مقاله پژوهشی

ارائه مدل دوهدفه برنامه‌ریزی تصادفی خدمات پرستاری

مهدی یوسفی نژادعطاری[1*]، ویدا کرباسی[2]، سیروان شریفی[3]

دانشگاه آزاد اسلامی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۳۰

چکیده

از دلایل بالا بودن مدت‌زمان انتظار بیماران در بیمارستان‌ها، نبود کادر متخصص کافی در بیمارستان است، لذا بهینه نبودن هزینه‌ها و رضایت شغلی کادر پرستاری بیمارستان‌ها نشأت‌گرفته از به‌کارگیری روش‌های سنتی و غیرعلمی در تخصیص پرستاران به شیفت‌ها می‌باشد. مقاله حاضر جهت تعیین حداقل پرستار موردنیاز با توجه به مراجعه بیماران در زمان‌های مختلف، تعیین برنامه نوبت‌کاری با کمترین ساعت‌کاری موردنیاز و برنامه‌ریزی نوبت‌کاری پرستاران در هر یک از شیفت‌ها با کم‌ترین هزینه برای بخش اورژانس انجام می‌شود. روش تحقیق پژوهش حاضر از نوع مدل‌سازی ریاضی و جامعه پژوهش، بیماران مراجعه‌کننده به بخش اورژانس و پرستاران یک مرکز درمانی در نظر گرفته‌شده است. تجزیه‌وتحلیل اطلاعات؛ ترکیبی از روش‌های پیش‌بینی، مدل‌های تئوری صف و برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح است. برای پیش‌بینی میزان بیماران مراجعه‌کننده به اورژانس از روش سری زمانی و ابزار ARIMA و جهت بررسی سیستم صف با ظرفیت محدود از مدل M/M/C/K استفاده‌شده است. از مهم‌ترین نتایج این تحقیق، تعیین بیشینه تعداد پرستارهای در دسترس در هر شیفت است. همچنین از دیگر نتایج این تحقیق، مقایسه کارایی هر یک از الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) و الگوریتم زنبورها (BA) نسبت به شاخص‌های تعریف‌شده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت خدمات پرستاری، سری‌های زمانی، تئوری صف، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب، الگوریتم زنبورها.

۱- مقدمه

هزینه‌های بهداشت و درمان در ایران به‌عنوان یکی از کشورهای درحال‌توسعه، روند صعودی داشته است. طبق گزارش بانک جهانی بهداشت، هزینه سرانه بهداشت هر شهروند ایرانی در سال ۲۰۰۱ در حدود ۴۲۲ دلار (۶/۳ درصد از GDP) برآورد شده است[۱]. در سال ۲۰۱۴، دولت در حدود ۴۱/۲۰ درصد از کل هزینه‌های صرف شده در بهداشت و درمان را پرداخته است. درحالی‌که این رقم در سال ۲۰۰۰ در حدود ۳۷ درصد (۹/۶ درصد از کل هزینه‌های دولت) و در سال ۲۰۰۷ در حدود ۴۶/۸ درصد (۱۱/۵ درصد از کل هزینه‌های دولت) ثبت گردیده است.

بیمارستان‌ها بخش مهم بهداشت و درمان هستند که بیش از ۳۶ درصد از هزینه‌های دولتی را به خود اختصاص داده‌اند [۲]. از طرفی اورژانس، بخش اصلی بیمارستان را تشکیل می‌دهد و نیروی انسانی متخصص به‌عنوان منبع اصلی تولید و ارائه خدمت، شاخصی از وضعیت کلی ارائه خدمات بیمارستان است. طول مدت‌زمانی که بیماران برای دریافت خدمات تشخیصی و درمانی در اورژانس صرف می‌نمایند، یکی از اصلی‌ترین شاخص‌هایی است که در ارزیابی مراکز اورژانس به کار گرفته می‌شود. همچنین

۱*- عضو هیئت‌علمی گروه مهندسی صنایع، واحد بناب ، دانشگاه آزاد اسلامی ، بناب، ایران، نویسنده، مسئول، پست الکترونیک: mahdi_108108@yahoo.com نشانی: بناب، میدان امام علی (ع)

۲- دانش آموخته گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران vida_karbasi@gmail.com

۳- عضو هیئت‌علمی گروه مهندسی صنایع، واحد بناب ، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران، پست الکترونیک: syrwn_shryfy@yahoo.com

نیروی انسانی متخصص منبع اصلی تولید و ارائه خدمت در این بخش می‌باشد که تحت هیچ شرایطی نباید با کمبود نیروی انسانی مواجه باشد، لذا انتخاب ترکیب بهینه نیروی انسانی در این بخش در ارتقای بهره‌وری بیمارستان تأثیرگذار است؛ لذا می‌توان یکی از اصلی‌ترین الزامات این بخش برای ارائه خدمات مناسب و به‌موقع را وجود تعداد کافی از کادر متخصص، به‌ویژه تعداد پرستاران عنوان نمود.

بخش اورژانس بیمارستان امام رضا (ع) تبریز نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های مرکز بهداشتی و درمانی استان آذربایجان شرقی، با مسائل مطرح‌شده مواجه است. در این مقاله سعی شده است با استفاده از مدل‌سازی ریاضی کارکنان موردنیاز در اورژانس با توجه به محدودیت‌های اورژانس و همچنین باهدف کاهش تعداد پرستاران بخش اورژانس و زمان انتظار بیماران تعیین گردد. نوآوری اصلی مقاله مدل‌سازی مسئله با دو تابع هدف برای کمینه کردن تعداد پرستاران و بیشینه نمودن رضایت بیماران با کاهش زمان انتظار است. البته نرخ ورود بیماران به اورژانس با داده‌های قبلی و با استفاده از آنالیز سری‌های زمانی پیش‌بینی‌شده است.

در ادامه مقاله، در بخش دوم مرور ادبیات آورده شده است. در بخش سوم، ضمن بیان مسئله، فرمولاسیون ریاضی پیشنهادی ارائه‌شده است. در بخش چهارم یافته‌های پژوهشی مبتنی بر مطالعه موردی با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری اشاره‌شده است و در بخش آخر نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای محققین آینده آورده شده است.

۲. مرور ادبیات

برای تعیین تعداد بهینه کارکنان موردنیاز بخش اورژانس و کاهش زمان انتظار بیماران مراجعه‌کننده، مطالعات مختلفی صورت گرفته است. در ادامه به پیشینه تحقیق موارد ذکرشده در حوزه سلامت پرداخته می‌شود و سپس شکاف تحقیقاتی و نوآوری مسئله بیان می‌گردد.

سینریچ و مارمور۱ دپارتمان اورژانس عمومی را شبیه-سازی نمودند که قابل‌انعطاف، شهودی و برای استفاده بسیار ساده است و شامل مقادیر مختلفی برای بیشتر پارامترهای سیستم اورژانس می‌باشد [۳]. همچنین تاکاکووا و شیزوکی۲ از تحلیل عملکردی برای زمان‌بندی عملیات اورژانس که زمان انتظار بیمار را کمینه می‌کند، استفاده نمودند [۴]. گارسیا۳ و همکاران تأثیر آهنگ سریع صف را بر روی کاهش زمان انتظار بیماران با اولویت پایین در اورژانس موردبررسی قرار دادند. بیماران اورژانس معمولاً با توجه به‌شدت بیماری اولویت‌بندی می‌شوند و ازاین‌رو بیماران با شدت بیماری کم‌تر معمولاً زمان بیشتری را نسبت به سایر بیماران مراجعه‌کننده برای دریافت خدمات درمانی منتظر می‌مانند. آن‌ها همچنین یک خط آهنگ سریع که برای سطح حداقلی از منابع استفاده می‌شود و موجب کاهش قابل‌توجهی در زمان انتظار بیمار می‌گردد را به‌دست آوردند [۵]. در این خصوص یک مطالعه مشابه دیگر توسط ماهاپاترا٤ و همکاران برای ارزیابی تأثیر راه‌های سریع فرآیند مراقبت برای بیماران غیر اورژانسی در زمان انتظارشان در دپارتمان اورژانس ارائه‌شده است [۶]. کریتسیک و بوسمیر۵ در یک مدل شبیه‌سازی رویداد گسسته از دپارتمان اورژانس در دانشگاه بیمارستان لوئیزویل نشان دادند که توان عملیاتی بیمار می‌تواند با استفاده از آهنگ سریع صف برای پردازش حجم بالایی از تست‌ها، بهبود یابد [۷].

