A Service-oriented Architecture for Generating and Sharing Science and Knowledge in the E-science Environment

Javad Pourabbasi
Msc in Information Technology Engineering; KN Toosi University of Technology
Corresponding Author: jpourabbasi@mail.kntu.ac.ir

Abdollah Aghaie
PhD in Industrial Engineering; Professor;
KN Toosi University of Technology aaghaie@kntu.ac.ir

Mojtaba Hajian Heidary
PhD Candidate in Industrial Engineering;
KN Toosi University of Technology mhajianheidary@mail.kntu.ac.ir

Iranian Journal of Information Processing & Management

Iranian Research Institute for Information Science and Technology (IranDoc)
ISSN 2251-8223
eISSN 2251-8231
Indexed by SCOPUS, ISC, & LISTA
Vol. 31 | No. 1 | pp. 269-297
Autumn 2015
https://doi.org/10.35050/JIPM010.2015.012

Received: 2015.01.16 **Accepted: 2015.04.29**

Abstract: The excellence of a society relies on the importance of science in the community. In this century, by the emergence of information and communication technologies (ICT), the generation and sharing of science has been very fast. The e-science terminology has been developed to introduce such revolutions. Also the progress of the society depends directly on the efficient generation and sharing of the science. Therefore, in this study, for the first time in the scientific community of Iran, the e-science issue was investigated. Also, because of the novelty of the issue, after the introduction of e-science, a service-oriented architecture is presented in this environment. The components of the proposed architecture are based on three significant facts: data, computations and communications. Each of these components, individually have different elements. These components were extracted according to features of the architectures of related researches. These components together, facilitate generation and sharing of the science and knowledge. Finally, to illustrate the proposed architecture and relations between components, a case study is surveyed.

Keywords: E-science; Science Generation; Science Sharing; Service-oriented Architecture; Scientific Research

طراحی یک معماری سرویس‌گرا در محیط علم الکترونیکی برای تولید و انتشار علم و دانش

جواد پورعباسی
کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات؛
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
پدیدآور رابط: jpourabbasi@mail.kntu.ac.ir

عبدالله آقایی
دکتری مهندسی صنایع؛ استاد؛
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
aaghaie@kntu.ac.ir

مجتبی حاجیان حیدری
دانشجوی دکتری مهندسی صنایع؛
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
mhajianheidary@mail.kntu.ac.ir

پژوهشنامهٔ پردازش و مدیریت اطلاعات
فصلنامه | علمی پژوهشی
پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک)
شاپا (چاپی) ۸۲۲۳-۲۲۵۱
شاپا (الکترونیکی) ۸۲۳۱-۲۲۵۱
نمایه در LISTA، ISC، و SCOPUS
jipm.irandoc.ac.ir
دورهٔ ۳۱ | شمارهٔ ۱ | ص‌ص ۲۶۹-۲۹۲
پاییز ۱۳۹٤
https://doi.org/10.35050/JIPM010.2015.012

مقالهٔ پژوهشی

دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۶ | پذیرش: ۱۳۹٤/۰۲/۰۹ | مقاله برای اصلاح به مدت ۹ روز نزد پدیدآوران بوده است.

چکیده: میزان توسعه و تعالی جامعه به میزان اهمیت علم در آن جامعه وابسته است. در قرن حاضر به لطف ظهور فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، سرعت تولید و انتشار علم رشد چشمگیری پیدا کرده است. اصطلاح علم الکترونیکی اشاره به این تحولات در دنیای علم دارد. از یک سو، پیشرفت جامعه در گرو تولید و انتشار علم است و از سوی دیگر، استفاده از فناوری های اطلاعات و ارتباطات برای تولید علم ضروری است. به همین منظور، در این پژوهش برای نخستین بار در جامعهٔ علمی ایران موضوع علم الکترونیکی مورد بررسی قرار گرفت. در این مقاله به سبب جدیدبودن موضوع، پس از معرفی علم الکترونیکی، یک معماری سرویس گرا برای آن ارائه می شود. معماری سرویس گرا بر پایهٔ سه رکن اساسی علم الکترونیکی یعنی داده، محاسبات و ارتباطات شکل گرفته است. هر یک از این ارکان، خود دارای مؤلفه‌هایی هستند. این مؤلفه ها و اجزای معماری پیشنهادی با توجه به ویژگی هایی که نویسندگان دیگر برای معماری علم الکترونیکی در نظر گرفته اند، استخراج می گردد. پس از به‌دست‌آمدن مؤلفه‌ها، روابط منطقی بین آنها ترسیم می‌شود. این مؤلفه‌ها در ارتباط و تعامل با یکدیگر، تولید و انتشار علم را تسهیل می کنند. در نهایت، برای درک بهتر روابط بین اجزای معماری پیشنهادی و تعامل آنها، یک موردکاوی، مورد بررسی قرار می گیرد.

کلیدواژه‌ها: علم الکترونیکی؛ تولید علم؛ اشتراک علم؛ انتشار علم؛ معماری سرویس گرا؛ پژوهش علمی

۱. مقدمه

در هیچ دوره‌ای مانند دورهٔ کنونی سرعت و میزان تولید علم و دانش تا بدین حد زیاد نبوده است. از بارزترین علل آن ظهور فناوری های اطلاعات و ارتباطات است. اصطلاح علم الکترونیکی برای توصیف چنین تحولاتی به‌کار گرفته شد. از آنجا که علم و دانش در هر عصری با استفاده از ابزارهای همان عصر تولید می شود، پس طبیعی است که دانشمندان در دورهٔ حاضر از فناوری های اطلاعات و ارتباطات در راستای تولید علم و دانش بهره گیرند، چرا که فناوری‌های علم الکترونیکی ابزارهایی هستند که تولید و انتشار علم و دانش را سهولت می‌بخشند.

با توجه به اینکه لازمهٔ توسعه و پیشرفت هر جامعه‌ای توجه به تولید علم و دانش است و از سوی دیگر، موضوع علم الکترونیکی امروزه از ملزومات تولید علم می باشد که در داخل کشور مورد غفلت قرارگرفته است، ضروری می‌نماید که این حوزه مورد بررسی قرار گیرد. جدیدبودن موضوع اقتضا می کند که با یک دید جامع به مسئله نگریسته شود، به‌طوری که بتواند راهنمای تحقیقات بعدی باشد. این دید جامع به واسطهٔ ارائهٔ معماری برای آن حاصل می گردد. معماری شامل اجزا و مؤلفه هایی است که در ارتباط با یکدیگر محیط علم الکترونیکی را پدید می آورند. با بررسی ادبیات موجود، این نتیجه به دست آمد که مبحث معماری علم الکترونیکی کمتر مورد توجه قرار گرفته است و همان تعداد کم نیز جنبه‌ای از مسئله را بیان نموده‌اند. از این‌رو، در این مقاله با استفاده از معماری سرویس گرا چارچوبی برای تولید و انتشار علم و دانش در محیط علم الکترونیکی ارائه شده است. همچنین، به‌منظور بررسی کارایی معماری پیشنهادی، یک مطالعهٔ موردی (زیست داده‌ورزی) انجام شده است. نتایج حاصل از موردکاوی با نتایج به‌دست‌آمده از مقالهٔ مرجع (Bosin et al. 2011, 27) مقایسه و مزایای آن نشان داده شده است. معماری پیشنهادی علاوه بر دارابودن ویژگی‌های معماری مقالهٔ مرجع، روابط و خدمات بیشتر و کامل‌تری را در نظر گرفته است. بنابراین، در این مقاله به بررسی موضوع علم الکترونیکی پرداخته می شود و برای آن یک معماری سرویس‌گرا ارائه می گردد تا بدین‌وسیله به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

۱. علم الکترونیکی و ارکان اصلی آن چیست؟
۲. علم الکترونیکی شامل چه مؤلفه‌هایی است و ارتباط این مؤلفه‌ها با یکدیگر به چه صورت می‌باشد؟

ساختار مقاله بدین‌صورت است که ابتدا تعریف علم الکترونیکی و فلسفهٔ وجودی آن بیان می‌شود. در ادامه، یک معماری برای محیط علم الکترونیکی ارائه‌گردیده و سعی می‌شود جامعیت موضوع لحاظ گردد. در بخش آخر، برای نشان‌دادن تعامل بین اجزای معماری، یک موردکاوی ارائه شده است.

۲. علم الکترونیکی

علم الکترونیکی، یکی از اصطلاحات پرکاربرد برای توصیف تحولات چند دههٔ اخیر در تولید علم است که سبب شده روش‌ها و شیوه‌های سنتی علم تحت تغییرات بنیادی قرار گیرند (Jankowski 2007). در آغاز، تمرکز علم الکترونیکی بر علوم طبیعی و بیولوژیکی بود (همان)، اما امروزه علم الکترونیکی برای علوم اجتماعی و علوم انسانی نیز کاربرد دارد (Hine 2006). اصطلاح علم الکترونیکی برای نخستین بار در سال ۱۹۹۹، توسط «جان تیلور» در بریتانیا ابداع شد. او علم الکترونیکی را چنین تعریف می‌کند: «علم الکترونیکی در مورد همکاری جهانی در زمینه‌های کلیدی علم و نسل پیشرفتهٔ زیرساخت‌هایی است که آن را ممکن خواهد ساخت» (John Teylor نقل در NeSC 1999). این معروف‌ترین تعریف علم الکترونیکی است که در منابع مختلف از جمله Hine (2006), 100; Holl (2014), 2; Voss X. Yang Wang & Jie (2011), v نقل شده است. به‌عبارت ساده‌تر می‌توان گفت که اصطلاح علم الکترونیکی اغلب به استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای حمایت از دانشمندان به کار گرفته شده است (Hey & Trefethen 2002).

علم الکترونیکی این امکان را برای علوم چندرشته‌ای به‌وجود آورده است که یک دانشمند، تخصص و دانش در دامنهٔ علمی خاصی (مانند زیست‌شناسی) را با تخصص و دانش فناوری اطلاعات و ارتباطات خود ترکیب کند (Hertzberger 2006).

