

پیشنهاد معماری مناسب سامانه‌های تصمیم‌یار پزشکی در حیطه مراقبت‌های پیچیده بیماری‌های مزمن: استفاده از میکروسرویس‌ها در مراقبت بیماران پیوند کلیه

پرویز رشیدی خزاعی^۱، جمشید باقرزاده^۲، زهرا نیازخانی^۳، حبیب‌الله پیرنژاد^{۳*}

• پذیرش مقاله: ۹۷/۶/۱۵

• دریافت مقاله: ۹۷/۲/۲۲

مقدمه: به کارگیری موفقیت‌آمیز سیستم‌های تصمیم‌یار پزشکی مبتنی بر دانش در حوزه مراقبت از بیماران پیوند کلیه می‌تواند در اتخاذ بهترین تصمیمات ممکن، کاهش هزینه و افزایش کیفیت مراقبت مؤثر واقع شود. در این بین، علاوه بر چالش‌های به کارگیری آن‌ها در حیطه مراقبت‌های بیماران مزمن، عدم وجود ساختار معماری مناسب چالشی است که به مرور زمان برجسته‌تر می‌گردد؛ لذا مطالعه حاضر با هدف پیشنهاد معماری مناسب برای این سیستم‌ها در حوزه پیوند کلیه انجام گردید.

روش: در این مطالعه موردی، از تجربه به دست آمده در طراحی سیستم مدیریت پیوند کلیه ارومیه استفاده شد و سپس با در نظر گرفتن زمینه‌های اصلی کاربرد این سیستم‌ها در حوزه پیوند کلیه و چالش‌های به کارگیری آن‌ها، ساختار معماری مناسبی برای آن‌ها با بهره‌گیری از آخرین پیشرفت‌ها در حوزه فناوری‌های توسعه نرم‌افزار در قالب میکروسرویس‌ها پیشنهاد شد.

نتایج: به ازای هر عملکرد مستقل این سیستم در حوزه پیوند کلیه، سه سرویس جداگانه جمع‌آوری داده‌ها، ساخت مدل بهینه و به کارگیری آن پیشنهاد شد. این سرویس‌ها با اجرا بر روی بسترهای فراهم شده می‌توانند به درخواست‌های مختلف کاربران پاسخ داده، دانش و اطلاعات مناسبی را تولید و در اختیار آنان قرار دهند.

نتیجه‌گیری: با بهره‌برداری از این ساختار، تیم‌های پزشکی و تحقیقاتی مختلف در سراسر کشور قادر خواهند بود فقط بر روی ساخت یک عملکرد خاص متمرکز شده و آن را به بهترین شکل ممکن انجام دهند. این ساختار پیشنهادی توسعه‌پذیر و مقیاس‌پذیر بوده و قادر است علیرغم افزایش حجم و نوع داده‌ها، افزایش کاربران و تعداد درخواست‌ها به راحتی پاسخگو باشد.

کلیدواژه‌ها: سیستم‌های تصمیم‌یار پزشکی، پیوند کلیه، میکروسرویس، معماری نرم‌افزار

• **ارجاع:** رشیدی خزاعی پرویز، باقرزاده جمشید، نیازخانی زهرا، پیرنژاد حبیب‌الله. پیشنهاد معماری مناسب سامانه‌های تصمیم‌یار پزشکی در حیطه مراقبت‌های پیچیده بیماری‌های مزمن: استفاده از میکروسرویس‌ها در مراقبت بیماران پیوند کلیه. مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی ۱۳۹۷؛ ۵(۴): ۴۳۴-۴۲۳.

۱. دانشجوی دکتری فناوری اطلاعات، کامپیوتر، مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲. دکتری مهندسی نرم‌افزار، کامپیوتر، دانشیار، مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳. دکتری تخصصی انفورماتیک پزشکی، دانشیار، فناوری اطلاعات سلامت، پیراپزشکی، علوم پزشکی ارومیه، ارومیه، ایران

* **نویسنده مسئول:** ارومیه، بلوار رسالت، کوی اورژانس، ستاد مرکزی دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، مدیریت آمار و فناوری اطلاعات دانشگاه، کد پستی: ۵۷۱۴۷۸۳۳۳۴

• **Email:** pirnejad.h@umsu.ac.ir

• **شماره تماس:** ۰۴۴۲۲۴۰۶۵۸

مقدمه

حوزه سلامت، امروزه درگیر مشکلات و مسائل بسیار زیادی است. از جمله این مشکلات هزینه های سرسام آور و افزایش مداوم آن ها، خطاهای پزشکی و کیفیت نامطلوب خدمات می باشند. این مشکلات در حوزه بیماری های مزمن و مراقبت های طولانی مدت مانند پیوند کلیه که بیمار بایستی مادام العمر تحت مراقبت های پزشکی پزشکان متخصص مختلفی قرار گیرد، حتی بیشتر نیز می باشد [۱]. در سال های اخیر، سیستم های انفورماتیک پزشکی مخصوصاً پرونده های الکترونیک سلامت و سیستم های تصمیم یار بالینی به عنوان یکی از راه های غلبه بر این چالش ها در دنیا مطرح بوده است. با این که این سیستم ها به دست اندرکاران این حوزه در کشورهای پیشرفته کمک شایانی نموده است؛ ولی پیچیدگی خدمات درمانی در کنار افزایش روزافزون تعداد، حجم و تنوع داده های پزشکی و اهمیت استفاده از آن ها برای کمک به پزشکان در اخذ بهترین تصمیم ممکن، بهره گیری از سیستم های تصمیم یار پزشکی را به منظور بهره برداری و ترکیب این اطلاعات با شواهد بالینی، نظرات متخصصین و نیز یافته های حاصل از اطلاعات سایر بیماران ضروری می نماید [۲]. متأسفانه این دسته از سیستم ها، هنوز در داخل کشور در ابتدای راه هستند. دانش کاوی و سیستم های تصمیم یار مبتنی بر دانش در حوزه پزشکی (Knowledge Based Clinical Decisions Support System) یکی از راه های عملی و خوب مواجهه با مشکلات و چالش های موجود در حیطه تصمیم گیری های پیچیده از جمله مراقبت های مزمن در حیطه پزشکی می باشد [۲]؛ اما استفاده مرتب از آن ها در مواجهه با مشکلات پیچیده طبی با چالش های مختلفی روبه رو بوده است [۳]. اولین چالش به کارگیری مناسب KBCDSS ها، عدم دسترسی بودن داده مناسب می باشد. داده ها و اطلاعات پزشکی یا به صورت کاغذی بوده و یا در بهترین حالت به صورت جداگانه در سیستم های بیمارستانی، مطب پزشکان، آزمایشگاه ها در مراکز مختلف کشور نگهداری می شوند. بخشی از این اطلاعات نیز در قالب سامانه هایی مانند سپاس در مرکز داده وزارت بهداشت و درمان جمع آوری می گردد. این اطلاعات بالقوه منابع بسیار باارزشی برای به دست آوردن اطلاعات و دانش نهفته می باشند. فراهم سازی امکان جمع آوری و یکپارچه سازی این دسته از اطلاعات، جهت استخراج دانش و اطلاعات نهفته و به کارگیری الگوریتم های داده کاوی، اولین

قدم در به کارگیری این دسته از سامانه ها خواهد بود [۴]. چالش دیگر، تولید روزانه داده ها و اطلاعات متنوع در اندازه، اشکال و شکل های مختلف با عنایت به پیشرفت فناوری و دسترسی ارزان به ابزارهایی مانند سنسورهای مراقبت پزشکی و ... می باشند. ذخیره سازی، پردازش و به کارگیری همه این داده ها در یک بستر یکپارچه مستلزم به کارگیری روش های نوین ذخیره سازی داده های بزرگ و بهره گیری از پردازش ابری (Cloud Computing) است که فرصت های زیادی را جهت بهره برداری از آن ها فراهم می نماید [۵]؛ بنابراین به کارگیری سیستم های KBCDSS در داخل کشور، در دسترس نبودن بستر سخت افزاری مناسب (Central Processing Unit) CPU و GPU (Graphics Processing Unit) قوی و سریع (جهت پردازش حجم بسیاری زیادی از داده ها و به دست آوردن مدل های مناسب هست.