معیار مهم دیگر برای کارایی دپارتمان اورژانس، زمان کل سپری‌شده بیمار در اورژانس (یعنی طول مدت اقامت) است. در این خصوص میلر٦ و همکاران از شبیه‌سازی رویداد گسسته برای یک دپارتمان اورژانس از یک بیمارستان بزرگ در جنوب‌شرقی ایالات‌متحده بهره بردند تا نشان دهند که تغییر قابل‌توجه فرآیند برای رسیدن به اهداف معین برای طول اقامت بیمار، موردنیاز است [۸]. ساماها۷ و همکاران چگونگی شبیه‌سازی رویداد گسسته در بیمارستان دانشگاه کوپر جهت کاهش مدت اقامت بیماران در دپارتمان اورژانس تشریح نموده و نشان دادند طول اقامت، یک مسئله مربوط به فرآیند است و اضافه نمودن فوت مربع یا تخت‌ها طول اقامت بیماران را کوتاه نخواهد کرد و منجر به هزینه‌های اضافی نیز می‌گردد [۹]. ادواردز۸ و همکاران نتایج مطالعات شبیه‌سازی را به‌صورت دو کلینیک پزشکی که از سیستم‌های صف با مقادیر پردازش

1 – Sinreich & Marmor
2– Takakuwa & Shiozaki

3– García
4– Mahapatra
5– Kraitsik & Bossmeyer
6– Miller
7– Samaha
8– Edwards

متوالی، جایی که بیماران در یک صف منتظر می‌مانند، فرآیند شبه موازی، جایی که بیماران به کوتاه‌ترین صف هدایت می‌شوند تا جریان را حفظ کنند، را ارائه نمودند. همچنین نشان دادند که زمان انتظار بیمار می‌تواند تا ۳۰ درصد با استفاده از فرآیند نیمه موازی کاهش یابد [۱۰].

در زمینه مدل‌سازی ریاضی فرآیند اورژانس و تعیین تعداد بهینه پرستاران تسای و لی۱ در مطالعه‌ای به مدل‌سازی ریاضی دومرحله‌ای برای سیستم زمان‌بندی پرستاران با توجه به نیازمندی‌های مدیریت بیمارستان و مقررات دولتی و ترجیحات شیفتی پرستاران پرداختند. در مرحله اول برنامه زمان‌بندی کار و تعطیلات پرستاران مشخص می‌شود و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA۲) بهینه‌سازی می‌شود. در مرحله دوم از الگوریتم ژنتیک برای به دست آوردن تعداد بهینه پرستاران استفاده می‌شود. ایشان در مطالعه موردی به این نتیجه رسیدند که الگوریتم ژنتیک
می‌تواند ابزاری کارآمد برای حل مسائل زمان‌بندی پرستاران باشد [۱۱]. هاف۳ نیز با استفاده از برنامه‌ریزی محدودیت برای حل مسائل زمان‌بندی پرستاران دریافت که روش‌های دیگری هم قادر به حل مسائل زمان‌بندی پرستاران هستند ۱۲]. تعدادی از مقالات نیز به استفاده از مدل‌های صف در دپارتمان اورژانس تأکید نموده‌اند؛ که ازجمله می‌توان به تحقیق ارائه‌شده توسط گارور٤ و همکاران اشاره نمود. ایشان با پیشنهاد پشتیبان تصمیم کلینیکی و تعریف پرونده‌های الکترونیکی جریان ورود بیماران به بخش اورژانس را با نظریه صف تحلیل نمودند[۱۳]. خاشا٥ و همکاران باهدف کاهش مدت اقامت بیماران، جریان ورود بیماران به بخش جراحی را با ارائه مدل تحلیلی بررسی نمودند. آن‌ها دریافتند اضافه نمودن منابع ریکاوری می‌تواند مدت‌زمان انتظار را به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای کاهش دهد [۱۴]. ربانی٦ و همکاران از رویکرد بهینه‌سازی جهت تخصیص منابع یکپارچه درمانی ازجمله دپارتمان اورژانس، داروخانه و آزمایشگاه استفاده نمودند [۱۵]. وو۷ و همکاران نیز مسئله تخصیص تخت را در دپارتمان اورژانس بررسی نموده و جریان ورود بیمار را بهبود دادند [۱۶].

از بررسی مقالات اشاره‌شده می‌توان دریافت مسئله کاهش زمان حضور بیمار در بخش اورژانس موجب افزایش رضایت مشتری می‌شود. لذا از طرفی دپارتمان اورژانس با تخصیص پرستاران می‌تواند رضایت بیماران را فراهم نماید اما باعث افزایش هزینه‌های عملیاتی سیستم می‌گردد. لذا می‌توان نوآوری مقاله حاضر را در بندهای زیر خلاصه نمود:

۱.مسئله محاسبه تعداد پرستاران بهینه باهدف کاهش همزمان تعداد پرستاران هر شیفت و فراهم نمودن رضایت بیماران بخش اورژانس در مقالات قبلی موردتوجه قرار نگرفته است.

۲.افزایش رضایت بیماران که ناشی از زمان انتظار جهت دریافت خدمات اورژانسی است در قالب مدل صف M/M/C/K که ظرفیت ارائه خدمات محدود است، موردبررسی قرار نگرفته است.

که در جدول (۱)، خلاصه‌ای از برخی آثار پژوهشی مربوطه در حوزه سلامت و پژوهش حاضر ارائه‌شده است.

1– Tsai & Li
2– GA: Genetic Algorithm
3– HOFE
4– Guerrero
5– Khasha
6– Rabbani
7– Wu

جدول (۱): برخی از مطالعات در حوزه سلامت

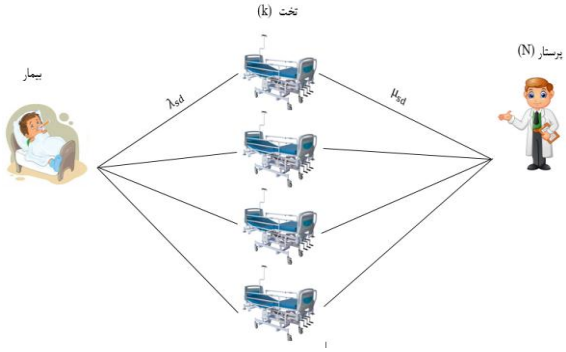
نام نویسندگان مقالات	توضیحات
(سینریچ و مرمور، ۲۰۰۴)	شبیه‌سازی دپارتمان اورژانس عمومی که شامل مقادیر مختلفی برای بیشتر پارامترهای سیستم اورژانس است.
(تاکاکووا و شیزوکی، ۲۰۰۴)	به‌کارگیری یک تحلیل عملکردی برای زمان‌بندی عملیات اورژانس باهدف کمینه کردن زمان انتظار بیمار
(گارسیا و همکاران، ۱۹۹۵)	بررسی تأثیر آهنگ سریع صف بر روی کاهش زمان انتظار بیماران با اولویت پایین در اورژانس
(ماهپاترا و همکاران، ۲۰۰۳)	ارزیابی تأثیر راه‌های سریع فرآیند مراقبت برای بیماران غیر اورژانسی در دپارتمان اورژانس
(کریتسیک و بوسمیر،۱۹۹۳)	به‌کارگیری یک مدل شبیه‌سازی رویداد گسسته در دپارتمان اورژانس به‌منظور بهبود توان عملیاتی بیمار با استفاده از آهنگ سریع صف برای پردازش حجم بالایی از تست‌ها در دانشگاه بیمارستان لوئیزویل
(میلر و همکاران،۲۰۰۳)	شبیه‌سازی رویداد گسسته برای یک دپارتمان اورژانس در یک بیمارستان بزرگ در جنوب‌شرقی ایالات متحده
(ساماها و همکاران، ۲۰۰۳)	تشریح چگونگی شبیه‌سازی رویداد گسسته در بیمارستان دانشگاه کوپر جهت کاهش مدت اقامت بیماران در دپارتمان اورژانس
(ادواردز و همکاران، ۱۹۹۴)	ارائه نتایج مطالعات شبیه‌سازی به‌صورت دو کلینیک پزشکی؛ سیستم‌های صف با مقادیر پردازش متوالی و فرآیند شبه موازی
(تسای و لی، ۲۰۰۹)	ارائه یک مدل ریاضی دومرحله‌ای فرآیند اورژانس برای تعیین تعداد بهینه پرستاران و حل مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک
(هاف، ۲۰۱۱)	استفاده از برنامه‌ریزی محدودیت برای حل مسائل زمان‌بندی پرستاران
(گارور و همکاران، ۲۰۱۹)	به‌کارگیری مدل‌های صف در دپارتمان اورژانس
(خاشا و همکاران، ۲۰۱۹)	ارائه یک مدل تحلیلی باهدف کاهش مدت اقامت بیماران، جریان ورود بیماران به بخش جراحی
(ربانی و همکاران، ۲۰۱۸)	به‌کارگیری یک رویکرد بهینه‌سازی جهت تخصیص منابع یکپارچه درمانی ازجمله دپارتمان اورژانس، داروخانه و آزمایشگاه
(وو و همکاران، ۲۰۱۹)	توسعه مسئله تخصیص تخت در دپارتمان اورژانس باهدف بهبود جریان ورود بیمار
پژوهش حاضر	ارائه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی دوهدفه برای تعیین تعداد بهینه پرستاران باهدف کاهش همزمان تعداد پرستاران هر شیفت و فراهم نمودن رضایت بیماران بخش اورژانس در قالب مدل صف M/M/C/K و حل مدل ریاضی با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) و الگوریتم زنبورها (BA)