با توجه با مطالب بیان‌شده می‌توان چنین گفت که علم الکترونیکی، دو واژهٔ «علم» و «الکترونیکی» را در بردارد. علم بر سه پایه استوار است: نظریه، آزمایش و محاسبات (Deelman et al. 2009, 528)، از طرف دیگر، شبکهٔ الکترونیکی شامل مؤلفه‌های داده‌ای، محاسباتی و ارتباطی است (Cañas et al. 2005; Wouters 2006). این بیان در شکل ۱ نشان داده شده است.

شکل ۱. علم الکترونیکی و ارکان اصلی آن

دلیل اصلیِ روی‌آوردنِ دانشمندان به علم الکترونیکی در سه مورد خلاصه می‌شود: انفجار داده‌های علمی، نیاز به پردازش و محاسبات پیچیده و نیاز به تعامل با دانشمندان دیگر (Cañas et al. 2005; Wouters 2006).

- ◇ انفجار داده‌های علمی: امروزه تحقیقات علمی به‌طور فزاینده‌ای با چالش انفجار اطلاعات مواجه است و علوم نوین نسبت به قبل، برای ایجاد و مدیریت مؤثر داده‌ها تقاضای بیشتری دارند (X. Yang et al. 2011, ix). به‌عنوان نمونه، فیزیک‌دانان در آزمایشگاه سرن[1] در ژنو با حجم زیادی از داده‌ها در حد پتابایت[2] سروکار دارند (Hine 2006, vi).
- ◇ نیاز به پردازش‌ها و محاسبات پیچیده: پردازش این حجم از داده‌ها موضوع دیگری است. در طول دو دههٔ گذشته، محاسبات در کنار نظریه و آزمایش، تبدیل به رکن سوم علم شده است. ابزارهای محاسباتی که شامل تجزیه و تحلیل داده‌ها و مراحل مصورسازی پیچیده‌ای است،

1. CERN
2. Peta Byte
هر پتابایت معادل یک‌میلیون گیگابایت ($۲^{۵۰}$ یا $۱۰^{۱۵}$) است. می‌توان، ۱ پتابایت را معادل ۱۳/۳ سال فیلم با کیفیت HD تصور نمود!

مورد پذیرش قرارگرفته‌اند (Deelman et al. 2009, 528).

◇ نیاز به تعامل دانشمندان با یکدیگر: افزایش سریع پیچیدگی و دامنهٔ پژوهش‌های علمی، چالشی دیگر به ارمغان می‌آورد که چارهٔ آن حمایت از همکاری‌ها در مقیاس جهانی و به‌اشتراک‌گذاری منابع به‌طور هماهنگ است. به‌عنوان مثال، مطالعهٔ بیماری‌های عصبی نیاز به ترکیب دانش و منابعِ بسیاری از مؤسسه‌های پژوهشی دارد. علم الکترونیکی به زیرساخت‌هایی اشاره دارد که پژوهش میان‌رشته‌ای را میسر می‌سازد (Chen, Wang, & Cheung 2010, v).

تعدادی از پروژه‌ها و کاربردهای علم الکترونیکی در برخی از رشته‌های علمی به‌طور خلاصه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. کاربرد علم الکترونیکی در رشته‌های مختلف علمی

رشته علمی	پروژه	منبع
فیزیک	برخورددهندهٔ بزرگ هادرون (LHC)	(Riedel 2013)
شیمی	چرخهٔ دانش؛ Foldit	(David De Roure & Frey 2007) (Franzoni & Sauermann 2014)
ریاضی	پروژهٔ دانشمند (polymath)	(Franzoni & Sauermann 2014)
نجوم	پروژهٔ باغ کهکشان؛ LSST	(Franzoni & Sauermann 2014) (Borne & Eastman 2006)
علوم زیستی	تاورنا (Taverna)	(Franzoni & Sauermann 2014)
محیط زیست	سیستم نظارت جهانی جیوه (GMOS)	(Borne & Eastman 2006)
علوم دریایی	بستر مدیریت دانش اقیانوس (POKM)	(Cinnirella, D'Amore, Bencardino, Sprovieri, & Pirrone 2014)
علوم انسانی و هنر	پروژهٔ همکاری علوم انسانی، هنر، علوم و فناوری پیشرفته (AHeSSC)	(C. Yang, Raskin, Goodchild, & Gahegan 2010)

۳. روش پژوهش و مراحل انجام آن

این پژوهش از نظر نوع، تحلیلی است و با تکیه بر متون، انجام شده است. جامعهٔ مورد پژوهش شامل کلیه مقالات علمی محققان در زمینهٔ علم الکترونیکی و معماری علم الکترونیکی در عرصهٔ بین‌المللی است که در پایگاه‌های گوگل‌اسکالر، جستجوی آکادمیک مایکروسافت و الزویر و دیگر پایگاه‌های اطلاعات علمی معتبر مورد جستجو قرار گرفت. برای این منظور و برای آشنایی با علم الکترونیکی و مباحث مطرح در آن ابتدا مقالات کلیدی و اصلیِ موضوع، مورد بررسی قرار گرفت و ارکان اصلی آن به‌دست آمد. با مطالعهٔ دقیق‌تر ادبیات موضوع جای خالی

یک دید جامع نسبت به موضوع احساس شد. در ادامه برای نیل به هدف، مقالات با کلیدواژه‌های «علم الکترونیکی» و «معماری» در عنوان آنها جستجو گردید و در مجموع ۱۵ عنوان مقاله یافت شد. این مقالات به دقت مورد بررسی قرار گرفت و کلیهٔ ویژگی‌ها، اجزا و مؤلفه‌هایی که برای معماری علم الکترونیکی بیان شده بودند، استخراج گردید. سپس، این مؤلفه‌ها با توجه به ارکان اصلی علم الکترونیکی دسته‌بندی شد تا اجزا و مؤلفه‌های معماری پیشنهادی برای محیط علم الکترونیکی به‌دست آید.

همچنین، با توجه به مطالب بیان‌شده از سوی نویسندگان، ارتباط منطقی بین مؤلفه‌ها ایجاد گردید. در ادامه، برای نمایش عینی تر این ارتباطات یک موردکاوی مورد بررسی قرار گرفت. این موردکاوی در مقاله‌ای توسط «بوسین» و همکاران با توجه به معماری پیشنهادی آنها نیز بررسی شده بود. در این مقاله پس از تشریح معماری به کمک زبان مدل سازی یکپارچه[1] (UML) روابط آن نمایش داده شد (Bosin, Dessì, & Pes 2011). در پژوهش حاضر، این موردکاوی با در نظر گرفتن معماری پیشنهادی صورت گرفت و سپس در قالب زبان مدل سازی سیستم[2] نشان داده شد. دلیل اینکه چرا با وجود شباهت‌های SysML و UML از SysML استفاده شد، بیشتر به بحث نظری آن برمی‌گردد، به این علت که UML بیشتر در مهندسی نرم‌افزار مطرح است، حال آنکه SysML یک زبان مدل‌سازی برای مهندسی سیستم است که از ویژگی‌ها، تجزیه و تحلیل، طراحی، تأیید و اعتبار سیستم که شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار، اطلاعات، افراد، روش‌ها و امکانات است، پشتیبانی می کند (Ahmad et al. 2013). بنابراین، SysML با توجه به معماری پیشنهادی در این مقاله مناسب‌تر است.

٤. معماری سرویس‌گرا

اگر قرار باشد موجودیت یا سیستمی با جنبه‌های فراوان و پیچیدگی‌های زیاد طراحی شود، یک دید کامل و جامع نیاز است که در اصطلاح به آن «معماری» گفته می‌شود (صمدی اوانسر ۱۳۸۴، ۱۸).

معماری سرویس‌گرا، مفهومی برای طراحی و پیاده‌سازی خدمات به‌صورت تعامل‌پذیر، مبتنی بر استاندارد، قابل جست‌وجو و مستقل از بسترهای محاسباتی است (Erl 2008, 38). عناصر اصلی این معماری عبارت‌اند از:

- ◇ خدمت: معماری سرویس‌گرا مدلی ارائه می‌دهد که به‌صورتی منطقاً خودکار به واحدهای منطقی کوچک‌تر و مجزا افراز شده است. این واحدهای منطقی به‌عنوان خدمات شناخته

1. Unified Modeling Language (UML)
2. Systems Modeling Language (SysML)

می‌شوند (Erl 2005).

- توصیف: در معماری سرویس‌گرا، برای تعامل خدمات، رابطه بین خدمات مبتنی بر درکی است که آنها باید از یکدیگر داشته باشند. این آگاهی را باید از طریق استفاده از توصیف خدمات به‌دست آورد. توصیف خدمات، نام خدمات و داده‌های مورد انتظار و داده‌های بازگردانده‌شده را تعیین می‌کند (Erl 2005).
- پیام: ارتباط بین خدمات و دیگر مؤلفه‌ها و همچنین میان خود خدمات، از طریق ارسال و دریافت پیام‌ها صورت می‌پذیرد (Erl 2005; Chen et al. 2009).

معماری سرویس‌گرا تعامل بین ارائه‌دهندگان و مصرف‌کنندگان خدمات را تسهیل می‌کند. از مهم‌ترین ویژگی‌های معماری سرویس‌گرا می‌توان به مستقل‌بودن، توسعه‌پذیری و اتصال سُست اشاره نمود (Erl 2005).