با فرض طراحی و به کارگیری KBCDSS ها، چالش اصلی دیگر، عدم تطابق سریع آن ها با پیشرفت روزانه علم پزشکی است. این پیشرفت ها، باعث تغییر روش های تشخیصی و شیوه های درمانی شده و چه بسا باعث کنار گذاشتن شیوه ها و پروتکل های قدیمی درمان و جایگزینی آن ها با شیوه های نوین شوند [۶]. از این رو ساختار KBCDSS ها بایستی به گونه ای باشند که راهکارهای جدید، دانش جدید و نظرات جدید متخصصین در سریع ترین زمان ممکن در سامانه ها قابل تعریف بوده و به روزرسانی گردند. چالش دیگر در ارتباط با این دسته از سیستم ها، ماهیت تحقیقاتی و تکامل تدریجی آن ها در طول زمان است. به این معنی که دانشمندان، محققین و متخصصین مختلفی در سراسر دنیا به مرور زمان و در طی سال های طولانی، روش ها و الگوریتم های مؤثرتر و یا تکمیل تری را برای حل یک مشکل ارائه می کنند تا جایگزین الگوریتم های کم اثر و یا ناقص قبلی شوند [۶]؛ بنابراین ساختار این برنامه ها بایستی به گونه ای باشند که تغییرات مورد نیاز در موارد فوق به راحتی و در کمترین زمان ممکن قابل اعمال باشند. معماری کنونی سامانه های موجود به دلیل ساختار یکپارچه آن ها عملاً امکان پاسخگویی به چالش های مطرح شده را با مشکلات جدی مواجه می سازد. محققین مجبورند بر اساس همان فناوری قدیمی امکانات جدید را به برنامه های قبلی اضافه نموده و یا این که تمامی برنامه قدیمی را از نو بازنویسی نمایند که عملاً مقرون به صرفه نمی باشد. از این رو بایستی معماری سامانه ها به گونه ای باشد که هنگام به روزرسانی، قسمت های قبلی

کارایی سامانه و عدم پاسخگویی آن شود. از طرف دیگر، فرآیند آموزش و یادگیری مدل‌های هوش مصنوعی نیاز به بار پردازشی زیادی داشته و می‌تواند کل منابع سرور را درگیر نموده و امکان سرویس‌دهی به بقیه فعالیت‌ها را پایین آورد. از این رو ساختار پیشنهادی بایستی مقیاس‌پذیر بوده و با افزودن سرورها و امکانات جدید بتوان کارایی آن را بهبود داده و به تمامی درخواست‌ها در زمان قابل قبولی پاسخ داده شود. مطالعه حاضر بر آن است زمینه‌های مختلف عملکرد KBCDSSها در حوزه پیوند کلیه، چالش‌های اصلی ساخت و به‌کارگیری آن‌ها با استفاده از فناوری‌های قبلی و پاسخگویی به چالش‌های مطرح شده در سایه بهره‌گیری از فناوری‌ها و روش‌های کاربردی جدید مانند میکروسرویس‌ها را بررسی نموده و ساختار معماری مناسبی را برای طراحی KBCDSSها پیشنهاد نماید تا زمینه‌های به‌کارگیری و شکوفایی این دسته از سیستم‌ها را در صنعت سلامت کشور فراهم سازد.

روش

در این مطالعه موردی، از تجربه طراحی و ساخت سامانه مدیریت پیوند کلیه (Renal Transplant Management System) RTMS [۱۷] در مرکز پیوند کلیه بیمارستان امام خمینی (ره) ارومیه به عنوان یک مورد استفاده شد. ابتدا زمینه‌های به‌کارگیری و چالش‌های اصلی سامانه تصمیم‌یار مبتنی بر دانش در زمینه پیوند کلیه که اصطلاحاً RTMS_MicroCDSS نامیده شد، بررسی گردید. سپس، سبک‌های مختلف معماری نرم‌افزاری با تأکید بر معماری میکروسرویس‌ها در راستای طراحی ساختار پیشنهادی سامانه RTMS_MicroCDSS معرفی شد. برای این منظور علاوه بر بررسی متون، به شکل غیر سیستماتیک، از تجارب علمی و عملی نویسندگان این مقاله که تجارب زیادی در طراحی و ساخت نرم‌افزارهای مختلف در حیطه علوم پزشکی از جمله سیستم RTMS دارند نیز استفاده شد.

زمینه‌های اصلی کارکرد سامانه

RTMS_MicroCDSS

KBCDSSها می‌توانند به عنوان یک ابزار کمکی در اختیار پزشکان قرار گرفته تا آن‌ها بتوانند بهترین تصمیمات ممکن را در سریع‌ترین زمان اتخاذ نمایند و خدمات درمانی با کیفیتی را برای بیماران فراهم نمایند [۱۸]. RTMS_MicroCDSS می‌تواند با بهره‌گیری از دانش و اطلاعات به دست آمده از مطالعات بین‌المللی و داده‌های بیماران بومی، در راستای تولید

سامانه همچنان به کار خود ادامه داده و بخش‌های جدید که با فناوری جدید نوشته شده‌اند به صورت مستقل کار کنند. در این صورت یکپارچگی در سطح عملکرد بدون وابستگی به فناوری محقق می‌گردد.

ایجاد زیرساخت، فراهم‌سازی داده‌ها و طراحی ساختار مناسب برای سامانه‌های تصمیم‌یار مبتنی بر دانش می‌تواند از عوامل اصلی موفقیت و به‌کارگیری آن‌ها در سیستم سلامت باشند [۷]. پیشرفت فناوری اطلاعات منجر به ارائه ساختارهای نرم‌افزاری جدید مانند میکروسرویس‌ها شده است [۸]. ساختارهای مبتنی بر میکروسرویس‌ها می‌توانند در راستای غلبه بر چالش‌های فوق‌الذکر متمر ثمر باشند. دلیل اصلی محبوبیت این ساختار، ایجاد Containerهای مناسب مانند Docker است که زیرساخت اصلی استقرار برنامه‌های مبتنی بر میکروسرویس‌ها را فراهم نموده است [۹]. در حوزه پزشکی بسترهای Bioboxes و BioDocker برای اشتراک‌گذاری داده‌های بیوانفورماتیکی طراحی شده است [۱۰]. میکروسرویس‌ها توسط شرکت‌های بزرگی مانند Netflix، به صورت موفقیت‌آمیزی مورد استفاده قرار گرفته و بالغ بر ۶۰۰ سرویس مختلف را به مشتریان میلیونی ارائه می‌کند [۱۱]. در طراحی سامانه‌های سیستم اطلاعاتی اورژانس که شامل سرویس‌های مدیریت حادثه، انتقال و بستری در بیمارستان می‌باشد، میکروسرویس‌ها نقش بسزایی داشته‌اند [۱۲]. با گسترش اینترنت اشیا و استفاده از سنسورهای پزشکی مانند سنسور دمای بدن، فشارخون و ضربان قلب و دریافت این اطلاعات توسط میکروسرویس‌ها، پزشکان می‌توانند با آگاهی از وضعیت بیمار اقدامات اورژانسی مناسبی را انجام دهند [۱۳]. این بستر امکان ایجاد محیط مشاوره تلفنی و اشتراک تصاویر پزشکی بین رادیولوژیست‌های مختلف را فراهم نموده تا آن‌ها بتوانند به صورت مستقیم و بدون تأخیر زمانی با همدیگر ارتباط برقرار نموده و مشاوره‌های لازم را ارائه نمایند [۱۴]. به‌کارگیری این فناوری‌ها در حوزه انفورماتیک پزشکی دارای چشم‌انداز روشنی بوده و لازم است زمینه به‌کارگیری این فناوری‌ها در صنعت سلامت کشور و هوشمندسازی آن بیشتر مورد توجه قرار گیرد [۱۵، ۱۶].