۳. شرح مسئله

در این مقاله، مدل ریاضی غیرخطی دوهدفه جهت کاهش هزینه به‌کارگیری پرستاران که با کاهش تعداد پرستاران هر شیفت همراه است و افزایش رضایت بیماران بخش اورژانس که مبتنی بر کاهش زمان انتظار بیماران است، ارائه‌شده است. در این مدل، عمده موضوع اصلی محاسبه تعداد پرستاران هر شیفت کاری است که بر اهداف بیان‌شده تأثیر متفاوتی دارد. جهت طراحی مدل، لازم است قوانین بهره‌وری پرستاران را که از مفروضات اصلی تحقیق نیز به شمار می‌روند، موردتوجه قرار داد:

- تعداد تخت‌های در دسترس در هر شیفت k است.
- تقسیم‌بندی و تعداد شیفت‌ها می‌تواند توسط بیمارستان تعیین شود که در تحقیق پیش‌رو، هرروز شامل سه شیفت به شرح زیر در نظر گرفته‌شده است:
  ۱. شیفت صبح از ساعت ۶ الی ۱۵ (۹ ساعت کاری)
  ۲. شیفت عصر از ساعت ۱۴ الی ۲۳ (۹ ساعت کاری)
  ۳. شیفت شب از ساعت ۲۲ الی ۷ (۹ ساعت کاری)
- تعداد کادر پرستاری (N) به میزان مراجعه‌کنندگان هر بیمارستان مربوط است.
- هر پرستار روزانه حداکثر می‌تواند ۹ ساعت کاری، کار کند.
- هزینه هر ساعت کار در زمان معمولی c_s است.

در شکل (۱) روند ورود بیماران به بخش اورژانس و خدمت‌دهی پرستاران نشان داده‌شده است. تعداد پرستان در هر شیفت و روز کاری متفاوت بوده و در حالت بهینه ناشی از جواب‌های به‌دست‌آمده از حل مدل ریاضی است. همچنین نرخ ورود بیماران نیز در هر شیفت و روز کاری متفاوت بوده و با استفاده از داده‌های گردآوری‌شده با روش ARIMAبرای دوره‌های بعدی پیش‌بینی‌شده است.



شکل (۱): روند ورود بیمار و خدمت‌دهی

اندیس‌های مدل ریاضی:

N : مجموعه‌ای از تعداد پرستارها

D : مجموعه‌ای از روزهای کاری در افق برنامه‌ای هفتگی

S : اندیس شیفت کاری ۱ تا ۳

k : تعداد تخت‌های در دسترس در هر شیفت

c : ظرفیت پذیرش بیمار بر اساس تخت‌های قابل‌پذیرش

t : افق زمانی

پارامترها:

μ_{sd} : نرخ خدمت‌دهی پرستاران در شیفت s روز d

λ_{sd} : نرخ ورود بیماران به بخش اورژانس در شیفت s روز d

c_s : هزینه استفاده از یک پرستار در شیفت s

λ'_{sd} : نرخ ورود بیمار در شیفت s روز d زمانی که حتماً صف تشکیل شود.

متغیرها:

N_{max} : بیشینه تعداد پرستارهای در دسترس در هر شیفت کاری (متغیر اصلی)

N_{sd} : تعداد پرستارهای به کار گرفته‌شده در شیفت s روز d (متغیر کمکی)

wq_{sd} : میانگین زمان انتظار بیماران در شیفت s روز d (متغیر کمکی)

Lq_{sd} : متوسط طول صف بیماران مراجعه‌کننده به اورژانس در شیفت s روز d (متغیر کمکی)

P_{ksd} : احتمال حضور k خدمت‌دهنده در بخش اورژانس در شیفت s روز d (متغیر کمکی)

$P0_{sd}$: درصد بیکاری پرستاران در شیفت s روز d (متغیر کمکی)

ρ_{sd} : ضریب بهره‌وری سیستم در شیفت s روز d (متغیر کمکی)

توابع هدف مسئله با توجه به توضیحات ارائه‌شده عبارتند از:

$$Z_1 = \text{Min} \sum_d \sum_s N_{sd} c_s \qquad (۱)$$

$$Z_2 = \text{Min Min}\,(wq_{sd}) \qquad (۲)$$

محدودیت‌ها:

$$N_{sd} \le N_{max} \quad \forall s = 1. \dots . 3. \;\; d = 1. 2. \dots . 7 \qquad (۳)$$

$$\rho_{sd} = \frac{\lambda_{sd}}{N_{sd} * \mu_{sd}} \quad \forall s = 1. \dots . 3. \;\; d = 1. 2. \dots . 7 \qquad (۴)$$

$$
\begin{aligned}
&P0_{sd} \\
&= \left[\sum_{n=0}^{N_{sd}-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda_{sd}}{\mu_{sd}}\right)^{n} + \frac{\left(\frac{\lambda_{sd}}{\mu_{sd}}\right)^{N_{sd}}}{N_{sd}!} \right. \\
&\left. * \frac{1 - \left(\frac{\lambda_{sd}}{N_{sd} * \mu_{sd}}\right)^{k-N_{sd}+1}}{1 - \frac{\lambda_{sd}}{N_{sd} * \mu_{sd}}} \right]^{-1} \\
&* \left(1 - \left[\frac{\lambda_{sd}}{N_{sd} * \mu_{sd}}\right]\right) \\
&+ \left[\sum_{n=0}^{N_{sd}-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda_{sd}}{\mu_{sd}}\right)^{n} + \frac{\left(\frac{\lambda_{sd}}{\mu_{sd}}\right)^{N_{sd}}}{N_{sd}!} \right]^{-1} \\
&* (k - N_{sd} + 1) \\
&* \left[\frac{\lambda_{sd}}{N_{sd} * \mu_{sd}}\right] \quad \forall s = 1. \dots . 3.\ d \\
&= 1. 2. \dots . 7
\end{aligned} \tag{۵}
$$

$$
\begin{aligned}
P_{ksd} = &\frac{1}{N_{sd}^{k-N_{sd}} * N_{sd}!} \\
&* \left(\frac{\lambda_{sd}}{\mu_{sd}}\right)^{n} P0_{sd} \quad \forall s \\
&= 1. \dots . 3.\ d \\
&= 1. 2. \dots . 7
\end{aligned} \tag{۶}
$$

$$
\begin{aligned}
\lambda'_{sd} = &\lambda_{sd}(1 - P_{ksd}) \quad \forall s \\
&= 1. \dots . 3.\ d \\
&= 1. 2. \dots . 7
\end{aligned} \tag{۷}
$$

$$
\begin{aligned}
L_{q_{sd}} = &\frac{P_{0_{sd}}(N_{sd}\rho_{sd})^{N_{sd}}}{N_{sd}(1 - \rho_{sd})^{2}} \Big[1 \\
&- \rho_{sd}^{k-N_{sd}+1} \\
&- (1 - \rho_{sd})(k - N_{sd} \\
&+ 1)\rho_{sd}^{k-N_{sd}}\Big] \quad \forall s \\
&= 1. \dots . 3.\ d \\
&= 1. 2. \dots . 7
\end{aligned} \tag{۸}
$$

$$
wq_{sd} = \frac{L_{qsd}}{\lambda'} \quad \forall s = 1. \dots . 3.\ d \\ = 1. 2. \dots . 7 \tag{۹}
$$

$$
N_{sd}. N_{max} \geq 0 \tag{۱۰}
$$

عبارت (۱) تابع هدف اول مسئله را باهدف کاهش تعداد پرستاران تخصیص داده‌شده به هر شیفت و روز کاری نشان می‌دهد و تابع هدف (۲)، متوسط زمان انتظار بیماران را در بخش اورژانس، کمینه می‌نماید. محدودیت (۳) نشان می‌دهد که تعداد پرستاران به کار گرفته‌شده در هر شیفت کاری اورژانس باید از بیشینه تعداد پرستاران بخش اورژانس کم‌تر باشد. رابطه (۴) میزان ضریب بهره‌وری سیستم را به ازای نرخ ورود بیمار و نرخ خدمت‌دهی در هر شیفت و روز کاری، بر اساس مدل M/M/C/K محاسبه می‌نماید. عبارت (۵) مشخص می‌کند که پرستاران در چند درصد اوقات در سیستم بیکار هستند. رابطه (۶) احتمال حضور k تخت بستری در سیستم را در درازمدت مشخص می‌کند. رابطه (۷) نرخ ورود بیمار را به سیستم زمانی که حتماً صف تشکیل شود محاسبه می‌نماید. رابطه (۸) متوسط طول صف در هر شیفت و روز کاری را بر اساس مدل صف ارائه‌شده در درازمدت را نشان می‌دهد. رابطه (۹) متوسط زمان انتظار بیمار در صف را بیان می‌کند و نهایتاً در رابطه (۱۰) مثبت بودن متغیرهای اصلی مسئله نشان داده‌شده است