۵. مروری بر ادبیات

در این بخش نظرات پژوهشگران دربارهٔ استفاده از معماری در محیط علم الکترونیکی بررسی می‌شود. «رور» و همکاران از اولین نویسندگانی بودند که به بحث معماری در محیط علم الکترونیکی توجه داشتند. آنها یک معماری سه‌لایه برای زیرساخت علم الکترونیکی پیشنهاد دادند که این لایه‌ها به لایهٔ بالایی یعنی همان محیط دانشمندان الکترونیکی خدمت ارائه می‌دهند. این معماری دربرگیرندهٔ خدمات دانش، خدمات اطلاعات و خدمات داده/ محاسبات است (Roure, Jennings, & Shadbolt 2001). در پژوهشی دیگر معماری با سه لایه و مبتنی بر خدمت ارائه شد. سرویس‌گیرنده در پایین، منابع پشتیبان در بالا و لایه‌های متعدد میانی به‌عنوان خدمات وب در وسط این معماری قرار دارند. قابلیت‌های اساسی سیستم توسط خدمات وب ارائه می‌شود. همچنین، ارتباط بین خدمات وب و منابع خارجی به‌وسیلهٔ پیام‌رسانی انجام می‌گیرد. از فراداده‌ها برای توصیف تمام مراحل فعالیت علمی استفاده می‌شود. از دیگر ویژگی‌های آن، شبکهٔ معنایی با رویکرد کشف دانش از منابع شبکه و همچنین، درگاه برای ارائهٔ رابط کاربر است. این معماری به‌صورت یک شبکهٔ نظیر به نظیر است که به‌طور محلی مدیریت شده و در یک سیستم جهانی قرار می‌گیرد (Fox et al. 2002).

نویسندگانی نیز معماری سلسله‌مراتبی مجازی پویا[1] را برای معماری توری[2] علم الکترونیکی معرفی کردند. VDHA معماری غیرمتمرکز، همتابه‌همتا، مقیاس‌پذیر و مستقل است و کشف کامل

1. Virtual and Dynamic Hierarchical Architecture (VDHA) 2. grid

و مؤثر خدمت را فراهم می‌کند. این معماری با ترکیب دو مدل خدمت‌دهنده/ خدمت‌گیرنده و نظیربه‌نظیر از مزایای آن دو استفاده کرده و از معایب آنها دوری جسته است (Lican, Zhaohui, & Yunhe 2003). معماری همکاری علم الکترونیکی[1] ادغامی از توری و زیرساخت‌های محاسبات نظیربه‌نظیر با استفاده از معماری سرویس‌گرا، برای حمایت از همکاری‌های علمیِ توزیع‌شده ارائه می‌دهد (Pham 2006).

در پژوهشی دیگر یک معماری بر اساس سیستم نظیربه‌نظیر برای تسهیل مدیریت داده‌های توزیع‌شده در مقیاس بزرگ بیان شده است. غیرمتمرکزبودن، افزایش استقلال، امنیت و بازیابی کارآمد اطلاعات از خصوصیات بارز این معماری است (Viglas 2006). اما بر خلاف نظرات نویسندگان قبلی، برخی حوزهٔ امنیت را نشانه رفته‌اند. زیرساخت، کلید مبتنی بر هویت برای توری[2] یک معماری سه سطحی بر اساس رمزنگاری مبتنی بر هویت[3] است. این معماری امنیتی مبتنی بر هویت، بدون گواهی و اندازهٔ کلید آن کوچک است (Crampton et al. 2006).

در پژوهشی دیگر معماری زیرساخت‌های علم الکترونیکی دانش‌بنیان[4] در چهار لایه: زیرساخت منابع شبکه، میان‌افزار اطلاعات، خدمات ارزش‌افزوده در حوزهٔ خاص، و رابط کاربری نشان داده شد (Niederée et al. 2007). پژوهشگران دیگر برای معماری علم الکترونیکی یک درگاه در نظر گرفتند که این درگاه دروازه‌ای برای ورود کاربر است. این درگاه دارای پنج مؤلفهٔ جستجو و کشف داده‌ها، امنیت، ذخیره‌سازی داده‌های خصوصی کاربر، ابزارهای طراحی و انجام آزمایش‌های محاسباتی و منشأ داده‌هاست. این مؤلفه‌ها از طریق گذرگاه اطلاع‌رسانی با یکدیگر ارتباط داشته و پیام ردوبدل می‌کنند (Gannon, Plale, & Reed 2007).

عده‌ای دیگر با درنظرگرفتن چالش سیل داده‌ها یک سیستم یکپارچهٔ علم الکترونیکی مرکزی[5] طراحی کردند. این معماری با توجه به سه فناوریِ نرم‌افزار به‌عنوان یک خدمت، شبکه‌های اجتماعی برای همکاری‌های به‌اشتراک‌گذاری به‌شیوه‌ای کنترل‌شده، و پردازش ابری برای ارائهٔ منابع محاسباتی مقیاس‌پذیر بیان شده است. اساس این معماری مبتنی بر چهار فعالیتی است که اهمیت ویژه‌ای برای دانشمندان دارد: (۱) ذخیره‌سازی داده‌های آزمایش‌ها، (۲) بررسی تعاملی و تجزیه و تحلیل داده‌ها، (۳) خودکارسازی تجزیه و تحلیل از یک روش تکراری، و (۴) به اشتراک‌گذاری داده‌ها و خدمات تجزیه و تحلیل با همکاران و سازمان‌ها (Watson, Hiden, & Woodman 2010).

1. Collaborative e-Science Architecture (CeSA)
2. identity-based key infrastructure for grid (IKIG)
3. identity-based cryptography (IBC)
4. Knowledge-based e-Science (KeSI)
5. e-Science Central

سیستم منشأ گردش کار علمی[1] برای جمع‌آوری و مدیریت منشأ داده‌ها در زمینهٔ آزمایش‌های علمی در محیط پژوهش‌های مشترک که از طریق شبیه‌سازی‌های کامپیوتری پردازش‌شده، طراحی شده است. این معماری قادر به ارائهٔ چارچوبی برای پرس‌وجوی منشأ فراداده‌های ایجادشده در سناریوی علم الکترونیکی است. علاوه بر این، معماری از فناوری وب معنایی به‌منظور پردازش پرس‌وجوی منشأ استفاده می‌کند (Gaspar, Braga, & Campos 2011).

اما در سال‌های اخیر با پیش‌کشیدن بحث سرویس‌گرایی، برخی نویسندگان بر این شدند که معماری علم الکترونیکی را با دید معماری سرویس‌گرا ببینند. ازجمله «باسین» و همکاران با در نظرگرفتن تعریف «جان تیلور» از علم الکترونیکی بیان می‌کنند که علم الکترونیکی هنوز در سطح ساختاری مانده است و مسائل فنی مانع از همکاری واقعی دانشمندان در محیط علم الکترونیکی شده است. مشکل عمده مربوط به مشکلات ارتباطات میان جوامع مختلف علمی است. بنابراین، نیاز به ارائهٔ قابلیت‌ها به‌شیوه‌ای ساده‌شده وجود دارد، به‌ویژه برای جوامعی که مهارت و تجهیزات فناوری اطلاعات آن‌ها در حد بالایی نیست. برای حمایت از دانشمندان الکترونیکی فراهم‌کردن یک محیط علم الکترونیکی که (علاوه بر زیرساخت) شامل خدمات سطح بالایی باشد تا استفاده آسان و به‌طور مستقیم را ممکن سازد، به‌طوری که زیرساخت‌های درحال‌تغییر در طی زمان را پنهان کند، ضروری است. به همین منظور، معماری سرویس‌گرا یک راه کاملاً جدید برای کاربردهای علم الکترونیکی باز می‌کند و همکاری در مقیاس بزرگ، دسترسی آسان به مجموعهٔ داده‌های بسیار بزرگ و استفاده از منابع محاسباتی و غیره را اجازه می‌دهد (Bosin et al. 2010).

برای نیل به این هدف باید قابلیت‌های اساسی یک محیط علم الکترونیکی را در نظر گرفت. این قابلیت‌ها عبارت‌اند از: تصدیق/ مجوز استفاده از منابع، ثبت/ نظارت/ کنترل کار، انتقال یک مجموعه داده به/ از منابع محاسباتی، انتشار مجموعه‌ای از داده‌ها با نام و ویژگی‌های مشخص جهانی[2] و مکان‌یابی یک مجموعه داده توسط نام جهانی یا توسط صفات مجموعه داده. بر همین اساس خدمات در معماری سرویس‌گرا به دو دستهٔ محلی و سراسری تقسیم می‌شود. خدمات سراسری شامل تخصیص منابع، پروکسی، مدیر ذخیره‌سازی و ناظر و خدمات محلی شامل مدیر منابع و مدیر امنیت است (Bosin, Dessì, & Pes 2011).

همان‌طور که مشاهده می‌شود، هر یک از نویسندگان، جنبه‌ای از علم الکترونیکی را در نظر گرفته و برای آن یک معماری تعریف نموده‌اند. جهت جمع‌بندی نهایی این بخش ویژگی‌ها و مؤلفه‌های اصلی معماری پیشنهادی هر یک از نویسندگان فوق در جدول ۲ خلاصه شده است.

1. Scientific Workflow Provenance System (SciProv) 2. global

بنابراین، با توجه به این موارد، در بخش بعد، یک معماری برای علم الکترونیکی پیشنهاد می‌شود که در آن سعی شده جوانب مختلف علم الکترونیکی در نظر گرفته شود و دید جامعی نسبت به موضوع حاصل آید.