در صورت ایجاد سامانه یکپارچه KBCDSS برای کمک به پزشکان در حوزه مراقبت‌های طولانی‌مدت نظیر پیوند کلیه، درخواست‌های خیلی زیادی به این دسته از سامانه‌ها داده خواهد شد. افزایش درخواست‌ها، ممکن است منجر به افت

مدل های بومی به کار رفته و به افزایش کارایی سیستم سلامت کشور کمک نماید. به عنوان مثال وقتی بیمار مرگ مغزی جدید به منظور اهدای اعضای بدنش آماده می شود، RTMS_MicroCDSS می تواند از لیست بیماران موجود در لیست انتظار پیوند کلیه، با در نظر گرفتن خصوصیات دموگرافیک و بالینی آن ها و انجام مقایسه بین بیماران بهترین

گزینه ها را پیدا نموده و به تیم پزشکی پیشنهاد نماید تا عمل پیوند کلیه بر روی یکی از آن ها انجام گیرد. با مطالعه و بررسی کارهای انجام شده در سطح بین المللی، زمینه های مختلفی از کارکرد KBCDSS ها در جدول ۱ آورده شد [۱۹،۲۰].

جدول ۱: زمینه های اصلی کارکرد KBCDSS ها

مرحله قبل از پیوند	مرحله پیوند (بستری)	مرحله پس از پیوند
- تطبیق بهترین گیرنده- اهداکننده	- تطبیق میزان دوز داروی سرکوب کننده ایمنی مصرفی *	- تطبیق هوشمندانه بهترین زمان مراجعه
- پیش بینی میزان بقای عضو پیوندی *	- پیش بینی میزان ابتلا به عفونت های حاد *	- بعدی بر اساس نتایج آزمایش های قبلی و پروتکل درمانی
- پیش بینی احتمال رد عضو پیوندی *	- کنترل تداخلات دارویی *	
- پیش بینی طول عمر بیمار بعد از پیوند *	- کنترل Biomarker ها و اعلان هشدارهای مقتضی *	- پیش بینی عوارض جانبی پس از پیوند مانند خطر ابتلا به سرطان و...
- پیش بینی میزان احتمال ابتلا به سایر بیماری های مزمن پس از پیوند مانند دیابت، بیماری های قلبی، عروقی و ... *	- کنترل تداخلات دارو-آزمایش *	

*- به این معنی است که این فعالیت در مرحله بعدی نیز کاربرد دارد.

با مطالعه لیست زمینه های اصلی کارکرد RTMS_MicroCDSS، مشاهده شد که هر فعالیت مستقل از دیگری می باشد؛ بنابراین لازم است برای انجام هر فعالیت تیم های تحقیقاتی و پزشکی مستقلی در کنار هم قرار گیرند تا ضمن انجام پژوهش های قوی، زمینه توسعه و ایجاد KBCDSS مناسب آن فعالیت را فراهم نمایند تا بعداً توسط تیم های توسعه نرم افزاری به سرویس مناسبی جهت استفاده پزشکان تبدیل گردند.

فرایند ساخت و به کارگیری سامانه های تصمیم یار

فرایند ساخت و به کارگیری سامانه های KBCDSS را به طور کلی به دو فاز می توان تقسیم نمود. الف) فاز ساخت و آموزش مدل و ب) فاز استفاده از مدل و دانش تولید شده [۲۱]. در فاز اول، این دسته از سامانه ها با دریافت تنظیمات و پیکربندی اولیه و نیز با به کارگیری الگوریتم ها، روش ها و تکنیک های مختلف هوش مصنوعی و داده کاوی سعی می کنند با پردازش داده ها، قواعد و قوانین پنهان در میان آن ها را یاد گرفته و الگوریتم ها و مدل های مناسبی را برای حل مشکل استخراج نمایند. برای این منظور معمولاً نیاز به توان پردازشی قوی و حافظه زیادی می باشد. به طوری که بعضی از پردازش ها ممکن است حتی چند روز طول بکشد. در طراحی و پیکربندی این دسته از سامانه ها، معمولاً یافته های جدید علمی، یافته های

بالینی، نتایج حاصل از تحقیقات محققین، الگوریتم های جدید و ... مدنظر قرار می گیرند. با گذشت زمان، افزایش حجم داده ها و نیز پیشرفت های جدید علم، بر اساس صلاح دید مدیران و پزشکان بایستی فرآیند آموزش و ساخت مدل مجدداً انجام گیرد. در فاز دوم، با بهره گیری از مدل ها و الگوریتم های به دست آمده طی فاز آموزش، سامانه بایستی به درخواست های ارسالی از نرم افزارهای مطب پزشکان، (Hospital Information System, HIS, RTMS) و یا برنامه های موبایل بیماران پاسخ دهد. به عنوان مثال، بیماران پیوندی می توانند با ورود اطلاعاتی مانند نتایج آزمایش های خود، درخواست بررسی وضعیت سلامتی کلیه خویش را داشته باشند و یا با ورود اطلاعات داروهای مصرفی، وضعیت تداخلات احتمالی دارویی را مشاهده و توصیه های لازم را دریافت نمایند.

کارکرد سامانه مدیریت پیوند کلیه (RTMS)

اصلی ترین مشکل به کارگیری سیستم های KBCDSS در سیستم سلامت کشور، عدم وجود داده مطمئن برای تصمیم گیری است. چه بسا داده های بسیار ارزشمندی از بیماران به شکل کاغذی هم وجود داشته باشند ولیکن به کارگیری این داده ها در راستای اهداف KBCDSS عملاً ممکن نیست. در این بخش به صورت خلاصه قابلیت ها و نوع داده های جمع آوری شده توسط سامانه RTMS، به عنوان زیرساخت

رجیستری بیماری مزمن کلیوی نگهداری می‌شود که در آینده می‌توان آن‌ها را نیز یکپارچه نمود [۲۲]. این اطلاعات به عنوان منبع بسیار بالارزشی برای تصمیم‌گیری توسط پزشکان می‌باشند. اطلاعات و سوابق کاغذی مراجعات، نتایج آزمایش‌ها، داروهای تجویزی بیماران از حدود ۱۷ سال قبل تاکنون در سامانه فوق وارد شده است. این اطلاعات به صورت خلاصه در جدول ۲ نشان داده شد.