۴. تحلیل داده‌ها

مرکز آموزشی درمانی امام‌رضا (ع) بزرگ‌ترین و مجهزترین مراکز درمانی کشور در منطقه شمال غرب به شمار می‌آید که دارای بالاترین رتبه اعتباربخشی در میان بیمارستان‌های دانشگاه علوم پزشکی تبریز می‌باشد. مرکز آموزشی درمانی امام رضا (ع) در سال ۱۳۸۶ با ظرفیت ۴۰۰ تخت بیمارستانی به بهره‌برداری رسید، هم‌زمان با انتقال بیمارستان امام خمینی در آبان ماه همان سال ظرفیت این مرکز به ۵۰۰ تخت افزایش یافت. هم‌اکنون این مرکز با زیربنایی بالغ بر ۵۲۰۰۰ مترمربع و ظرفیت ۶۷۶ تخت بستری فعالیت آموزشی درمانی خود را تداوم بخشیده است.

برخورداری از یک اورژانس کارآمد با بهره‌گیری از اساتید گروه تخصصی طب اورژانسی، وجود بیش از ۸۰ تخت بستری ویژه ICU در قالب ۵ بخش فوق تخصصی ریه، داخلی اعصاب، عمومی، جراحی و جراحی مغز، بهره‌مندی از ۲۲ اتاق عمل و بخش‌های تخصصی مربوطه از ویژگی‌های انحصاری این مرکز آموزشی و درمانی است که در نوع خود کم‌نظیر بوده و جایگاه رفیعی در ارائه خدمات پزشکی در منطقه شمال غرب را برای این مرکز رقم زده است.

بخش اورژانس بیمارستان امام رضا (ع) تبریز دارای ۵ بخش کلینیکی تریاژ، بخش CPR، بخش داخلی، بخش

تروما و بخش سرپائی است که بیماران بعد از ورود به بخش اورژانس توسط پرستار تریاژ معاینه می‌شوند و بر اساس نوع بیماری و شدت آن و بر اساس سیستم ESI تریاژ می‌شوند و به بخش موردنیاز منتقل می‌شوند. در ساختار تریاژ ESI به‌عنوان یکی از روش‌های تریاژ ۵ سطحی، تقسیم‌بندی بیماران بر اساس دو معیار شدت بیماری و تسهیلات موردنیاز بیمار انجام می‌شود، که اولی باوجود یا عدم وجود عوامل تهدیدکننده حیات و همچنین علائم حیاتی تعیین می‌گردد و دومی بر اساس تجربه پرستار و مقایسه بیمار موجود با موارد مشابه قبلی تعیین می‌شود. در این روش ابتدا پرستار تریاژ، بیمار را بر اساس شدت بیماری و وخامت حال وی ارزیابی می‌کند. اگر شدت بیماری زیاد نباشد یعنی در صورت عدم وجود شرایط تهدیدکننده حیات و یا شرایط پرخطر (یعنی سطوح ۱ و ۲ تریاژ)، پرستار بر اساس تجربه‌های قبلی از سایر بیماران و آموزش‌های سیستم تریاژ، با تخمین تسهیلات موردنیاز بیمار در بخش اورژانس، بیمار را سطح‌بندی می‌نماید.

جهت جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از داده‌های ورود و خروج بیماران به بخش اورژانس طی سال ۱۳۹۳ که به‌صورت فایل Excel از بخش انفورماتیک بیمارستان به‌دست آمده بود، نسبت به پیدا کردن نرخ ورود و تابع توزیع آن اقدام گردید و سپس برای به‌دست آوردن نرخ خدمت، ابتدا با همکاری برخی از پرستاران باتجربه این بخش فهرستی از اقدامات موردنیاز برای بیماران را به‌دست آورده و در اختیار پرستاران قرار داده شد، تا مدت‌زمان لازم برای هر اقدام و درصد افرادی که به آن اقدام نیاز پیدا می‌کنند را مشخص نمایند.

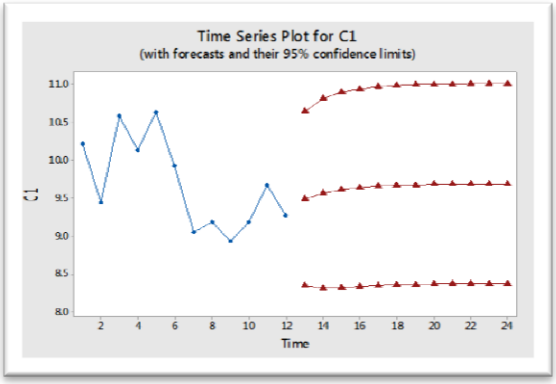
تعداد کل بیماران مراجعه‌کننده به بخش اورژانس در سال ۱۳۹۳، ۸۴۹۶۸ نفر بود که با بررسی‌های صورت گرفته میان تعداد افراد مراجعه‌کننده در ماه‌های سال ۱۳۹۳ تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، لذا می‌توان با استفاده از میانگین ساده تعداد کل بیماران مراجعه‌کننده به بخش را دریکی از ماه‌های سال، ۷۰۸۰ نفر در نظر گرفت. توزیع ورود بیماران به بخش اورژانس، فرآیند پواسون با نرخ (λ) در نظر گرفته‌شده است. همچنین برای به‌دست آوردن متوسط زمان خدمت‌دهی (μ) گزارش‌های پرستاری بخش اورژانس انواع بیماران مراجعه‌کننده، موردبررسی قرارگرفته و توسط خبرگان بخش چک‌لیست خدمات انجام گرفته‌شده بر روی مراجعه‌کنندگان تهیه‌شده در اختیار کادر پرستاری اورژانس قرار گرفت. بنا به بررسی‌های صورت گرفته هر قسمت از ۵ قسمت بخش اورژانس دارای اقدامات مشترک و بعضاً منحصربه‌فرد است که برای دقیق بودن محاسبات، پرسشنامه‌ها برای هر قسمت به‌صورت جداگانه طراحی شده و در اختیار کادر پرستاری قرارگرفته است.

در آمار و اقتصادسنجی و به‌ویژه در آنالیز سری‌های زمانی، یک میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه ARIMA یک مدل گسترده‌تر از میانگین متحرک خود همبسته ARIMA است. این مدل‌ها در سری‌های زمانی برای فهم بهتر مدل یا پیش‌بینی آینده به کار می‌روند. این مدل‌ها در جایی که داده‌ها غیر ایستا باشند به کار گرفته می‌شوند.

در تحقیق پیش‌رو در محیط نرم‌افزار Minitab و از روش ARIMA در سری‌های زمانی داده‌های یک سال با استفاده از داده‌های موجود را پیش‌بینی می‌شود که درواقع نرخ ورود بیمار (λ) را در قسمت اورژانس بیمارستان تخمین زده می‌شود. با واردکردن نرخ ورود بیماران در نرم‌افزار Minitab و حل آن با استفاده از روش ARIMA پیش‌بینی نرخ ورود بیماران را برای یک دوره ۱۲ ماهه به‌دست می‌آید که خروجی نرم‌افزار به‌صورت جدول (۲) است و روند داده‌های استفاده‌شده در شکل (۲) نشان داده‌شده است.