جدول ۲. ویژگی‌ها و مؤلفه‌های معماری علم الکترونیکی

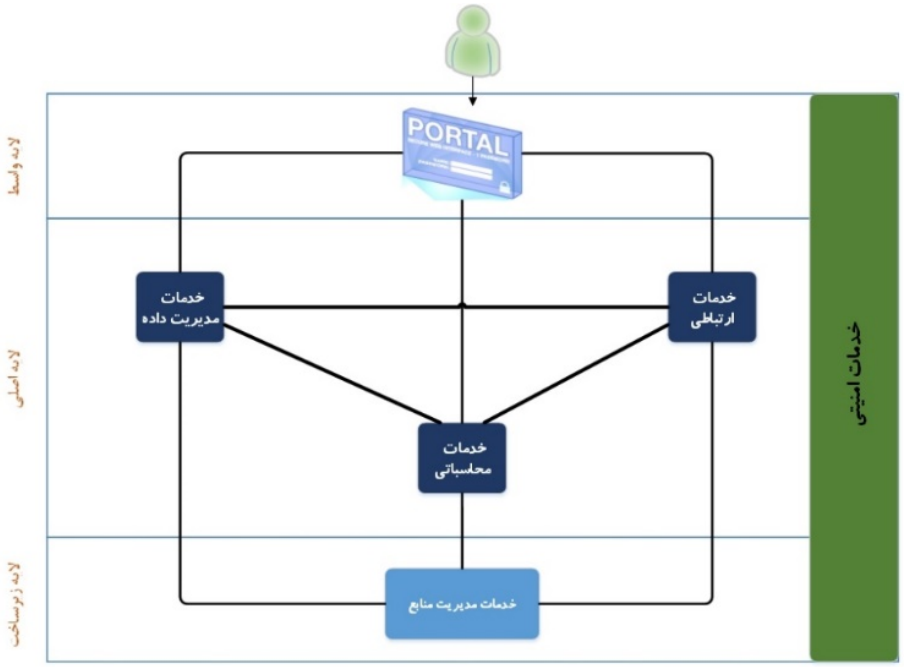
ویژگی‌ها و مؤلفه‌های معماری	نویسنده
خدمات دانش، خدمات اطلاعات و خدمات داده/ محاسبات	(Roure et al. 2001)
خدمات وب، ارتباط به‌وسیلهٔ پیام، استفاده از فرادادهها، شبکهٔ معنایی و درگاه، نظیربه‌نظیر	(Fox et al. 2002)
VDHA، غیرمتمرکز، نظیربه‌نظیر، مقیاس‌پذیر، مستقل، کشف کامل و مؤثر خدمت، تسهیل مدیریت دسترسی	(Lican et al. 2003)
نظیربه‌نظیر، معماری سرویس‌گرا، مکانیسم کشف منابع کارآمد	(Pham 2006)
تسهیل مدیریت دادههای توزیع‌شده در مقیاس بزرگ، غیرمتمرکز، مستقل، سه پروتکل ورود، پرس‌وجو و خروج، چهار ماژول مدیر شاخص، مدیر امنیت، فرمول‌کنندهٔ مجدد پرس‌وجو و مسیریاب پرس‌وجو	(Viglas 2006)
امنیت بر اساس رمزنگاری مبتنی بر هویت، بدون گواهی و دارای اندازهٔ کوچک کلید	(Crampton et al. 2006)
زیرساخت منابع شبکه، میان‌افزار اطلاعات، خدمات ارزش‌افزوده در حوزهٔ خاص و رابط کاربری	(Niederée et al. 2007)
درگاه دروازه‌ای برای ورود کاربر با پنج مؤلفه: جستجو و کشف داده‌ها، امنیت، ذخیره‌سازی داده‌های خصوصی کاربر، ابزارهای طراحی و انجام آزمایش‌های محاسباتی و منشأ داده‌ها، اطلاع‌رسانی با پیام	(Gannon et al. 2007)
مبتنی بر سه فناوری: نرم‌افزار به‌عنوان خدمت، شبکه‌های اجتماعی و پردازش ابری با هدف ذخیره‌سازی و تجزیه وتحلیل داده‌ها، خودکارسازی تجزیه و تحلیل، به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها و خدمات	(Watson et al. 2010)
منشأ داده‌ها، فرادادهها، وب معنایی	(Gaspar et al. 2011)
تصدیق/ مجوز استفاده از منابع، ثبت/ نظارت/ کنترل کار، انتقال مجموعه داده به/ از منابع محاسباتی، انتشار داده‌ها با نام جهانی، مکان‌یابی مجموعه داده، ذخیرهٔ پیشرفتهٔ منابع، سرویس‌گرا، پیام‌رسانی، خدمات سراسری تخصیص منابع، پروکسی، مدیر ذخیره‌سازی و ناظر و خدمات محلی مدیر منابع و مدیر امنیت	(Bosin et al. 2010; Bosin et al. 2011)

٦. معماری سرویس‌گرای علم الکترونیکی

همان‌طور که قبلاً بیان شد، همکاری دانشمندان و جوامع علمی ضروری است. با ارتباط و اتصال بین جوامع علمی و نیز دانشمندان، یک شبکهٔ بسیار بزرگ علمی پدید خواهد آمد. با درنظرگرفتن این مطلب، در معماری مورد نظر از روش نظیربه‌نظیر[1] استفاده می‌شود. هر گره این شبکه می‌تواند یک مرکز علمی، یک جامعهٔ تحقیقاتی و یا حتی یک دانشمند با کمترین امکانات علمی و پژوهشی باشد. از ویژگی شبکه‌های نظیربه‌نظیر، غیرمتمرکزبودن آنهاست. بر خلاف روش سرویس‌گیرنده/ سرویس‌دهنده، عدم تمرکز این مزیت را دارد که در صورتی که یکی از گره‌های شبکه در انجام وظیفهٔ خود دچار خطا شد، کل سیستم دچار مشکل نگردیده و گره دیگر جایگزین آن می‌شود.

تمرکز اصلی این پژوهش به معماری درونی هر یک از اعضای (گره‌های) شبکه است. معماری از سه جزء پردازشی، داده‌ای و اتصالی تشکیل شده است (Perry & Wolf 1992, 44). بر همین مبنا، همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، لایه‌های معماری دارای سه لایهٔ واسط، اصلی و زیرساخت است. از طرفی همان‌گونه که قبلاً نیز بیان شد، اساس علم الکترونیکی بر سه رکن داده، محاسبات و ارتباطات است. بنابراین، اجزای اصلی این معماری که در لایهٔ اصلی قرار دارند، عبارت‌اند از: خدمات داده‌ای، خدمات محاسباتی و خدمات ارتباطی. این نکته را هم باید توجه نمود که چون معماری از سطحی از انتزاع برخوردار است، نباید انتظار داشت که وارد جزییات شود.

1. peer to peer (P2P)



شکل ۲. نمای کلی معماری سرویس‌گرای علم الکترونیکی

لایهٔ واسط: این لایه دروازهٔ ورود به دنیای علم الکترونیکی است و یک واسط و میانجی بین عامل و دیگر اجزای سیستم است. هر چند در شکل ۲.، عامل، با نماد یک شخص به نمایش درآمده، اما منظور از آن شخص (کاربر) می‌تواند یک جامعهٔ علمی– پژوهشی، یک سیستم و یا ابزار علمی و یا حتی یک مؤلفهٔ درون خود معماری باشد. این لایه جزییات را از دید عامل، مخفی نگه می‌دارد. این وظایف را تنها مؤلفهٔ آن یعنی درگاه[1] به عهده دارد. درگاه با اجزای خدمات مدیریت داده، خدمات محاسباتی و خدمات ارتباطی لایهٔ اصلی به شکل دوطرفه و تعاملی ارتباط دارد. خدمات امنیتی در این لایه به احراز هویت و تصدیق عامل می‌پردازد. این کار بر اساس سیاست‌های امنیتی صورت می‌پذیرد.

۱. «درگاه» واژهٔ مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی برای واژهٔ portal است و به معنی وبگاهی است که به‌طور عمده راه ورود به پایگاه‌های دیگر را فراهم می‌سازد. http://www.persianacademy.ir/fa/word

لایهٔ اصلی: خدمات این لایه همان خدمات اساسی علم الکترونیکی یعنی خدمات داده‌ای، محاسباتی، و ارتباطی است. این مؤلفه‌ها با یکدیگر تعامل دارند. خدمات امنیتی در این لایه نیز اعمال می‌شود. شرح بیشتر آنها در قسمت بعد خواهد آمد.

لایهٔ زیرساخت: لایهٔ زیرساخت فراهم‌کنندهٔ زیرساخت‌ها و منابع لازم برای مؤلفه‌های لایهٔ اصلی است و تخصیص، آزادسازی، کشف، بهینه‌سازی، ذخیره، زمان‌بندی منابع و مواردی از این قبیل را انجام می‌دهد. خدمات امنیتی دسترسی و همچنین سطح دسترسی را بر اساس سیاست‌های خود تعیین می‌کند.

أ. مجموعهٔ خدمات مدیریت داده

مجموعهٔ خدمات مدیریت داده در اصل، مدیریت داده‌های علمی را بر عهده دارد و خدمات داده‌ای به عامل ارائه می‌دهد. اجزای این مجموعه به‌همراه روابط آنها را در شکل ۳ می‌توان دید. خدمات امنیتی در قسمت‌های مختلف استفاده می‌شود که برای ساده‌ترشدن شکل نشان داده نشده است. در ادامه، هر کدام از این مؤلفه‌ها تشریح می‌شوند.

۱. خدمات داده‌کاوی

این مؤلفه به داده‌کاوی و کشف دانش می‌پردازد. عامل، با ارسال پیام، درخواست خود را به همراه پارامترها، الگوریتم و موارد مورد نیاز دیگر مشخص می‌کند. اگر درخواست داده‌کاوی بر روی داده‌های محلی باشد، این مؤلفه داده‌های خود را از لایهٔ زیرساخت و یا از ورودی‌ها توسط مؤلفهٔ خدمات داده‌های کاربر تأمین می‌کند. همچنین، داده‌کاوی می‌تواند بر روی داده‌های سراسری و دیگر همتایان انجام گیرد که در این صورت، به‌وسیلهٔ خدمات اشتراک‌گذاری به این هدف می‌رسد. درخواست داده‌کاوی ممکن است از سوی دیگر همتایان نیز داده شود؛ به‌عبارتی، همتای دیگر، داده‌های خود را جهت انجام داده‌کاوی به این مؤلفه ارسال می‌کند و در اینجا خدمات امنیتی درخواست را به‌لحاظ احراز هویت و سطح دسترسی بررسی می‌نماید. سپس، داده‌ها برای پردازش و داده‌کاوی به خدمات محاسباتی فرستاده می‌شود. با اتمام پردازش‌ها، نتیجه به مؤلفهٔ داده‌کاوی بازمی‌گردد و مؤلفهٔ داده‌کاوی با توجه به درخواست‌کنندهٔ داده‌کاوی، جواب را برای آن می‌فرستد.