اصلی جمع‌آوری داده برای RTMS_MicroCDSS، معرفی شده است. این سامانه تمامی اطلاعات دموگرافیک و داده‌های بیماران از مرحله تصمیم‌گیری برای پیوند بستری شدن در بیمارستان، انجام عمل پیوند تا مراقبت‌های بعد از آن را جمع‌آوری نموده و در بانک اطلاعاتی سامانه ذخیره می‌نماید و تمامی فرآیندهای درمان و مراقبت‌های بعد از آن را مدیریت می‌نماید. اطلاعات قبل از پیوند نیز در سامانه‌های مانند

جدول ۲: اطلاعات و داده‌های سامانه مدیریت پیوند کلیه (RTMS)

قبل از عمل	حین بستری و عمل	بعد از عمل
اطلاعات دموگرافیک	اطلاعات و یافته‌های بالینی حین عمل و بعد از عمل	ثبت مراجعات بیمار بر اساس پروتکل
نتایج مشاوره‌های پزشکی	وضعیت عملکرد کلیه پیوندی	کنترل وضعیت ابتلا به سایر بیماری‌ها مانند دیابت، سرطان و ...
نتایج آزمایش‌ها	نتایج آزمایش‌ها	نتایج آزمایش‌ها
معاینات بالینی	معاینات بالینی	معاینات بالینی
داروهای مصرفی	داروهای مصرفی	داروهای مصرفی

کاربران، افزایش بسیار سریع تعداد کاربران، کاهش زمان دسترسی به بازار، کاهش زمان توسعه نرم‌افزار، جوابگویی سریع به خواسته‌های جدید مشتریان در فضای رقابتی روز دنیا باعث شده است که شرکت‌های بزرگ نرم‌افزاری با بهره‌گیری از روش‌های جدید توسعه نرم‌افزار مانند (DevOps is a software engineering culture and practice that aims at unifying software development (Dev) [۲۴] DevOps (and software operation (Ops)). به فکر توسعه پلتفرم‌های جدیدی مانند Docker [۹] افتادند که بتوانند درخواستی‌های میلیونی کاربران را در کسری از ثانیه پاسخ دهند. این پلت فرم‌ها این امکان را برای گروه‌های توسعه نرم‌افزار فراهم نموده است که در طی فرایند ساخت نرم‌افزار، دیگر درگیر مشکلات فنی، تست، استقرار و به‌روزرسانی نباشند؛ زیرا این فعالیت‌ها به‌صورت خودکار در بستر ایجاد شده در دسترس می‌باشد و تیم پروژه تنها به توسعه قابلیت‌های موردنیاز مشتریان می‌اندیشند تا آن‌ها را در سریع‌ترین زمان ممکن در اختیار مشتریان قرار دهند. این امکانات باعث ایجاد سبک جدیدی در توسعه سامانه‌های نرم‌افزاری شده است که این سبک جدید را معماری میکروسرویس‌ها (Micro MSA (Services Architecture می‌نامند [۸].

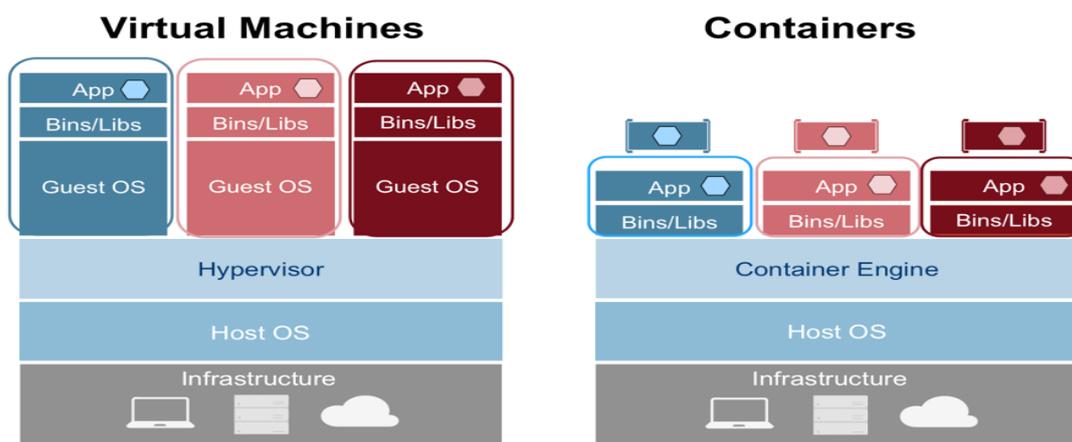
در این سبک معماری، برنامه‌های بزرگ و توزیع‌شده نرم‌افزاری از ترکیبی از اجزای همکار به وجود می‌آیند و بر خلاف SOA، اجزا (سرویس‌ها) در سطح فرایند (Process) تعریف می‌شوند

معرفی سبک‌های پرکاربرد معماری نرم‌افزار

تاکنون بر اساس پیشرفت فناوری و نیازهای کاربران، ساختارها و معماری‌های متفاوتی مانند شیء‌گرا (Object Oriented)، کامپوننت‌گرا (Component Based)، سرویس‌گرا (Service Oriented) و ... ارائه شده‌اند که بسته به نیاز از هر کدام از آن‌ها برای طراحی ساختار نرم‌افزارهای یکپارچه سازمانی استفاده می‌شود [۲۳]. در نرم‌افزارهای یکپارچه (Monolithic)، معمولاً نرم‌افزار به صورت لایه‌ای طراحی و ساخته می‌شوند سپس تمامی لایه‌ها در کنار هم قرار گرفته تا سیستم را ساخته و خدمات موردنیاز را برای کاربران فراهم نماید. با بزرگ شدن نرم‌افزارها و به منظور افزایش قابلیت استفاده مجدد از اجزای مختلف برنامه‌های یکپارچه و کاهش هزینه‌ها، سبک معماری سرویس‌گرا (Service Oriented Architecture) SOA ارائه شده که بخش‌های مختلف برنامه‌ها به صورت سرویس‌های جداگانه‌ای نوشته شده که با استفاده از قوانین و استانداردهای مشخص با هم تبادل اطلاعات انجام می‌دهند. در واقع سرویس‌گرایی سبک مدرن‌تری از پیاده‌سازی برنامه‌های یکپارچه است [۲۳]. مثال عینی این کار، سرویس‌های پرداخت الکترونیک فراهم شده توسط بانک‌ها، برای شرکت‌های تجارت الکترونیک می‌باشند که بدون درگیر شدن در جزئیات، فقط از آن سرویس استفاده می‌کنند. پیشرفت فناوری، افزایش نیازها و خواسته‌های

مستقیماً از امکانات سطح پایین سیستم عامل استفاده می کند و برای سرویس دهی نیازی به گذردهی دستورات از لایه های مختلف نیست به همین خاطر سرویس های سریع تری را در اختیار استفاده کنندگان قرار می دهد [۲۶]. شکل ۱ تفاوت ساختار ماشین مجازی با ساختارهای مبتنی بر Containerها را نشان می دهد.