جدول (۲): خروجی ARIMA در نرم‌افزار Minitab

دوره	نرخ ورودی (ساعتی)	مقادیر پیش‌بینی (نرخ ورود)	حد پایین نرخ ورود	حد بالا نرخ ورود
۱	۱۰/۲۲۹۸	۹/۴۹۶۹۱	۸/۳۴۷۳۲	۱۰/۶۴۶۵
۲	۹/۴۳۹۵	۹/۵۶۶۶۸	۸/۳۱۶۳۴	۱۰/۸۱۷
۳	۱۰/۵۸۶	۹/۶۱۱۹۶	۸/۳۲۱۵۳	۱۰/۹۰۲۴
۴	۱۰/۱۳۷۱	۹/۶۴۱۳۵	۸/۳۳۴۴	۱۰/۹۴۸۳
۵	۱۰/۶۳۳۱	۹/۶۶۰۴۲	۸/۳۴۶۵۸	۱۰/۹۷۴۳
۶	۹/۹۳۴۱	۹/۶۷۲۸	۸/۳۵۶۰۷	۱۰/۹۸۹۵
۷	۹/۰۵	۹/۶۸۰۸۴	۸/۳۶۲۸۸	۱۰/۹۹۸۸
۸	۹/۱۹۰۳	۹/۶۸۶۰۵	۸/۳۶۷۵۹	۱۱/۰۰۴۵
۹	۸/۹۲۷۸	۹/۶۸۹۴۴	۸/۳۷۰۷۵	۱۱/۰۰۸۱
۱۰	۹/۱۹۴۴	۹/۶۹۱۶۳	۸/۳۷۲۸۶	۱۱/۰۱۰۴
۱۱	۹/۶۸۰۶	۹/۶۹۳۰۶	۸/۳۷۴۲۵	۱۱/۰۱۱۹
۱۲	۹/۲۶۸۷	۹/۶۹۳۹۹	۸/۳۷۵۱۶	۱۱/۰۱۲۸
میانگین	۹/۶۸۹۲۸۳	۹/۶۴۸۷۶۱	۸/۳۵۳۸۱۱	۱۰/۹۴۳۷۱



شکل (۲): خروجی ARIMA در نرم‌افزار Minitab

۵. الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه (MOEA)

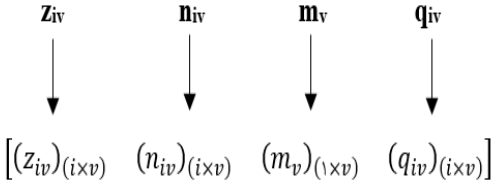
نظریه پیچیدگی محاسباتی، که یک شاخه اصلی در نظریه محاسبات است، بر مرتب‌سازی مسائل با توجه به‌سختی ذاتی آن‌ها تمرکز دارد. با توجه به غیرخطی بودن مدل پیشنهادی و همچنین عدم امکان استفاده از الگوریتم-های دقیق، از الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II۱) و زنبورها (BA۲) برای حل مدل استفاده گردیده است.

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II)

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب برای اولین بار توسط دب۳ پیشنهاد شد و به‌عنوان یکی از بهترین روش‌ها برای به‌دست آوردن جبهه‌های پارتو شناخته شده است.

روش کار الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب به شرح ذیل می‌باشد:

ساختار کروموزوم: در الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب، ابتدا یک کروموزوم طراحی می‌شود. شکل (۳) نمایشی از ساختار کروموزوم را به‌منظور اجرای الگوریتم، نشان می‌دهد.



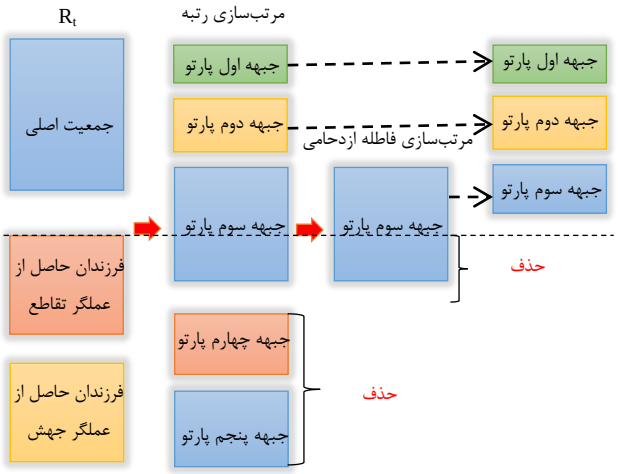
شکل (۳): نمایش کروموزوم

1– NSGA-II: Non-Sorting Genetic Algorithm

2– BA: Bees Algorithm

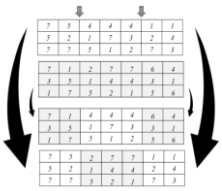
3– Deb

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب، جمعیت اولیه P۱ را به‌طور تصادفی با توجه به اندازه جمعیت Np تولید می‌کند. به هر فرد از جمعیت، یک رتبه و یک فاصله ازدحامی تخصیص داده می‌شود. کروموزوم‌ها در P۱ قرار دارند و سپس درون چندین جبهه از جواب‌های نامغلوب بر اساس شرط‌های غلبه و فاصله ازدحامی مرتب می‌شوند. در مرحله بعد، جمعیت فرزندان O۱، با توجه به نرخ تقاطع Pc و نرخ جهش Pm ایجاد می‌شود. بعد الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب، P۱ و O۱ را به‌شکل Rt ادغام و در چندین جبهه نامغلوب Fi، با توجه به رتبه و فاصله ازدحامی مرتب می‌کند. این Fiها، جمعیت بعدی را تشکیل می‌دهند، یعنی Pt+۱، که بهترین Fiها، Pt+۱ را ایجاد می‌کنند. الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب، Ot+۱ را از Pt+۱ شبیه به Ot ایجاد می‌کند. پس‌ازآن، مراحل فوق برای به‌دست آوردن بهترین جواب با توجه یک معیار توقف تکرار می‌شوند. شکل (۴) نمایش گرافیکی به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب را نشان می‌دهد.

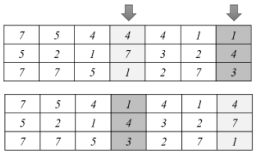


شکل (۴): نمایش گرافیکی NSGA-II

بدین‌منظور پس از تعریف کروموزوم، جهش و تقاطع لازم برای اجرای الگوریتم‌ها، طبق شکل (۵) در نظر گرفته‌شده است:



عملگر تقاطع



عملکرد جهش

الگوریتم زنبورها (BA)

گام‌های اصلی الگوریتم زنبورها به شرح ذیل می‌باشد:

۱. ایجاد جمعیت اولیه

۲. تکرار

۳. استقرار زنبورهای EB بر روی منابع غذایی خود

۴. استقرار زنبورهای OB بر روی منابع غذایی برحسب مقدار شهد آن‌ها

۵. فرستادن زنبورهای کاشف به فضای جستجو برای یافتن منابع غذایی جدید

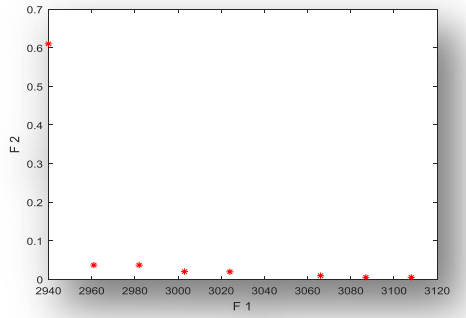
۶. به یاد سپردن بهترین منبع غذایی یافت شده تاکنون

۷. تا شرایط توقف برقرار شوند.

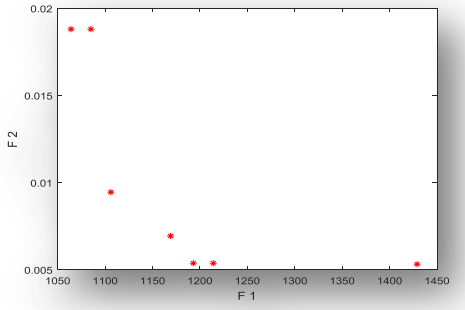
در گام اول، الگوریتم زنبورها جمعیتی اولیه به‌طور تصادفی تولید می‌کند یعنی SN جواب ایجاد می‌کند که SN بیانگر تعداد زنبورهای EB یا OB می‌باشد. هر جواب x_i که $i = 1.2.\cdots.SN$ می‌باشد، یک بردار D بعدی است که D تعداد پارامترهای بهینه‌سازی است. بعدازاین مرحله، جمعیت موقعیت‌ها (جواب‌ها) در معرض سیکل‌های تکراری $C = 1.2.\cdots.MCN$ فرآیندهای جستجوی زنبورهای EB، OB و زنبورهای کاشف قرار می‌گیرند.

الگوریتم‌های ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و زنبورها به ترتیب در ۵۰ و ۱۵۰ تکرار، مسئله را حل می‌نماید و زمان حل مسئله به ترتیب ۳۲۷۷۰۱۰۸ ثانیه و ۱۰۷۰۴۸۱۵۳ ثانیه می‌باشد. نمودارهای پارتو طبق شکل (۶) به‌دست آمده است.