۲. خدمات منشأ داده‌ها و فراداده‌ها

منشأ داده‌ها تمام تغییراتی را که بر روی یک شیء و یا دادهٔ دیجیتالی، از ایجاد تا حالت دیجیتالی فعلی انجام شده است، نشان می‌دهد (Simmhan, Plale, & Gannon 2005). خدمات منشأ

داده هر گونه تغییری را که در داده‌های ذخیره‌شده و یا در حال استفاده ردیابی می‌کند. همچنین فراداده، داده‌هایی در مورد داده‌ها به‌دست می‌آورد.

هنگامی‌که داده‌ها برای ذخیره‌سازی به خدمات ذخیره و بازیابی ارسال می‌شود، این مؤلفه با نظارت بر آنها به ثبت منشأ و فراداده می‌پردازد. از آنجا که مؤلفهٔ خدمات داده‌های کاربر دارای داده‌های در حال استفاده است، تغییراتِ آن را کنترل می‌کند. از طرفی، اگر در حین انجام فعالیت‌های علمی، به منشأ و یا فراداده نیاز شود، این مؤلفه آن را تأمین می‌نماید. در تمام این مراحل، اگر منشأ/ فراداده در منابع محلی نباشد، این مؤلفه وظیفه دارد درخواست استفاده از منشأ/ فرادادهٔ دیگرهمتایان را به مؤلفهٔ خدمات اشتراک‌گذاری ارسال نماید. عکس این موضوع نیز صادق است.

۳. خدمات ذخیره و بازیابی

مؤلفهٔ ذخیره و بازیابی، داده‌های ارسال‌شده به آن را جهت ذخیره/ بازیابی‌شدن مدیریت می‌کند. داده‌های ورودی از خدمات داده‌های کاربر فرستاده می‌شود. این مؤلفه داده‌ها را به منابع ذخیره‌ساز می‌فرستد. اگر منابع لازم برای ذخیره‌سازی کافی نبود، با ارسال پیام به مؤلفهٔ خدمات اشتراک‌گذاری، منابع مورد نیاز را از دیگر همتایان درخواست می‌کند. در طرف دیگر، مؤلفهٔ ذخیره/ بازیابی همتا به درخواست پاسخ می‌دهد. این حالت، شبیه خدمات داده‌ای محاسبات ابری است. کار دیگر این مؤلفه بازیابی داده‌های مورد نظر است. عامل با ارسال پیام، درخواست خود را می‌دهد. مؤلفه، ابتدا در منابع محلی خود بررسی می‌کند و در صورت نبودِ آن، با ارسال پیام به خدمات اشتراک‌گذاری، اشتراک داده را از همتایان دیگر درخواست می‌کند. پس از بازیابی داده‌ها یا مستقیماً به عامل و یا جهت بررسی و تغییرات به مؤلفهٔ خدمات دادهٔ کاربر فرستاده می‌شود.

٤. خدمات داده‌های کاربر

مؤلفهٔ خدمات دادهٔ کاربر داده‌های ورودی عامل را دریافت می‌کند و آنها را نیز در قالب استاندارد XML[1] و یا هر فرمت لازم دیگر درمی‌آورد. منظور از داده‌ها، داده‌های حاصل از فعالیت‌های علمی دانشمندان است.

داده‌های ورودی عامل، اگر برای محاسبات لازم باشد به سمت خدمات محاسباتی ارسال می‌شود و اگر برای اشتراک‌گذاری باشد، به مؤلفهٔ خدمات اشتراک‌گذاری روانه می‌گردد.

1. eXtensible Markup Language (XML)

همان‌طور که در بخش‌های قبلی گفته شد، داده‌ها برای ذخیره و بازیابی، منشأ داده و فراداده و داده‌کاوی توسط مؤلفهٔ خدمات دادهٔ کاربر به مؤلفه‌های مربوطه فرستاده می‌شود.

۵. خدمات بازیابی اطلاعات

این مؤلفه، جستجو و استخراج اطلاعات و داده‌ها از انواع مختلف منابع اطلاعاتی را بر عهده دارد و کمک می‌کند که اطلاعات مورد نظر در بین انبوهی از اطلاعات بدون ساختار پیدا شود. این اطلاعات می‌تواند محلی و یا سراسری باشد که در این حالت مؤلفهٔ خدمات بازیابی اطلاعات با ارسال پیام از طریق خدمات ارتباطی به جستجو در منابع اشتراکی دیگر همتایان می‌پردازد. این پیام به مؤلفهٔ خدمات بازیابی اطلاعات همتا می‌رسد و آن هم با توجه به سیاست‌های خدمات امنیتی پاسخ می‌دهد. از آنجا که بازیابی اطلاعات نیاز به هوشمندی خاصی دارد، حالت اخیر همان علم جمعی[1] است؛ چرا که بهترین عامل هوشمند، انسان است. بنابراین، می‌تواند بهترین منبع برای استخراج دانش از داده‌های بدون ساختار باشد.

۶. خدمات اشتراک‌گذاری

هر یک از مؤلفه‌های خدمات مدیریت داده که خواستار استفاده از منابع به‌اشتراک‌گذاشته‌شده توسط دیگر همتایان باشد، با ارسال پیام به مؤلفهٔ خدمات اشتراک‌گذاری درخواست خود را بیان می‌کند. در ادامه، این مؤلفه، پیام را به خدمات ارتباطی تحویل می‌دهد تا از آنجا به همتای مربوطه ارسال گردد. پیام به خدمات ارتباطی همتا می‌رسد و از آنجا بنا بر نوع و محتوای پیام رسیده آن را به مؤلفهٔ مربوطهٔ خود تحویل می‌دهد تا در مسیری مشابه و در جهت عکس و مطابق با سیاست‌های خدمات امنیتی خود، پاسخ مناسب آن را بدهد.

ب. مجموعهٔ خدمات محاسباتی

مجموعهٔ خدمات مدیریت داده، جمع‌آوری، تأمین، نظارت و مدیریت داده‌ها را بر عهده دارد و این، در فعالیت‌های علمی کافی نیست. داده‌ها نیاز به پردازش دارند تا بدین‌وسیله در پژوهش‌های علمی کاربرد داشته باشند. اجزای مجموعهٔ خدمات محاسباتی به‌همراه ارتباطات بین آنها در شکل ۳ نشان داده شده است. در ادامه، به بررسی آنها پرداخته می‌شود.

---

۱. Crowd science: علم جمعی، گونه‌ای از علم الکترونیکی است که در آن نه‌تنها دانشمندان حرفه‌ای، بلکه افراد عادی نیز حضور دارند.

۱. خدمات تجزیه و تحلیل

این مؤلفه به‌کمک منابع محاسباتی به تجزیه و تحلیل داده‌های ارسال‌شده به آن می‌پردازد. داده‌ها از طریق مؤلفهٔ خدمات تبادل داده به آن فرستاده می‌شود. این داده ممکن است قبلاً ذخیره شده و یا اینکه در حال تولید است. در این حالت‌ها از خدمات مجموعهٔ خدمات مدیریت داده استفاده می‌شود. از طرفی ممکن است داده‌ها سراسری بوده و در اختیار همتایان دیگر باشد. در این حالت، مجموعهٔ خدمات ارتباطی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

همچنین، گردش کار لازم برای انجام تجزیه و تحلیل از مؤلفهٔ گردش کار به این مؤلفه ارسال می‌شود. گردش کار هم دارای حالات مختلفی مانند حالات داده‌هاست. در پیچیده‌ترین حالت ممکن است همتایی به همتای دیگر درخواست تجزیه و تحلیل بدهد که داده‌های آن در اختیار همتای سوم و گردش کار از آنِ همتای چهارم باشد.

از آنجا که برخی از فعالیت‌های علمی به‌صورت روتین بوده و به‌دفعات زیاد، نیاز به تکرار دارند، این مؤلفه با نظارت بر روند تجزیه و تحلیل به‌کمک مؤلفهٔ داده‌کاوی الگوی آن را استخراج می‌کند تا بدین‌وسیله خودکارسازی تجزیه و تحلیل صورت پذیرد. روال به‌دست‌آمده به مؤلفهٔ گردش کار فرستاده می‌شود تا در قالب گردش کار ذخیره و استفاده شود.

۲. خدمات شبیه‌سازی

نتایج حاصل از پژوهش‌های دانشمندان توسط شبیه‌سازی ارزیابی می‌شود. شبیه‌سازی با فراهم‌آوردن شرایطی شبیه به محیط واقعی سعی در نشان‌دادن نحوهٔ عملکرد، خطاهای احتمالی، نتایج مورد انتظار و ... دارد. عامل، با دادن پیام به خدمات شبیه‌سازی درخواست شبیه‌سازی را می‌دهد. سپس این مؤلفه، محاسبات خود را توسط منابع لایهٔ زیرساخت انجام می‌دهد و داده‌های لازم را از مؤلفهٔ خدمات تبادل داده دریافت می‌کند. با اتمام شبیه‌سازی، نتایج به‌دست‌آمده جهت ذخیره‌سازی به مجموعهٔ خدمات مدیریت داده، برای نمایش به کاربر به مجموعهٔ خدمات محاسباتی لایهٔ واسط یا خدمات داده‌های کاربر در مجموعهٔ خدمات مدیریت داده و برای ارائه به همتای درخواست‌کننده از طریق خدمات تبادل داده به مجموعهٔ خدمات ارتباطی ارسال می‌شود. سناریویی که در بخش قبل برای خدمات تجزیه و تحلیل بیان شد، در اینجا نیز قابل تعریف است.

٤. خدمات تبادل داده

انجام محاسبات و پردازش، نیاز به داده دارد. بنابراین، هرگاه هر یک از اجزای مجموعهٔ خدمات محاسباتی نیاز به داده پیدا نمود، این مؤلفه آن را تأمین می‌کند؛ خواه این داده در منابع محلی باشد (مجموعهٔ خدمات مدیریت داده)، خواه سراسری (مجموعهٔ خدمات ارتباطی). همچنین، درخواست همتایان دیگر برای محاسبات را با توجه به خدمات امنیتی پاسخ می‌دهد.