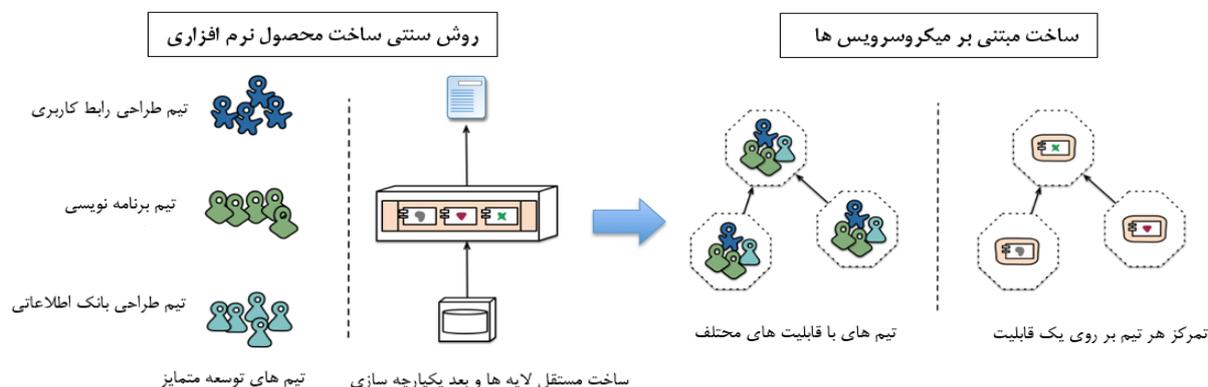
و به اندازه کافی کوچک اند تا فقط یک خصوصیت و یا یک عملکرد از فرایند مورد نظر را به درستی انجام دهند [۲۵]. بستر ایجاد شده در MSA ویژگی های متمایزی دارد که باعث محبوبیت روزافزون آن شده است [۸]. یکی از این ویژگی ها، فراهم سازی بستر مناسب جهت استفاده از Containerهایی مانند Docker توسط شرکت های بزرگ نرم افزاری می باشد. Container برخلاف ماشین مجازی، سبک وزن بوده و



شکل ۱: تفاوت ساختار ماشین مجازی با ساختارهای مبتنی بر Containerها [۲۶]

کمتر از منابع سرور، امکان تکثیر و نصب نسخه های زیادی از یک سرویس را به راحتی فراهم می نماید. دلیل دیگر محبوبیت آن، تغییر شیوه توسعه برنامه های نرم افزاری مبتنی بر MSA در مقایسه با حالت سنتی می باشد [۲۷]. شکل ۲ تفاوت نحوه توسعه برنامه در روش های سنتی و روش مبتنی بر MSA را نشان می دهد.

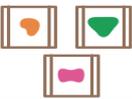
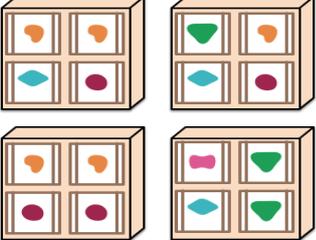
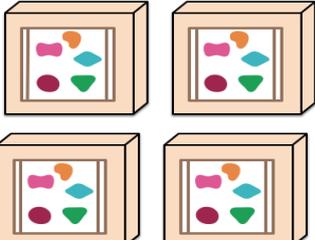
همان طور که در تصویر سمت راست شکل ۱ مشاهده می گردد در Containerها هسته و موتور آن مستقیماً با سیستم عامل ارتباط برقرار می کنند که خود این هسته نیز سبک وزن بوده و بر خلاف تکثیر در حالت ماشین مجازی، نیازی به نصب سیستم عامل جداگانه ندارد و همین ویژگی باعث افزایش سرعت اجرای سرویس ها می شود. به علاوه به دلیل استفاده



شکل ۲: مقایسه فرایند تولید محصول نرم افزاری به روش سنتی با روش مبتنی بر میکروسرویس ها [۲۷]

تخصص‌های مکمل تشکیل یافته و تمامی مراحل توسعه تا نصب و راه‌اندازی یک سرویس را تیم به تنهایی انجام داده و می‌گردد. با افزایش تعداد کاربران و برای پاسخگویی سریع، می‌توان با بهره‌گیری از بستر فراهم شده توسط زیرساخت Docker، نسخه‌های متعددی از یک سرویس را نصب و تحت یک پردازنده جدا اجرا نموده تا به درخواست‌ها به سریع‌ترین شکل ممکن جواب داده شود. شکل ۳ تفاوت ساختاری یک برنامه یکپارچه با یک برنامه مبتنی بر میکروسرویس‌ها و نحوه مقیاس‌پذیری آن‌ها را توضیح می‌دهد [۲۷].

در روش تولید مبتنی بر میکروسرویس‌ها شیوه، تیم‌ها کوچک‌تر، مستقل‌تر و حرفه‌ای‌تر شده و از افرادی با جهت استفاده عملیاتی آن را در اختیار مشتری قرار می‌دهد. سپس تیم موردنظر به سراغ توسعه سرویس بعدی می‌رود درحالی‌که تیم‌های دیگر بر روی بقیه سرویس‌ها کار می‌کنند. این حالت باعث می‌شود که کیفیت ساخت اجزای محصول بالاتر رفته و به علاوه تحویل آن به طور پیوسته انجام می‌گیرد [۲۴]. در این روش نیازی نیست تیم‌های مختلف از یک نوع توان فنی و تبحر، مثلاً زبان برنامه‌نویسی، برخوردار باشند. این موضوع سبب افزایش انعطاف‌پذیری و سرعت بالای کار

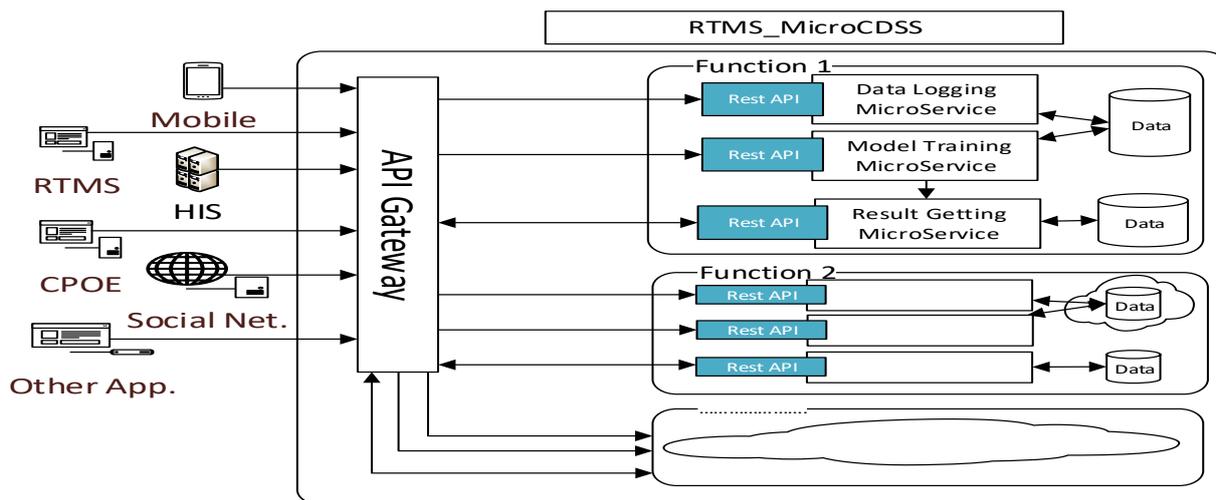
حالت مبتنی بر میکروسرویس	حالت یکپارچه
 <p>هر قابلیت مستقل بوده و هرکدام بر روی یک پردازنده (Process) جدا قابل اجرا می‌باشند.</p>	 <p>تمامی قابلیت‌های یک برنامه در کنار یکدیگر قرار گرفته و تمامی آن‌ها بر روی یک پردازنده (Process) اجرا می‌شوند.</p>
 <p>در صورت نیاز به تکثیر، فقط سرویس موردنظر به تعداد موردنیاز، بر روی سرورهای مختلف نصب می‌گردد و دیگر نیازی به نصب کل برنامه نیست.</p>	 <p>در صورت نیاز به تکثیر، کل برنامه بر روی سرورهای مختلف نصب و راه‌اندازی می‌گردد.</p>

شکل ۳: تفاوت ساختاری برنامه یکپارچه با برنامه مبتنی بر میکروسرویس و نحوه مقیاس‌پذیری آن‌ها [۲۷]

نتایج

تا افت کارایی وجود نداشته باشد (شکل ۳). با بررسی نحوه ساخت و به‌کارگیری سیستم‌های داده‌کاوی و اینکه هر دو فاز قابلیت اجرای مستقل را دارند معماری پیشنهادی برای پیاده‌سازی RTMS_MicroCDSS بر اساس میکروسرویس‌ها به فرم شکل ۴ پیشنهاد شد.

