Medical Equipment quality assurance by making continuous improvement to the system**. Proceedings of the 4th Cairo International Biomedical Engineering conference.
- [8] Jamshidi, A., Abbasgholizadeh Rahimi, S., Ait-kadi, D., (2014), **Medical devices Inspection and Maintenance; A Literature Review**. Proceedings of the Industrial and Systems Engineering Research Conference.
- [9] Brailsford, S., (2008), **System dynamics: what's in it for healthcare simulation modelers**, Proceedings of the Winter Simulation Conference, pp 1478- 1483.
- [10] Naser Hamdi ,Rami Oweis, Hamzeh Abu Zraiq, Denis Abu Sammour, (2012), **An Intelligent Healthcare Management System: A New Approach in Work-order Prioritization for Medical Equipment Maintenance Requests**. Journal of Medical Systems. 36(2), pp557-567
- [11] mekki, S., abdel wahed, M., Khaled, k., Ouda, B., (2012), **A system Dynamics based model for medical Equipment maintenance procedure planning in developing countries**, cairo international biomedical engineering conference, pp104-108.
- [12] Jamshidi, A., Abbasgholizadeh Rahimi, S., Ait-kadi, D., Ruiz A., (2015), **An Intelligent Healthcare Management System: A New Approach in Work-order Prioritization for Medical Equipment Maintenance Requests**. Journal of Medical Systems. 36(2), pp557-567
- [13]Abdo,A., Abdel Wahed, M., Sharawi,A., (2015), **Dynamic Model for Evaluation of Medical Devices Maintenance in Developing Countries**, International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, 3(12), pp 145-159
- [14] **Vensim-Ventana Simulation Environment**, (2007), User's Guide Version 5.
- [15] Chaerul, M., Tanaka, M., Ashok, V., Shekdar, b., (2008), **A system dynamics approach for hospital waste management**, Waste Management 28 (2008), PP 442–449.



The First National Conference of  
The Iranian System **Dynamics** Society

اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها



[16] Sterman, J.D. (2000). **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. McGraw-Hill, Boston.

[17] Oliva, R., (2003). **Model calibration as a testing strategy for system dynamics models**. European Journal of Operational Research. Vol. 151, Pages: 552-568.

[18] Khan , S.; Yufeng, L. & Ahmad, A. (2009), **Analyzing Complex Behavior of Hydrological Systems through a System Dynamics Approach**, Environmental Modeling & Software, Vol 2, No.24, pp 1363-1372

[19] Sterman, J.D. (2000). **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. McGraw-Hill, Boston.



## Evaluation of Different Strategies for Maintenance of Medical Equipment with the Dynamic Systems Simulation Approach

Zahra Aghasizadeh<sup>\*1</sup>, Alireza Pooya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD student in Industrial Management at Ferdowsi University of Mashhad  
[Aghasizadeh.zahra@mail.um.ac.ir](mailto:Aghasizadeh.zahra@mail.um.ac.ir)

<sup>2</sup>Associate Professor of Management at Ferdowsi University of Mashhad  
[alirezapooya@um.ac.ir](mailto:alirezapooya@um.ac.ir)  
Tel: +985138805351

### Abstract

Proper maintenance strategies reduce overall operating cost of medical equipment and lead to an increase in the availability of equipment. In fact, this study seeks to optimal strategy to increase access to medical facilities, reduce the cost of maintenance and increase its overall net worth of equipment maintenance system. This study wants to design a system dynamic simulation model to evaluate the contribution of preventive and corrective maintenance actions and strategies to improve the overall performance of medical equipment. In this regard, the key variables of the medical equipment maintenance and repair system identified, causal relationships formulated in the form of rings and then by designing the original model in the form of stock and flow charts with the Vensim software simulation is completed. Simulation results show that Increasing preventive maintenance actions by reducing the need for corrective action, leading to an increase in the availability of equipment and reduce the cost of maintenance. Ratio of Change of resources and the allocation to each of corrective and preventive maintenance measures through the simulation and according to the primary and secondary variables of case study (Razavi Hospital) is obtained. Simulation model for other hospitals consider to their internal conditions can be implemented.

**Keywords:** maintenance and repair system, maintenance and repair strategies, Dynamics systems, Causal loop diagram, Stock and flow diagram

---

<sup>1</sup> \* coresponded writer