۵. خدمات گردش کار

سیستم‌های گردش کار علمی تبدیل به یک ابزار ضروری برای بسیاری از برنامه‌های کاربردی شده است که امکان ترکیب و اجرای تجزیه و تحلیل جامع برای منابع توزیع‌شده را فراهم می‌کند (Deelman et al. 2009). هدف از سیستم‌های گردش کار علم الکترونیکی ارائهٔ یک محیط تخصصی برای ساده‌سازی تلاش‌های مورد نیاز توسط دانشمندان برای هماهنگی محاسبات آزمایش‌های علمی است (Taylor et al. 2007).

این مؤلفه امکانی را فراهم می‌آورد که عامل از ابتدا یا با تغییر گردشِ کارِ قبلاً طراحی‌شده، گردش کار را ایجاد کند و یا گردش کار را از قسمت خودکارسازی مؤلفهٔ خدمات تجزیه و تحلیل به دست آورد. همچنین، می‌توان به‌وسیلهٔ مجموعهٔ خدمات ارتباطی از گردش کار ایجادشده توسط دیگر همتایان استفاده نمود. پس از آنکه گردش کار تعریف شد، همه، یا بخشی از گردش کار می‌تواند برای نگاشت و سپس اجرا به منابع محاسباتی و موتور گردش کار ارسال شود. پس از اجرای گردش کار، داده‌ها، فراداده‌ها و منشأ داده‌های مرتبط برای ثبت و ذخیره‌شدن به‌واسطهٔ مؤلفهٔ خدمات تبادل داده به مجموعهٔ خدمات مدیریت داده فرستاده می‌شود تا به مؤلفهٔ مربوطه داده شود. این کار از آن جهت صورت می‌گیرد که بعدها بتواند برای طراحی یک گردش کار جدید مورد استفاده قرار گیرد.

ج. مجموعهٔ خدمات ارتباطی

ارتباطات از اصلی‌ترین ویژگی‌های محیط علم الکترونیکی است. مجموعهٔ خدمات ارتباطی، ارتباط بین همتایان را ممکن می‌سازد و تبادل پیام بین آنها را مدیریت می‌کند. اجزای آن به‌همراه روابط بین آنها در شکل ۳ به نمایش گذاشته شده است.

۱. خدمات همتا

هرگاه یک همتا بخواهد وارد شبکه شود، حضور خود را با ارسال پیام توسط این مؤلفه به دیگر همتایان فعال در شبکه اعلام می‌دارد. این پیام توسط مؤلفهٔ خدمات همتا به اطلاع دیگر همتایان رسیده و اعضا از ورود همتای جدید به شبکه مطلع می‌شوند. همچنین، یک شناسهٔ یکتا همراه سیاست‌های اشتراک‌گذاری منابع و داده‌ها، در درون همان پیامِ اعلام ورود در اختیار همتایان شبکه قرار می‌گیرد.

وقتی همتایی بخواهد شبکه را ترک کند، این مؤلفه خروج آن را از شبکه با ارسال پیام خروج به اعضای شبکه اطلاع می‌دهد. اگر مؤلفه‌ای بخواهد با مؤلفه‌ای از همتای دیگر ارتباط داشته باشد، مؤلفهٔ خدمات همتا، همتای مورد نظر را پیدا کرده و مقدمات لازم برای برقراری ارتباط را فراهم می‌آورد. پس از برقراری ارتباط، پیام‌ها از طریق مؤلفهٔ خدمات پیام رد و بدل

می‌شود. از دیگر وظایف این مؤلفه آگاهی از وجود دیگر همتایان، شناخت و خدمات ارائه‌شده توسط آنهاست.

۲. خدمات کشف/ اشتراک سرویس

هرگاه هر یک از مؤلفه‌ها به خدمات ارائه‌شده از سوی دیگر همتایان و اعضای شبکه نیاز داشته باشد، درخواست خود را به خدمات کشف/ اشتراک سرویس ارائه می‌دهد. این مؤلفه فهرست همتایان فعال در شبکه و خدماتی را که ارائه می‌دهند، از مؤلفهٔ خدمات همتا دریافت می‌کند. سپس از فهرست دریافتی، همتا یا همتایان مناسب را انتخاب کرده و سعی در برقراری ارتباط با آنها می‌کند. پیام ارسالی به خدمات کشف/ اشتراک سرویس همتای مورد نظر می‌رسد و آن مؤلفه درخواست را از لحاظ احراز هویت، سطح دسترسی، میزان توانایی خود برای پاسخ‌گویی به آن درخواست در آن لحظه، اولویت و ... بررسی می‌کند. پس از آن، پاسخ مناسب را برگشت می‌دهد. نتیجهٔ این مراحل، ایجاد یک نشست[1] بین دو یا چند همتاست. پس از این مرحله، ادامهٔ تبادل پیام و ارتباط بر عهدهٔ خدمات پیام گذاشته می‌شود.

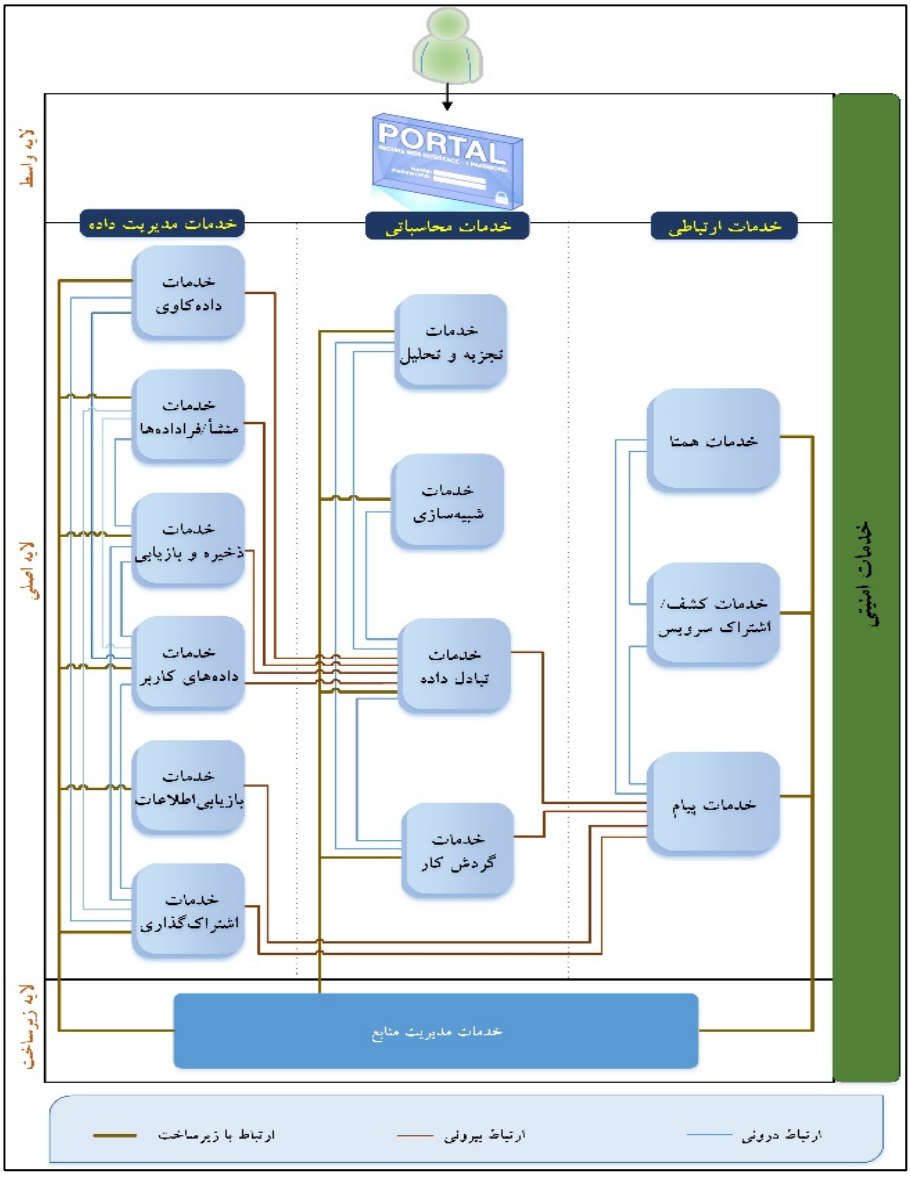
۳. خدمات پیام

مؤلفهٔ خدمات پیام، دروازهٔ ورود و خروج پیام‌های بین همتایان است. بعد از آنکه ارتباط بین همتایان توسط مؤلفهٔ خدمات همتا و یا خدمات کشف/اشتراک سرویس برقرار شد، این مؤلفه مدیریت تبادل پیام را بر عهده می‌گیرد. این مؤلفه، پیام‌های دریافتی از دیگر همتایان را به سمت مؤلفهٔ مورد نظر در مؤلفهٔ مجموعهٔ خدمات مدیریت داده و یا مؤلفهٔ مجموعه خدمات محاسباتی ارسال می‌کند. همچنین، در مسیر مشابه پیام‌های مؤلفه‌های درونی را به مؤلفهٔ خدمات پیام همتا می‌فرستد.

نمای جامع معماری

در این بخش برای جمع‌بندی، نمای جامعی از معماری پیشنهادی به‌همراه جزییات تشریح‌شده در قسمت‌های قبل، در شکل ۳ ترسیم شده است. در این شکل، ارتباط بین مؤلفه‌ها و نحوهٔ تعامل آنها با یکدیگر به نمایش درآمده است.