با بررسی کارکرد RTMS_MicroCDSS (جدول ۱) مشاهده شد تمامی فعالیت‌ها مستقل از همدیگر بوده و برای بهره‌برداری و پاسخگویی به خواسته‌ها و نیازهای کاربران می‌توانند به صورت تکی و مستقل اجرا شوند. این قابلیت کمک می‌کند که وقتی میزان درخواست‌ها زیاد شد، بتوان به راحتی آن را تکثیر و نسخه‌های مختلفی از آن را هم‌زمان اجرا نموده



شکل ۴: ساختار معماری پیشنهادی سامانه RTMS_MicroCDSS بر اساس میکروسرویس‌ها

CDSS = Clinical Decision Support System, Rest API = RESTful Application Program Interface, RTMS = Renal Transplant Management System, HIS = Hospital information system, CPOE = Inpatient Computerized Provider Order Entry, NET = Network, App = Application.

دسترسی کاربران، بایستی در تمامی سرویس‌ها پیاده‌سازی شوند که باعث افزایش حجم کار سرویس‌ها می‌شود. به جای انجام این کار در هر کدام از سرویس‌ها، لایه‌ای API Gateway اضافه شده است تا فعالیت‌هایی مانند کنترل سطح دسترسی، انتخاب سرویس مناسب بسته به نوع کاربر، نظارت بر اجرای سرویس‌ها و تقسیم بار بین نسخه‌های مختلف یک سرویس و ... را انجام دهد. این دروازه باعث می‌شود سرویس‌ها پیش از پیش ساده‌تر و سبک‌وزن‌تر شده و فقط عمل موردنظر را انجام دهند. درخواست‌ها از طریق پروتکل Rest به هر کدام از سرویس‌ها تحویل داده می‌شود. این پروتکل از ساده‌ترین و سبک‌وزن‌ترین شیوه‌های انتقال اطلاعات در بستر اینترنت بوده که باعث تسریع در انتقال پیام‌ها می‌شود. در سطح پایین‌تر، بانک اطلاعاتی برحسب نیاز می‌تواند از نوع رابطه‌ای (SQL (Structured Query Language) و No-SQL و ... باشند و در صورت نیاز یک بانک اطلاعاتی می‌تواند به صورت اشتراکی در اختیار چند سرویس قرار گیرد. از آنجایی که هر سرویس به صورت مستقل اجرا و ساخته خواهد شد تکنولوژی ساخت و زبان برنامه‌نویسی آن‌ها می‌تواند با هم متفاوت باشند. در این ساختار این امکان وجود دارد که بسته به نیاز فقط مخزن داده، سرویس و یا هر دو بر روی بستر cloud قرار گرفته تا سرویس‌های مناسب‌تری را فراهم نماید. با استفاده از امکانات فراهم شده توسط containerها تکثیر

در ساختار پیشنهادی برای هر قابلیت سامانه RTMS_MicroCDSS سه تا سرویس جداگانه در نظر گرفته شد:

(۱) سرویس جمع‌آوری داده‌ها (Data Logging MicroService): وظیفه دریافت اطلاعات و ذخیره‌سازی آن در بانک اطلاعاتی را بر عهده دارد. مثلاً دریافت و ذخیره‌سازی نتایج آزمایش‌های بیمار از آزمایشگاه‌ها، HIS، RTMS و حتی برنامه موبایل بیماران.

(۲) سرویس آموزش و ساخت مدل مناسب (Model Training MicroService): با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده، الگوها و مدل‌های مختلف هوش مصنوعی را آموزش داده و بهترین مدل را جهت استفاده ارائه می‌کند.

(۳) سرویس استفاده از مدل و دریافت نتیجه (Result Getting MicroService): با آمدن بیمار و یا داده جدید با استفاده از مدل بهینه به دست آمده توسط سرویس ۲، دانش و اطلاعات مناسبی را تولید نموده و در اختیار گروه پزشکی قرار می‌دهد.

کاربران و افراد مختلفی، از پزشکان نفرولوژیست در مطب‌ها گرفته تا کاربران برنامه‌های موبایل، می‌توانند به عنوان کاربر سامانه از آن استفاده نمایند. برای دسترسی به تمامی سرویس‌ها لازم است کاربر و نرم‌افزار درخواست‌کننده مجوزهای لازم را داشته باشند. بررسی صحت مجوزها و سطح

بدون درگیر شدن در پیچیدگی‌های فناوری و راه‌اندازی آن به دلیل آماده بودن بستر، راحتی نصب نسخه‌های متعدد از یک سرویس برای پاسخگویی به درخواست‌های هم‌زمان کاربران مختلف از مزیت‌های این روش می‌باشد [۸]. مزیت بسیار مهمی دیگری که این ساختار برای تیم‌های توسعه فراهم می‌نماید قابلیت تغییرپذیری برنامه است به صورتی که در صورت نیاز به تغییر سرویس، برخلاف ساختارهای یکپارچه، فقط همان سرویس اصلاح و به‌روزرسانی می‌گردد و بقیه سرویس‌ها به کارشان ادامه می‌دهند. حتی در صورت نیاز فناوری ساخت سرویس می‌تواند اصلاح شده و از فناوری جدیدتری استفاده شود و برخلاف ساختار یکپارچه، دیگر نیازی به اصلاح و بازنویسی کل پروژه نیست.

همچنین از دیدگاه کاربری پزشکی، استفاده از میکروسرویس‌ها مزیت‌های زیر را فراهم می‌نماید. سیستم‌های موجود در مطب تمامی پزشکان و نفرولوژیست‌ها با هر فناوری می‌تواند به راحتی به سرویس‌های سامانه RTMS_MicroCDSS وصل شده و از اطلاعات و پیشنهادات سامانه RTMS_MicroCDSS استفاده نمایند. از آنجایی که این ساختار قابلیت مقیاس‌پذیری را فراهم می‌نماید پزشکان پاسخ درخواست‌ها را خیلی سریع دریافت نموده و تأخیر ملموسی را مشاهده نخواهند کرد. به علاوه، می‌توان امکان به اشتراک‌گذاری داده‌های مختلف پرونده پزشکی بیمار، از تمامی مراکز کشور را در قالب یک بستر یکپارچه فراهم نمود [۶]. این ساختار از طریق به کارگیری سرورهای ابری، حجم بسیار زیاد داده‌های تولیدی توسط فناوری‌های جدید مانند سنسورهای پزشکی را مدیریت نموده و به کوچک شدن حجم برنامه‌ها و سیستم‌های پزشکی کمک می‌نماید و هزینه‌های به کارگیری این سیستم‌ها را برای دست‌اندرکاران حوزه سلامت و پزشکان کاهش می‌دهد [۵]. به علاوه برنامه‌های مبتنی بر موبایل و شبکه‌های اجتماعی بیماران می‌توانند از این سرویس‌ها برای کمک و بهبود شرایط زندگی آنان استفاده نمایند.