نمودار پارتو NSGA-II



نمودار پارتو BA



شکل (۶): نمودار پارتو الگوریتم‌های ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و زنبورها

۶. تنظیم پارامتر

ازآنجاکه پارامترهای الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه نقش مهمی در کیفیت جواب به‌دست آمده ایفا می‌کنند، سه روش برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌ها وجود دارد: (۱) طرح فاکتوریل کسری، (۲) روش سطح پاسخ و (۳) روش تاگوچی.

طراحی آزمایشات[1] تاگوچی در اوایل دهه ۵۰ میلادی برای بهینه‌سازی سیستم‌های پیچیده، بر پایه روش‌های آماری ابداع گردید که بر اساس ترکیبات مختلف از برخی عوامل (عوامل N و S) اجرا می‌گردد.

بر اساس روش تاگوچی، ابتدا برای هر یک از پارامترهای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و زنبورها، ۵ مقدار پیشنهاد می‌شود، که مقادیر پیشنهادی به شرح جدول (۳) می‌باشد:

جدول (۳) : پارامترها و سطوح مقادیر آن‌ها برای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و زنبورها

الگوریتم مورد بررسی	پارامتر	مقادیر هر سطح				
		سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۴	سطح ۵
NSGA-II	اندازه جمعیت	۵۰	۷۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
	بیشینه تعداد تکرار	۲۵	۳۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
	نرخ تقاطع	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱
	نرخ جهش	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱
BA	بیشینه تعداد تکرار	۵۰	۷۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
	محل‌های برداشت عصاره	۲۵	۳۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
	شعاع	۰/۵	۰/۷۵	۱	۱/۲۵	۱/۵
	Radius_RF	۰/۹	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۸

1– DOE: Design of Experiments

سپس به ازای طرح L25 تاگوچی به ازای حالات زیر الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و زنبورها اجرا شده و خروجی‌های آن در جداول (۴) و (۵) ارائه‌شده است:

جدول (۴) : مقدار میانگین در روش تاگوچی برای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب

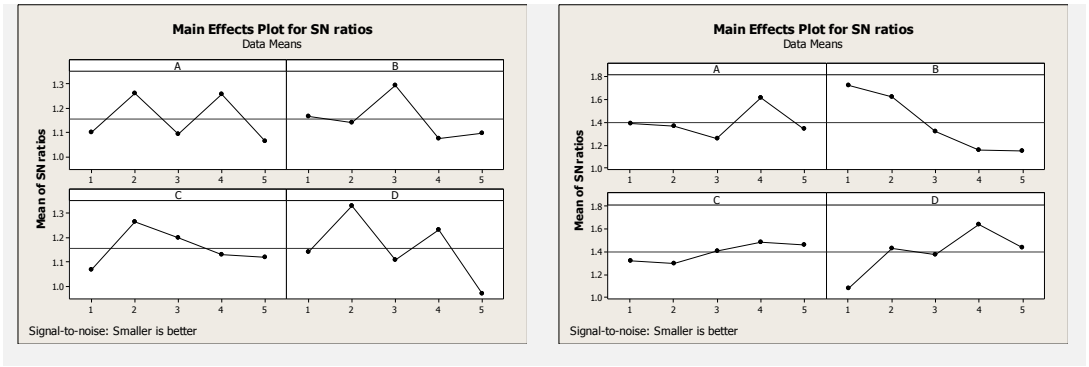
میانگین	پارامترهای الگوریتم				شماره اجرا
NSGA-II	نرخ جهش	نرخ تقاطع	بیشینه تعداد تکرار	اندازه جمعیت	
۰/۸۹۷۳۷۱	۱	۱	۱		۱
۰/۸۵۲۹۷۹	۲	۲	۲		۲
۰/۸۶۷۳۲۵	۳	۳	۳	۱	۳
۰/۸۸۹۰۷۰	۴	۴	۴		۴
۰/۸۹۹۴۸۷	۵	۵	۵		۵
۰/۸۵۵۵۸۲	۳	۲	۱		۶
۰/۸۴۷۷۹۰	۴	۳	۲		۷
۰/۸۷۲۴۳۹	۵	۴	۳	۲	۸
۰/۸۷۶۶۳۴	۱	۵	۴		۹
۰/۸۷۲۰۵۰	۲	۱	۵		۱۰
۰/۹۰۴۰۷۲	۵	۳	۱		۱۱
۰/۸۹۰۵۳۶	۱	۴	۲		۱۲
۰/۸۵۵۴۱۳	۲	۵	۳	۳	۱۳
۰/۸۸۹۵۶۲	۳	۱	۴		۱۴
۰/۸۶۹۰۱۸	۴	۲	۵		۱۵
۰/۸۳۶۱۷۷	۲	۴	۱		۱۶
۰/۸۸۵۸۷۲	۳	۵	۲		۱۷
۰/۸۵۴۲۹۱	۴	۱	۳	۴	۱۸
۰/۸۸۷۵۳۰	۵	۲	۴		۱۹
۰/۸۶۲۵۶۲	۱	۳	۵		۲۰
۰/۸۷۹۱۶۴	۴	۵	۱		۲۱
۰/۹۰۸۸۱۰	۵	۱	۲		۲۲
۰/۸۵۸۱۱۴	۱	۲	۳	۵	۲۳
۰/۸۷۴۲۵۱	۲	۳	۴		۲۴
۰/۹۰۳۶۵۶	۳	۴	۵		۲۵

جدول (۵): مقدار میانگین در روش تاگوچی برای الگوریتم زنبورها

میانگین	پارامترهای الگوریتم			شماره اجرا
BA	Radius_RF	شعاع	محل‌های برداشت عصاره	بیشینه تعداد تکرار	
۰/۸۹۱۱۴۳	۱	۱	۱	۱	۱
۰/۸۳۰۳۱۹	۲	۲	۲		۲
۰/۸۷۷۱۲۱	۳	۳	۳		۳
۰/۸۷۱۴۱۸	۴	۴	۴		۴
۰/۸۷۷۱۲۱	۵	۵	۵		۵
۰/۸۲۷۰۲۷	۳	۲	۱	۲	۶
۰/۸۱۷۳۶۹	۴	۳	۲		۷
۰/۸۷۷۱۲۱	۵	۴	۳		۸
۰/۸۷۱۴۱۸	۱	۵	۴		۹
۰/۸۷۱۴۱۸	۲	۱	۵		۱۰
۰/۸۲۴۰۴۱	۵	۳	۱	۳	۱۱
۰/۸۶۱۲۵۸	۱	۴	۲		۱۲
۰/۸۷۸۵۸۶	۲	۵	۳		۱۳
۰/۸۷۱۴۱۸	۳	۱	۴		۱۴
۰/۸۷۱۴۱۸	۴	۲	۵		۱۵
۰/۷۶۷۲۲۶	۲	۴	۱	۴	۱۶
۰/۸۰۱۷۱۸	۳	۵	۲		۱۷
۰/۸۱۷۵۲۲	۴	۱	۳		۱۸
۰/۸۷۱۴۱۸	۵	۲	۴		۱۸
۰/۸۷۱۴۱۸	۱	۳	۵		۲۰
۰/۸۰۲۹۴۳	۴	۵	۱	۵	۲۱
۰/۸۳۵۴۸۳	۵	۱	۲		۲۲
۰/۸۷۱۴۱۸	۱	۲	۳		۲۳
۰/۸۷۱۴۱۸	۲	۳	۴		۲۴
۰/۸۷۱۴۱۸	۳	۴	۵		۲۵

نمودار S/N حاصل از نرم‌افزار Minitab، از اجرای روش تاگوچی به‌صورت شکل (۷) ارائه‌شده است:

الگوریتم زنبورها　　الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب



شکل (۷): خروجی Minitab برای روش تاگوچی در الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و زنبورها

حال بر اساس خروجی ارائه‌شده در نمودارهای فوق، برای هر پارامتر مقداری مناسب است که کم‌ترین مقدار S/N را داشته باشد؛ لذا درخصوص الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و زنبورها مقادیر جدول (۶) بهینه می‌باشند.