1. session



شکل ۳. نمای جامع معماری سرویس‌گرای علم الکترونیکی

۷. موردکاوی

برای آنکه چگونگی تعامل اجزای معماری با یکدیگر به‌صورت عملی بیان شود، در این بخش به یک موردکاوی در زمینهٔ زیست‌داده‌ورزی[۱] پرداخته می‌شود. تمرکز اصلی زیست‌داده‌ورزی بر روی پردازش داده‌های ریزآرایه[۲] است، چرا که آنها در برنامه‌های یادگیری ماشین برای زیست‌شناسی مولکولی به‌طور فزاینده رایج هستند. بر همین اساس، «باسین» و همکاران پردازش داده‌های ریزآرایه را با معماری خود بیان نمودند، اما در آنجا فقط خدمات استخراج داده، داده‌کاوی و مصورسازی ذکر شد (Bosin et al. 2011, 28). بنابراین، در این مقاله با استفاده از معماری پیشنهادی که در بخش قبل بیان شد، خدماتی که برای این موردکاوی لازم است، توسعه داده شد و خدماتی چون گردش کار، اشتراک‌گذاری و ... بدان افزوده گردید که در ادامه شرح داده می‌شود.

پیش‌زمینهٔ فناوری ریزآرایه

در سال‌های اخیر فناوری ریزآرایه امکان نظارت بر بیان ژن[۳] را به‌صورت هم‌زمان فراهم کرده است. فن ریزآرایه برای پروفایل هم‌زمان بیان هزاران ژن در بازهٔ وسیعی از تحلیل‌های ژنومیک، نظیر شناسایی ژن‌ها و اکتشاف داروها به‌صورت موفقیت‌آمیزی مورداستفاده قرار گرفته است[۴] (Beltrame et al. 2007, 382). الگوی بیان ژن، ساختار و عملکرد یک سلول یا یک بافت را مشخص می‌نماید و می‌تواند تغییرات لحظه‌ای و نیز پایدار در حالت بیولوژیک سلول‌ها را منعکس کند (Sandvik et al. 2006, 157).

آزمایش‌هایی که بر اساس فناوری ریزآرایه انجام می‌شوند، حجم بسیار زیادی از داده‌ها را فراهم می‌کنند (Beltrame et al. 2007, 382). داده‌ها، معمولاً ماتریس‌های N × M هستند که در آن N تعداد ژن (معمولاً N>10000) است و M تعداد نمونه (M <100) است (Bosin et al. 2011, 27). همچنین، به‌منظور ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل داده‌های ریزآرایه، مقادیر زیادی از داده‌ها

---

۱. زیست‌داده‌ورزی از واژه‌های مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی برای واژهٔ bioinformatics در انگلیسی است و به‌عنوان دانشی که در آن زیست‌شناسی و رایانه و فناوری اطلاعات در هم می‌آمیزند، معرفی می‌شود.

2. micro-array 3. gene expression

۴. به‌عبارت ساده‌تر، ریزآرایه عبارت است از فناوری بررسی فعالیت ژن‌ها در یک سطح کوچک جهت مقایسهٔ مشابهت‌ها و یا بررسی تغییر، کاهش، افزایش و یا عدم تغییر در ساختار و فعالیت ژن‌های نمونه با نمونه‌های شاهد. مطالعهٔ یک ژن به‌طور جداگانه کمک بسیاری به حل مشکل نمی‌کند، زیرا فرایندهای زیستی بسیار پیچیده هستند و گاهی ده‌ها و صدها ژن در بروز یک فعالیت نقش دارند. بنابراین، از ریزآرایه بدین‌منظور استفاده می‌شود.

باید نگهداری شده و به‌روشی مناسب در دسترس قرار گیرند (Beltrame et al. 2007, 383). بنابراین، حجم زیادی از اطلاعات تولیدشده توسط آزمایش‌ها نیاز به تجزیه و تحلیل محاسباتی دقیق دارد. تجزیه و تحلیل داده‌های بیان ژن شامل مراحل زیر است (Bosin et al. 2011, 27):

مراحل پیش‌پردازش به موارد زیر تقسیم می‌شود: مقیاس‌گذاری یا رتبه‌بندی ویژگی (با توجه به قدرت پیش‌بینی آنها)، استخراج ویژگی‌های برتر (تعریف یک آستانه)، فیلترکردن مجموعه داده (نگه‌داشتن ویژگی‌های فقط انتخاب‌شده)

مراحل پردازش شامل این موارد هستند: (۱) مدل‌سازی: ایجاد یک مدل طبقه‌بندی برای مجموعه داده‌ها با استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی، (۲) اعتبارسنجی/پالایش مدل: تنظیم پارامترهای مدل به‌منظور به‌دست‌آوردن بهترین عملکرد آن، و (۳) آزمایش مدل: ارزیابی عملکرد مدل بر روی یک مجموعه داده مستقل.

در نهایت، در طبقه‌بندی کاربردی، به‌منظور ایجاد یک پیش‌بینی از هر نمونهٔ جدید از کلاس (برچسب)، مدل طبقه‌بندی‌شده به مجموعه‌ای از داده‌های بدون برچسب اعمال می‌شود.

طبقه‌بندی ریزآرایه با استفاده از معماری سرویس‌گرای علم الکترونیکی

برای اجرای مراحل پردازش طبقه‌بندی ریزآرایه (مدل‌سازی، اعتبارسنجی/پالایش مدل، آزمایش مدل) که در بخش قبل بیان شد، خدمات زیر با توجه به معماری سرویس‌گرای پیشنهادی باید ارائه شود:

- ◇ خدمات داده‌کاوی: تعیین الگوی طبقه‌بندی داده‌های ریزآرایه؛
- ◇ خدمات منشأ داده و فراداده: ردیابی تغییرات داده‌ها؛
- ◇ خدمات ذخیره و بازیابی: ذخیره و بازیابی داده‌های ریزآرایه؛
- ◇ خدمات داده کاربر: دریافت داده‌ها از ورودی و همچنین مصورسازی و نمایش نتایج؛
- ◇ خدمات اشتراک‌گذاری: تقاضای داده‌های ریزآرایه از همتا؛
- ◇ خدمات تبادل داده: تأمین داده‌ها برای خدمات تجزیه و تحلیل؛
- ◇ خدمات تجزیه و تحلیل: اجرا و محاسبات طبقه‌بندی؛
- ◇ خدمات گردش کار: ایجاد یا ارائهٔ گردش کار برای تکرار آزمایش‌ها؛
- ◇ خدمات پیام: ارتباط با همتا و تبادل داده با آنها؛
- ◇ خدمات کشف و اشتراک سرویس: پیداکردن همکار مناسب.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، همهٔ خدمات بیان‌شده در معماری برای موردکاوی استفاده نشده است. دلیل آن هم این است که معماری، حالت کلی را نشان می‌دهد و ممکن است بسته به زمینهٔ مورد کاربرد، برخی از اجزای آن در برخی از موارد استفاده نشود.

حال، با توجه به موارد فوق، طبقه‌بندی داده‌های ریزآرایه با استفاده از معماری سرویس‌گرای علم الکترونیکی بدین‌صورت انجام می‌شود که پس از آنکه عامل، به‌واسطهٔ خدمات امنیتی احراز هویت شد و سطح دسترسی آن مشخص گردید، داده‌های ریزآرایه را به‌کمک مؤلفهٔ خدمات داده‌های کاربر وارد سیستم می‌نماید. در ادامه، مراحل زیر دنبال می‌شود (شکل ۴):

- ◇ داده‌های ریزآرایه از ورودی دریافت و جهت ذخیره شدن آن‌ها، به خدمات ذخیره/بازیابی ارسال می‌شود (۱)؛
- ◇ همان داده‌ها برای انجام تجزیه‌وتحلیل به خدمات تبادل داده ارسال می‌گردد (۲)؛
- ◇ خدمات تبادل داده، داده‌های دریافتی را به خدمات تجزیه‌وتحلیل می‌فرستد (۳)؛
- ◇ با شروع تجزیه‌وتحلیل، ناظر مؤلفه گردش کار را درخواست می‌کند (۴)؛ و در جواب ناظر ارسال می‌شود (۴,۱)؛
- ◇ جهت ردیابی تغییرات داده‌ها از خدمات منشأ/فراداده نیز درخواست ناظر می‌شود (۵) و ناظر ارسال می‌شود (۵,۱)؛
- ◇ با اتمام تجزیه‌وتحلیل، خدمات منشأ/فراداده، پس از دریافت منشأ/فراداده از ناظر خود (۶)، آن‌ها را ذخیره می‌کند (۶,۱)؛
- ◇ همچنین ناظر گردش کار، روند اجرای تجزیه‌وتحلیل (۷) را جهت کشف الگو به خدمات داده‌کاوی ارسال می‌کند (۷,۱). الگوی کشف‌شده (۷,۲) در قالب یک گردش کار جدید از طریق خدمات تبادل داده (۷,۳) ذخیره می‌شود (۷,۴)؛
- ◇ مدل ایجادشده به‌واسطه خدمات تبادل داده (۸) برای نمایش به خدمات داده کاربر ارسال می‌شود (۸,۱). این مؤلفه مدل را در قالب مناسب مانند نمودارهای گرافیکی مصورسازی نموده و نمایش می‌دهد (۸,۲). همچنین مدل جهت ذخیره شدن به خدمات ذخیره و بازیابی ارسال می‌گردد (۸,۳)؛
- ◇ برای اعتبارسنجی و پالایش مدل، خدمات تجزیه‌وتحلیل پارامترهای مختلف را از ورودی دریافت کرده (۹ و ۹,۱ و ۹,۲) و نتیجه را بازمی‌گرداند (۹,۳ و ۹,۴ و ۹,۵). با تکرار این روند سعی در به دست آوردن بهترین عملکرد برای مدل می‌شود؛
- ◇ برای آزمایش مدل، مدل توسط مؤلفه خدمات داده کاربر به مؤلفه خدمات گردش کار فرستاده می‌شود (۱۰ و ۱۰,۱ و ۱۰,۲). این مؤلفه گردش کاری که به هنگام ساخت مدل ایجاد

شد فراخوانی می‌کند (۱۰,۳ تا ۱۰,۶) و سپس با تکرار همین مسیر (۱۰,۳ تا ۱۰,۶) توسط داده‌هایی غیر از داده‌هایی که برای ساخت مدل استفاده شد، مدل را آزمایش می‌کند. این روند بارها و بارها تکرار می‌شود (حلقه) و در هر بار مدل را با داده‌های جدید آزمایش می‌کند. نتیجه حاصل به مؤلفه خدمات داده کاربر برمی‌گردد (۱۰,۷ تا ۱۰,۹)؛

- ◇ برای به اشتراک‌گذاری نتایج مدل‌سازی، مدل از خدمات داده کاربر به خدمات اشتراک‌گذاری فرستاده می‌شود (۱۱,۱) و سپس مؤلفه خدمات پیام، مدل را از خدمات اشتراک‌گذاری دریافت می‌کند (۱۱,۲) و جهت ارتباط با همتا از مؤلفه خدمات اشتراک و کشف سرویس درخواست ایجاد یک نشست می‌کند (۱۱,۳). مؤلفه خدمات اشتراک و کشف سرویس، با نظیر خود در گره دیگر ارتباط برقرار کرده و مقدمات لازم برای تبادل اطلاعات و ایجاد یک نشست را فراهم می‌آورد و آن را به خدمات پیام اطلاع می‌دهد (۱۱,۴).
- ◇ پس از ایجاد نشست، مؤلفه خدمات پیام مدل را با دیگر همتایان به اشتراک می‌گذارد. پس از پایان اشتراک‌گذاری نتیجه حاصل برگردانده می‌شود (۱۲,۱ تا ۱۲,۴).»