علیرغم مزایای ذکر شده، این ساختار برای هر نوع برنامه‌ای مناسب نیست. به‌عنوان مثال با افزایش میزان پیچیدگی برنامه‌ها، تعداد سرویس‌ها هم زیاد می‌شوند و این موضوع باعث می‌شود مدیریت ارتباط آن‌ها با همدیگر و پیکربندی آن‌ها به راحتی مقدور نباشد. در حالتی که نیاز به مدیریت تراکنش وجود داشته باشد و یا لازم باشد به‌طور هم‌زمان چندین رکورد در بانک‌های اطلاعاتی مختلفی به‌روزرسانی شوند و یا لازم باشد چهار خاصیت اصلی تراکنش‌های بانک

و مقیاس‌پذیری سرویس‌ها به راحتی انجام می‌گیرد و بسته به نیاز از هر سرویس به تعداد موردنیاز می‌توان ایجاد و اجرا نمود.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، کاربردی نمودن و استفاده از سامانه‌های تصمیم‌یار بالینی مبتنی بر دانش در حوزه پیوند کلیه، زمینه‌های اصلی کارکرد و چالش‌های به کارگیری آن بررسی شده و با بهره‌گیری از آخرین پیشرفت‌های تکنولوژی و بسترهای فراهم شده توسط شرکت‌های بزرگ فناوری اطلاعات، ساختار معماری مناسبی برای طراحی و ساخت سامانه RTMS_MicroCDSS مبتنی بر میکروسرویس‌ها ارائه گردید. این ساختار بر این اساس استوار است که هر سرویس به اندازه کافی کوچک شده تا فقط یک کار را انجام داده و آن را هم به درستی انجام دهد [۸]. با مشاهده لیست قابلیت‌های مورد انتظار از سامانه (جدول ۱)، مشاهده شد که می‌توان همگی سرویس‌ها را به صورت مستقل طراحی و اجرا نمود [۱۹]. برای توسعه هر کدام از قابلیت‌ها سه سرویس جداگانه جمع‌آوری داده‌ها، استخراج مدل بهینه و به کارگیری مدل تعریف شده است که پاسخگویی نیازهای محققان و کاربران مختلف می‌باشند. بهره‌گیری از این ساختار جدید می‌تواند به توسعه پلت‌فرم مناسب نرم‌افزارهای پزشکی و سامانه‌های پشتیبان تصمیم کمک نموده تا سرویس‌های بهتر و مناسب‌تری را با هزینه کمتری در اختیار داشته باشند [۱۸].

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، به دلیل جدید بودن این فناوری فعلاً چنین ساختاری برای سامانه‌های تصمیم‌یار مشابه معرفی نشده است. این موضوع امکان مقایسه ساختار پیشنهادی این مطالعه با ساختارهای مشابه را غیر عملی می‌نماید؛ و لیکن برای روشن شدن موضوع این سامانه با سایر معماری‌های تولید نرم‌افزار از جمله ساختار لایه‌ای و یا سرویس‌گرایی مقایسه شد. لازم به ذکر است که هر کدام از سبک‌های معماری نرم‌افزار ویژگی‌های خاص خود را داشته و بسته به نوع برنامه‌ها بایستی از سبک معماری مناسبی برای آن‌ها استفاده نمود [۲۵]؛ که مقایسه آن با معماری‌های مشابه ذکر شد. امکان توسعه مستقل هر سرویس، اجرای هر سرویس بر روی پردازنده (Process) جداگانه، استفاده از زبان برنامه‌نویسی، ابزارها و پلت‌فرم‌های متمایز برای توسعه هر سرویس، راحتی پاسخگویی به سایر نرم‌افزارها و کاربران نهایی، استقلال و جدا بودن تیم‌های توسعه، امکان کار هم‌زمان بر روی هر قابلیت در هر جایی از کشور توسط هر تیمی، تمرکز تیم بر روی ساخت سرویس

در این مطالعه ضمن بررسی زمینه‌های اصلی کارکرد سامانه RTMS_MicroCDSS و چالش‌های اصلی به‌کارگیری آن در صنعت سلامت کشور، ساختار مناسبی بر اساس میکروسرویس‌ها برای آن پیشنهاد شده است تا ضمن غلبه بر چالش‌های به‌کارگیری آن‌ها به توسعه مستقل قابلیت‌های مختلف RTMS_MicroCDSS توسط گروه‌های مستقل تحقیقاتی سراسر کشور کمک نماید. این ساختار باعث می‌شود هر گروه فقط بر روی یک قابلیت تمرکز داشته و آن را به‌درستی انجام دهد. برای هر قابلیت، سه سرویس ذخیره‌سازی داده‌ها، سرویس آموزش و انتخاب مدل بهینه و سرویس استفاده از مدل تعریف شده است که هر کدام از این سرویس‌ها بسته به نیاز می‌توانند به دفعات مختلف توسط کاربران مجاز فراخوانی و مورد استفاده قرار گیرند. بستر موجود این امکان را فراهم می‌کند که تیم توسعه نرم‌افزاری با دانش و فناوری‌های متفاوت، فقط به پیاده‌سازی قابلیت مورد نظر پرداخته و درگیر مسائلی مانند نحوه نصب، پیکربندی، امنیت و نحوه تکثیر سرویس‌ها نباشند. این معماری برای سامانه RTMS_MicroCDSS ارائه شد که می‌تواند برای توسعه سیستم‌های پیشینیان تصمیم سایر حوزه‌ها نیز به کار رود. به‌علاوه می‌تواند به عنوان ساختاری برای توسعه سرویس‌های فراهم شده توسط وزارت بهداشت و آموزش پزشکی نیز در نظر گرفته شود.

تعارض منافع

این مقاله دارای تعارض منافع نمی‌باشد.

اطلاعاتی رابط‌های (Atomicity, Consistency, Isolation, and Durability) برقرار باشد، ساختارهای سرویس‌گرا چندان مناسب نمی‌باشد و نیاز به سربار بیشتری دارند [۲۵]. البته این مشکل در سامانه پیشنهادی در این پژوهش وجود ندارد؛ زیرا فقط اطلاعات به سامانه انتقال داده و ذخیره‌سازی می‌شود و ممکن است فقط نیاز به پاک‌سازی داده‌های دریافتی باشد که در آن صورت بایستی سرویس مناسبی هم برای آن طراحی نمود. بهره‌برداری از فناوری‌های مختلف در ساخت سرویس‌ها یکی از ویژگی‌های معماری مبتنی بر میکروسرویس‌ها می‌باشد. این موضوع باعث افزایش هزینه نگهداری برنامه‌ها در بلندمدت می‌شود. به علاوه پیدا کردن نیروهای متخصص که در تمامی مراحل مختلف توسعه نرم‌افزار حرفه‌ای باشند، کار راحتی نیست به همین خاطر ممکن است کار آن‌طوری که انتظار می‌رود پیش نرود. به‌طور کلی این ساختار برای سامانه‌های که سرویس و فرآیندهای آن‌ها وابستگی زیادی به هم دارند چندان مناسب نیست و بیشتر به کار برنامه‌هایی می‌خورند که بتوان اکثر سرویس‌های آن را به صورت مستقل طراحی نمود [۲۵]. مقاومت پزشکان و ارائه‌دهندگان خدمات بهداشتی-درمانی به‌عنوان چالش دیگری همچنان وجود خواهد داشت و نیاز به آموزش‌ها و زمان زیادی برای غلبه دارد [۲۸]. در نهایت از آنجایی که برای ارتباط بین سرویس‌ها در میکروسرویس‌ها از بستر شبکه استفاده می‌شود نسبت به برنامه‌های یکپارچه که بر روی حافظه سرور پردازش می‌شوند، کندتر هستند.