جدول (۶): مقدار بهینه پارامترهای الگوریتم NSGA-II و BA

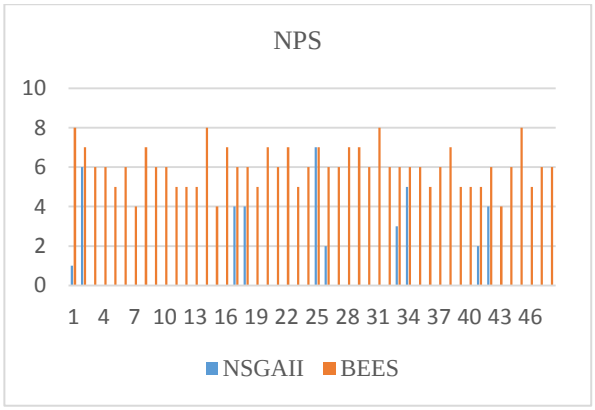
الگوریتم موردبررسی	پارامتر	سطح	مقدار بهینه
NSGA-II	اندازه جمعیت	۴	۱۵۰
	بیشینه تعداد تکرار	۳	۵۰
	نرخ تقاطع	۲	۰/۴
	نرخ جهش	۲	۰/۴
BA	بیشینه تعداد تکرار	۴	۱۵۰
	محل‌های برداشت عصاره	۱	۲۵
	شعاع	۴	۱/۲۵
	Radius_RF	۴	۰/۹۶

با جایگذاری پارامترهای بهینه به‌دست آمده از روش تاگوچی در الگوریتم‌های فرا ابتکاری و مقادیر به‌دست آمده از روش ARIMA و سایر مقادیر حاصل از مطالعه موردی جواب‌های بهینه مطابق شکل (۸) به‌دست آمده است.

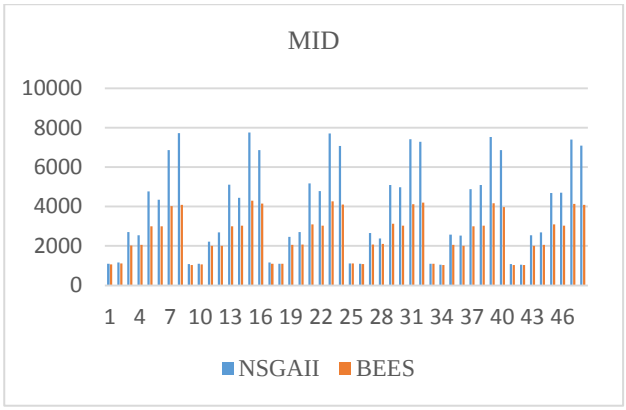
N_{sd}	۱		۲		۳		۴		۵		۶		۷	
مقادیر چپ و راست محدودیت	مقادیر سمت چپ محدودیت	مقادیر سمت راست محدودیت	مقادیر سمت چپ محدودیت	مقادیر سمت راست محدودیت	مقادیر سمت چپ محدودیت	مقادیر سمت راست محدودیت	مقادیر سمت چپ محدودیت	مقادیر سمت راست محدودیت	مقادیر سمت چپ محدودیت	مقادیر سمت راست محدودیت	مقادیر سمت چپ محدودیت	مقادیر سمت راست محدودیت	مقادیر سمت چپ محدودیت	مقادیر سمت راست محدودیت
$N_{sd} \le N_{max}$	۱	۷	۲	۷	۳	۷	۴	۷	۵	۷	۶	۷	۷	۷
ρ_{sd}	۱/۵۷۹۵۹۵	۱/۵۷۹۵۹۵	۱/۰۶۴۴۲۳	۱/۰۶۴۴۲۳	۱/۶۰۶۵۲۴	۱/۶۰۶۵۲۴	۰/۷۱۴۶۱۱	۰/۷۱۴۶۱۱	۱/۲۲۵۲۵۱	۱/۲۲۵۲۵۱	۰/۴۷۰۳۵۲	۰/۴۷۰۳۵۲	۰/۵۷۳۰۱۸	۰/۵۷۳۰۱۸
$P0_{sd}$	۰/۰۱۹۷۵	۰/۰۱۹۷۵	۰/۰۰۹۲۳۴	۰/۰۰۹۲۳۴	۰/۰۰۱۷۶	۰/۰۰۱۷۶	۰/۰۱۸۲۳۵	۰/۰۱۸۲۳۵	۰/۰۰۰۳۵۷	۰/۰۰۰۳۵۷	۰/۰۴۱۰۹۱	۰/۰۴۱۰۹۱	۰/۰۱۰۴۵۸	۰/۰۱۰۴۵۸
P_{lcsd}	۰/۰۱۹۷۵	۰/۰۱۹۷۵	۳/۴۹E-۱۷	۳/۴۹E-۱۷	۲/۵۶E-۲۵	۲/۵۶E-۲۵	۳/۵۸E-۳۰	۳/۵۸E-۳۰	۱/۴۷E-۳۴	۱/۴۷E-۳۴	۵/۹E-۳۷	۵/۹E-۳۷	۳/۹۶E-۳۹	۳/۹۶E-۳۹
λ'_{sd}	۱/۹۶۰۵	۱/۹۶۰۵	۲	۲	۴	۴	۳	۳	۵	۵	۳	۳	۵	۵
Lq_{sd}	۱/۳۶E+۱۰	۱/۳۶E+۱۰	۲۱۶/۲۳۱۵	۲۱۶/۲۳۱۵	۲/۳۳E+۱۰	۲/۳۳E+۱۰	۳/۷۳۶۶۷۱	۳/۷۳۶۶۷۱	۱۰۳۵۹۳۵	۱۰۳۵۹۳۵	۱۲/۳۳۲۸۱	۱۲/۳۳۲۸۱	۱۳۶/۸۹۸۱	۱۳۶/۸۹۸۱
wq_{sd}	۶/۹۵E+۰۹	۶/۹۵E+۰۹	۱۰۸/۱۱۵۸	۱۰۸/۱۱۵۸	۵/۸۳E+۰۹	۵/۸۳E+۰۹	۱/۲۴۵۵۵۷	۱/۲۴۵۵۵۷	۲۰۷۱۸۶/۹	۲۰۷۱۸۶/۹	۴/۱۱۰۹۳۸	۴/۱۱۰۹۳۸	۲۷/۳۷۹۶۱	۲۷/۳۷۹۶۱

شکل (۸): مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم

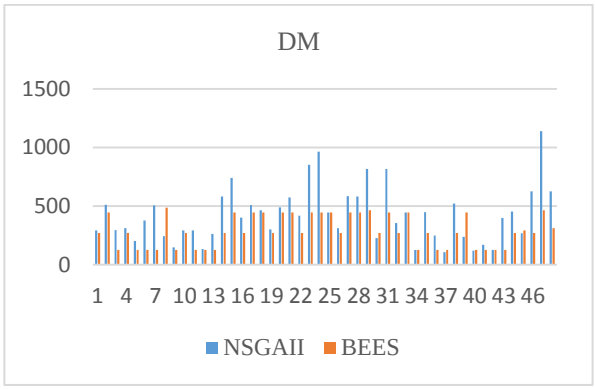
شاخص NPS برای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب برابر ۰/۷۹۱۶۶۷ و برای الگوریتم زنبورها برابر ۶ می‌باشد و شاخص MID برای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب برابر ۳۹۴۶/۷۸۹ و برای الگوریتم زنبورها برابر ۲۵۷۱/۹۲۵ است. در شکل زیر مقدار این شاخص‌ها برای هر یک از مثال‌های حل شده توسط دو الگوریتم ارائه‌شده است. شاخص DM نیز برای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب برابر ۴۲۳/۵۰۰۱ است و برای الگوریتم زنبورها برابر ۲۸۹/۶۸۸۲ می‌باشد. همچنین شاخص SM برای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب برابر ۰/۷۲۰۴۲۲ است و برای الگوریتم زنبورها برابر ۰/۸۱۱۵۰۹ است. میانگین شاخص RAS نیز برای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب برابر ۱۴۷۴/۴۹۳ و برای الگوریتم زنبورها برابر ۹۹/۶۹۷۲۸ است و نهایتاً میانگین شاخص SPACING، برای الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب برابر ۱۰۰/۰۵۶۸ و برای الگوریتم زنبورها برابر ۸۲/۱۵۳۲۳ است. در شکل (۹) نمودارهای مقایسه‌ای این شاخص‌ها نشان داده‌شده است.