References

1. Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Transplant Work Group. KDIGO clinical practice guideline for the care of kidney transplant recipients. *Am J Transplant* 2009;9 Suppl 3:S1-155.
2. Casimir P. Role of clinical decision support systems in improving clinical practice. *MOJ Clinical & Medical Case Reports* 2015;2(6):1-6.
3. Rajalakshmi K, Mohan SC, Babu SD. Decision support system in healthcare industry. *International Journal of Computer Applications* 2011;26(9):42-4.
4. Haynes RB, Wilczynski NL. Effects of computerized clinical decision support systems on practitioner performance and patient outcomes: methods of a decision-maker-researcher partnership systematic review. *Implement Sci* 2010;5:12.
5. Raghupathi W, Raghupathi V. Big data analytics in healthcare: promise and potential. *Health Inf Sci Syst* 2014; 2: 3.
6. Abdullah AL, Albeladi KS, AlCattan RF. Clinical decision support system in healthcare industry success and risk factors. *International Journal of Computer Trends and Technolog* 2014;11(4):188-92.
7. Schoff L. Comparing the challenges of implementing decision support systems in the healthcare and financial industries. *Health Care and Informatics Review Online* 2009;13(3):3-10.
8. Newman S. *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems*. 1th ed. USA: O'Reilly Media; 2015.
9. Docker. [cited 2018 Jun 1]. Available from <http://www.docker.com>.

10. Bioboxes and Biodocker. [cited 2018 Jun 1] Available from (<http://bioboxes.org>) and (<http://biodocker.org>).
11. Mauro T. Adopting microservices at netflix: Lessons for architectural design. [cited 2018 Jun 1]. Available from: <https://www.nginx.com/blog/microservices-at-netflix-architectural-best-practices/>.
12. Martsenyuk VP, Andrushchak IY. On development of information system for emergency medicine based on microservices architecture. *Medical Informatics and Engineering* 2017; 30(1): 12-20.
13. Thiyagarajan S. Microservice architecture to monitor body temperature using internet of things. *International Research Journal of Engineering and Technology* 2018; 5(1): 506-9.
14. Andrikos C, Rassias G, Tsanakas P, Maglogiannis IG. An enhanced device-transparent real-time teleconsultation environment for radiologists. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* 2019; 23(1): 374–86.
15. Williams CL, Sica JC, Killen RT, Balis UGJ. The growing need for microservices in bioinformatics. *J Pathol Inform* 2016; 7: 45.
16. Masuda Y, Yamamoto S, Shirasaka S. A Vision for Open Healthcare Platform 2030. 11th International KES Conference on Intelligent Interactive Multimedia: Systems and Services; 2018 Jun 20; Gold Coast, Australia: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2018. p. 175-85.
17. Niazkhani Z, Pirnejad H, Rashidi P, Makhdomi K, Taghizadeh Afshari A, Mohammadi Fallahi M, et al. Modeling and designing a computerized transplant information system for clinical management of kidney transplant patients in the Urmia Kidney Transplant Center, *Iranian Journal of Kidney Diseases* 2015; 9(S1): 34.
18. Oh S, Cha J, Ji M, Kang H, Kim S, Heo E, et al. Architecture design of healthcare software-as-a-service platform for cloud-based clinical decision support service. *Healthc Inform Res* 2015;21(2):102-10.
19. Khazaee PR, Pirnejad H, Bagherzadeh J, Niazkhani Z. Towards realizing benefits of information technology in organ transplant: a review. *Studies in Health Technology and Informatics* 2016; 226: 29-32.
20. Niazkhani Z, Pirnejad H, Rashidi Khazaee P. The impact of health information technology on organ transplant care: a systematic review. *Int J Med Inform* 2017;100:95-107.
21. Friedman E, Dunning T. *Machine Learning Logistics: Model Management in the Real World*. USA: O'Reilly Media; 2017.
22. Cheshme-Kabodi M, Pirnejad H, Makhdomi K, Nikibakhsh AA, Taghizadeh Afshari A, Niazkhani Z. Chronic Kidney Disease registry in Iran: aims, stakeholders, and minimum data set. 1st International Congress of Diseases and Health Outcomes Registry; 2017 Feb; Mashhad: Mashhad University of Medical Sciences; 2017. p. 30-1.
23. Chu SC. From component-based to service oriented software architecture for healthcare. *Proceedings of 7th International Workshop on Enterprise networking and computing in Healthcare Industry*; 2005 Jun 23-25; Busan, South Korea, South Korea: IEEE; 2005. p. 96-100.
24. Balalaie A, Heydarnoori A, Jamshidi P. Microservices architecture enables devops: migration to a cloud-native architecture. *IEEE Software* 2016; 33(3):42-52.
25. Richards M, Microservices VS. *Service-oriented architecture*. O'Reilly Media; 2015.
26. Seo KT, Hwang HS, Moon IY, Kwon OY, Kim BJ. Performance comparison analysis of linux container and virtual machine for building cloud. *Advanced Science and Technology Letters* 2014; 66:105-11.
27. Lewis J, Fowler M. *Microservices* [cited 2018 Jun 2]. Available from <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>.
28. Anooj PK. Clinical decision support system: Risk level prediction of heart disease using weighted fuzzy rules. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* 2012;24(1):27-40.

Proposing an Appropriate Architecture for Decision Support Systems in the Field of Complex Chronic Care: Micro-Services Based Software Architecture in Kidney Transplant Care

Rashidi Khazaei Parviz¹, Bagherzadeh Jamshid², Niazkhani Zahra³, Prinejad Habibollah^{3*}

• Received: 12 May, 2018

• Accepted: 6 Sep, 2018

Introduction: Development and successful implementation of knowledge based clinical decision support system (KBCDSS) in kidney transplantation (KT) could support decision-making, reduce cost and improve quality of care. For practical use of these systems, however, many challenges have to be met. Besides to well-recognized challenges of design and implementation of information systems in healthcare domain, designing an appropriate architecture for KBCDSS that can address requirements of complex and multidisciplinary chronic care, is a new growing challenge.

Method: This case study was done based on the experience achieved in design of kidney transplantation management system in Urmia. Then, considering main applications and challenges of development and implementation of KBCDSS in Kidney transplantation and using the latest advancements in software technology field, appropriate software architecture based on micro-services has been proposed.

Results: For each function (process) of the KBCDSS, three different micro-services of data gathering, optimal model designing and its application were proposed. These services, through implementation on provided backgrounds, can respond to different requests of patients and provide them with adequate knowledge and information.

Conclusion: Use of this architecture makes it possible for different research teams with different skills and knowledge throughout the country to focus on designing a specific function and doing it in a best way. The proposed architecture can be extended and scaled. Moreover, in spite of increase in size and type of data, users and requests, it can respond well.

Keywords: Decision Support Systems, Clinical, Kidney Transplantation, Microservices, Software Architecture

• **Citation:** Rashidi Khazaei P, Bagherzadeh J, Niazkhani Z, Prinejad H. Proposing an Appropriate Architecture for Decision Support Systems in the Field of Complex Chronic Care: Micro-Services Based Software Architecture in Kidney Transplant Care. *Journal of Health and Biomedical Informatics* 2019; 5(4): 423-34.

1. Ph.D. Student in Information Technology, Electrical and Computer Engineering Dept., Urmia University, Urmia, Iran

2. Ph.D. in Software Engineering, Associate Professor, Electrical and Computer Engineering Dept., Urmia University, Urmia, Iran

3. Ph.D. in Medical Informatics, Associate Professor, Health Information Technology Dept., Urmia University of Medical Sciences, Urmia, Iran

*Correspondence: Orjhans Street, Resalat Blvd, Urmia, Iran (Postal Code: 571478334)

• Tel: 04432240658

• Email: pirnejad.h@umsu.ac.ir