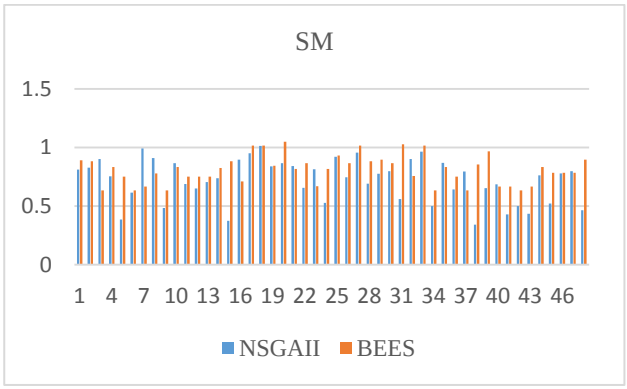
مقایسه الگوریتم‌ها بر اساس شاخص NPS



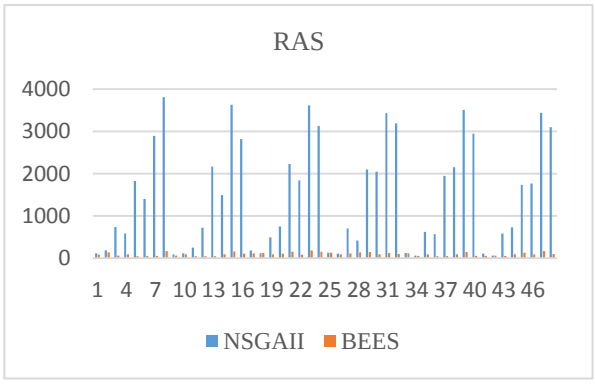
مقایسه الگوریتم‌ها بر اساس شاخص MID



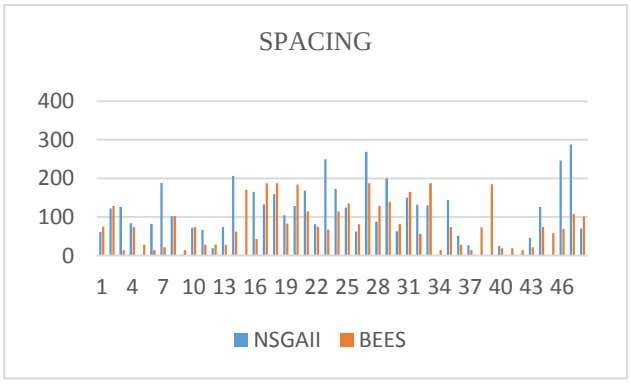
مقایسه الگوریتم‌ها بر اساس شاخص DM



مقایسه الگوریتم‌ها بر اساس شاخص SM



مقایسه الگوریتم‌ها بر اساس شاخص RAS



مقایسه الگوریتم‌ها بر اساس شاخص SPACING

شکل (۹): مقایسه شاخص‌های مختلف الگوریتم‌های فرا ابتکاری

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

برآورد کمینه تعداد پرستار موردنیاز برحسب تقاضای‌های مختلف و تصادفی تعداد بیماران مراجعه‌کننده به بخش اورژانس بیمارستان، که موجب کاهش انتظار بیماران برای گرفتن خدمات بهداشتی و درمانی شود ازجمله موضوعات مهم برای بیمارستان‌ها می‌باشد. همچنین تهیه و تولید نوبت‌کاری کم‌هزینه و تخصیص بهینه پرستاران به هر یک از نوبت‌های کاری موجب کاهش هزینه‌های مراکز خدمات درمانی و بهره‌وری نیروی انسانی می‌شود. درنهایت با انجام فعالیت‌های مذکور میزان انتظار بیماران برای گرفتن خدمات درمانی کاهش‌یافته و موجب رضایت‌مندی بیماران می‌شود.

از مهم‌ترین نتایج این تحقیق، ارائه یک مدل ریاضی دوهدفه برای کاهش تعداد پرستاران و رضایت بیمار با زمان تحویل احتمالی می‌باشد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده ظرفیت بیمارستان در شرایط بهینه ۴۸۴ تخت و ۵ بخش فوق تخصصی ریه، داخلی اعصاب، عمومی، جراحی و جراحی مغز و بهره‌مندی از ۳۰ اتاق عمل را تعیین نمود.

از دیگر نتایج این تحقیق، مقایسه کارایی هر یک از الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و زنبورها نسبت به شاخص‌های تعریف‌شده می‌باشد. این نتایج به شرح جدول (۸) ارائه‌شده‌اند:

جدول (۸): مقایسه الگوریتم‌های حل نسبت به شاخص‌ها

شاخص	نتیجه برای NSGA-II	نتیجه برای BA	مبانی کارایی	الگوریتم کاراتر
NPS	۰/۷۹۱۶۶۷	۶	هر چه بزرگ‌تر؛ بهتر	BA
MID	۳۹۴۶/۷۸۹	۲۵۷۱/۹۲۵	هرچه کم‌تر؛ بهتر	BA
DM	۴۲۳/۵۰۰۱	۲۸۹/۶۸۸۲	هر چه بزرگ‌تر؛ بهتر	NSGA-II
SM	۰/۷۲۰۴۲۲	۰/۸۱۱۵۰۹	هرچه کم‌تر؛ بهتر	NSGA-II
RAS	۱۴۷۴/۴۹۳	۹۹/۶۹۷۲۸	هر چه کم‌تر؛ بهتر	BA
SPACING	۱۰۰/۰۵۶۸	۸۲/۱۵۳۲۳	هر چه کم‌تر؛ بهتر	BA

با توجه به نتایج ذکرشده در جدول فوق، مشاهده می‌گردد که الگوریتم فرا ابتکاری زنبورها در همه شاخص‌ها به‌جز شاخص DM و SM، از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب برتر است.

۶- منابع و مآخذ

[1] S. Ghaffari, T. J. Jackson, C. M. Doran, A. Wilson, and C. Aisbett, "***Describing Iranian hospital activity using Australian Refined DRGs: A case study of the Iranian Social Security Organisation***," Health Policy (New. York)., vol. 87, no. 1, pp. 63–71, Jul. 2008.

[2] J. Trybou, P. Gemmel, and L. Annemans, "***Provider accountability as a driving force towards physician-hospital integration: a systematic review***.," Int. J. Integr. Care, vol. 15, p. e010, 2015.

[3] D. Sinreich and Y. N. Marmor, "***A Simple and Intuitive Simulation Tool for Analyzing Emergency Department Operations,***" in Proceedings of the 36th Conference on Winter Simulation, 2004, pp. 1994–2002.

[4] S. Takakuwa and H. Shiozaki, "***Functional analysis for operating emergency department of a general hospital***," in Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, 2004., 2004, vol. 2, pp. 2003–2011 vol.2.

[5] M. L. García, M. A. Centeno, C. Rivera, and N. DeCario, "***Reducing Time in an Emergency Room via a Fast-track***," in Proceedings of the 27th Conference on Winter Simulation, 1995, pp. 1048–1053.

[6] S. Mahapatra, C. P. Koelling, L. Patvivatsiri, B. Fraticelli, D. Eitel, and L. Grove, "***Pairing emergency severity index5-level triage data with computer aided system design to improve emergency department access and throughput***," in Winter Simulation Conference, 2003, vol. 2, pp. 1917–1925.

[7] M. J. Kraitsik and A. Bossmeyer, "***Simulation applied to planning an emergency department expansion***," in JG Anderson. 1992 Western Simulation Multiconference: Simulation in Health Care and Social Services, 1992, pp. 19–27.

[8] M. J. Miller, D. M. Ferrin, and J. M. Szymanski, "***Emergency Departments II: Simulating Six Sigma Improvement Ideas for a Hospital Emergency Department," in Proceedings of the 35th Conference on Winter Simulation: Driving Innovation***, 2003, pp. 1926–1929.

[9] S. Samaha, W. S. Armel, and D. W. Starks, "***Emergency Departments I: The Use of Simulation to Reduce the Length of Stay in an Emergency Department***," in Proceedings of the 35th Conference on Winter Simulation: Driving Innovation, 2003, pp. 1907–1911.

[10] R. H. T. Edwards, J. E. Clague, J. Barlow, M. Clarke, P. G. Reed, and R. Rada, "***Pragmatics,***" Heal. Care Anal., vol. 2, no. 2, pp. 164–169, 1994.

[11] C.-C. Tsai and S. H. A. Li, "***A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem,***" Expert Syst. Appl., vol. 36, no. 5, pp. 9506–9512, Jul. 2009.

[12] H. M. AUF'M HOFE, "***SOLVING ROSTERING TASKS BY GENERIC METHODS FOR CONSTRAINT OPTIMIZATION***," Int. J. Found. Comput. Sci., vol. 12, no. 05, pp. 671–693, 2001.

[13] A. Guerrero, D. K. Barnes, and H. M. Pattison, "***Emergency Department of the New Era,***" in The Modern Hospital, Springer, 2019, pp. 213–229.

[14] R. Khasha, M. M. Sepehri, and T. Khatibi, "***An analytical model based on simulation aiming to improve patient flow in a hospital surgical suite***," J. Ind. Syst. Eng., vol. 12, no. 1, pp. 66–82, 2019.

[15] M. Rabbani, A. Farshbaf-Geranmayeh, and R. Yazdanparast, "***A simulation optimization approach for integrated resource allocation in an emergency department, pharmacy, and lab,***" Intell. Decis. Technol., vol. 12, no. 2, pp. 187–212, 2018.

[16] X. Wu, R. Xu, J. Li, and M. T. Khasawneh, "***A simulation study of bed allocation to reduce blocking probability in emergency departments: A case study in China,***" J. Oper. Res. Soc., vol. 70, no. 8, pp. 1376–1390, 2019.