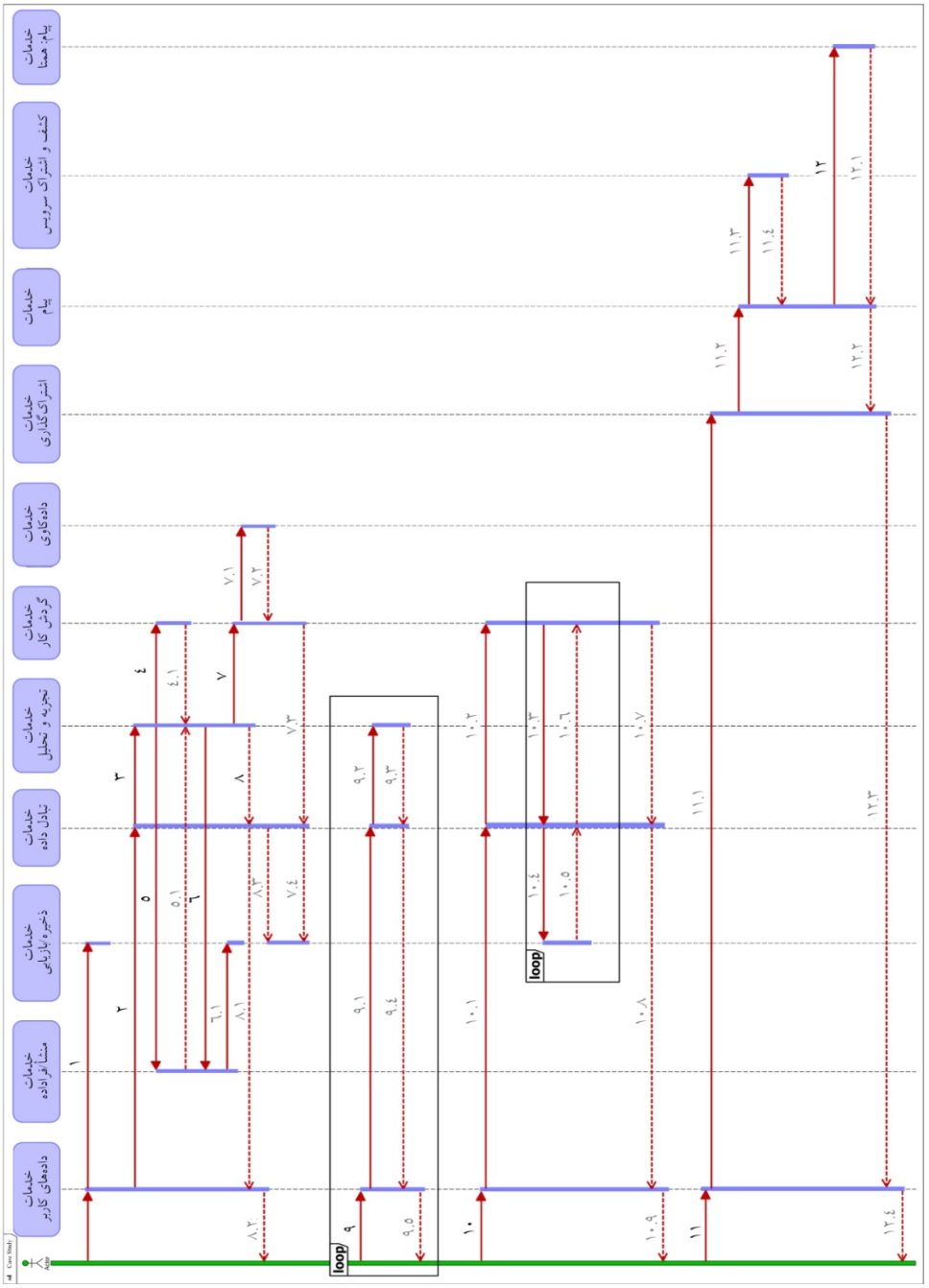
حال با استفاده از نمودار توالی[1] زبان مدل‌سازی سیستم مراحل فوق ترسیم می‌شود. SysML زبان مدل‌سازی برای برنامه‌های مهندسی سیستم‌هاست. از این زبان برای تجزیه و تحلیل، طراحی، تأیید و اعتبارسنجی سیستم‌ها استفاده می‌شود و شامل یک ساختار گرافیکی برای نشان‌دادن ارتباط بین عناصر مدل است (Ahmad et al. 2013) بنابراین، این نمودار که در شکل ۴ نشان داده شده، نحوهٔ تعامل اجزای معماری در موردکاوی مورد بحث را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در ابتدای این بخش بیان شد، این موردکاوی توسط «باسین» و همکاران بر اساس معماری پیشنهادی خود نیز بررسی شده بود (Bosin et al. 2011)، اما از آنجا که در این مقاله سعی گردید معماری پیشنهادی جوانب مختلف محیط علم الکترونیکی را مد نظر داشته باشد، خدمات لازم دیگری به آن افزوده شد. برای درک بهتر تفاوت بین این دو، خدماتی را که هر یک برای این موردکاوی ذکر نموده‌اند، در جدول ۳ مقایسه کرده‌ایم.

1. sequence diagram

جدول ۳. مقایسهٔ خدمات ارائه‌شده توسط دو معماری

معماری پیشنهادی در این مقاله	معماری پیشنهادی (Bosin et al. 2011)
خدمات داده‌کاوی	خدمات داده‌کاوی
خدمات منشأ داده و فراداده	–
خدمات ذخیره و بازیابی	خدمات استخراج داده‌ها
خدمات داده کاربر (دریافت ورودی و مصورسازی)	خدمات مصورسازی
خدمات اشتراک‌گذاری	–
خدمات تبادل داده	–
خدمات تجزیه و تحلیل	خدمات داده‌کاوی
خدمات گردش کار	–
خدمات پیام	–
خدمات کشف و اشتراک سرویس	–
خدمات داده کاربر	خدمات احراز هویت



شکل ٤. تعامل بین مؤلفه‌های معماری- نمودار توالی SysML برای موردکاوی

۸. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله، موضوع علم الکترونیکی مورد بحث قرار گرفت. پس از تعریف، نمونه‌هایی از کاربرد آن در رشته‌های علمی مختلف عنوان شد. از آنجا که موضوع علم الکترونیکی، به‌خصوص در ایران موضوعی نوپاست، نیاز به داشتن دید جامع به آن حس گردید. با بررسی ادبیات موضوع در زمینهٔ معماری علم الکترونیکی معلوم شد که توجه زیادی به آن نشده و آن دسته از مقالات که به این موضوع پرداخته‌اند، تنها یک یا چند بُعد از علم الکترونیکی را پوشش داده‌اند.

بنابراین، طراحی یک معماری جامع که ابعاد گوناگون آن را در برگیرد، هدف این مقاله قرار گرفت. به‌همین منظور، پس از بیان معماری، رویکرد سرویس‌گرا برای آن انتخاب شد. بر همین اساس، معماری پیشنهادی در سه لایه طراحی گردید که عبارت‌اند از: لایهٔ واسط، لایهٔ اصلی و لایهٔ زیرساخت. تمرکز اصلی مقاله بر روی لایهٔ اصلی بود. مؤلفه‌های لایهٔ اصلی با توجه به پایه‌های اصلی علم الکترونیکی یعنی داده، محاسبات و ارتباطات در نظر گرفته شد. سپس، با بررسی ادبیات موضوع، اجزای هر یک از مؤلفه‌های لایهٔ اصلی به دست آمد. در ادامه، این اجزا و مؤلفه‌ها با روابط منطقی به یکدیگر متصل شدند تا یک کل منسجم را شکل دهند. این معماری سبب می‌شود که گامی در جهت جهش تولید و انتشار علم و دانش برداشته شود و مسیر آن را نسبت به گذشته هموارتر گرداند.

در نهایت، برای آنکه نحوهٔ تعامل اجزای معماری بیان شود و درک روشن‌تری از عملکرد آن به دست آید، یک موردکاوی طبقه‌بندی ریزآرایه در زمینهٔ زیست‌داده‌ورزی مورد بررسی قرار گرفت و به‌کمک نمودار توالی SysML نشان داده شد.

نتیجهٔ حاصل از معماری علم الکترونیکی ایجاد یک بستر مناسب برای تولید علم و دانش با توجه به امکانات و فناوری‌های علم الکترونیکی است. این مهم توسط مجموعهٔ خدمات داده‌ای و مجموعهٔ خدمات محاسباتی به دست می‌آید. همچنین، مجموعهٔ خدمات ارتباطی امکان انتشار و به‌اشتراک‌گذاری دستاوردهای علمی و پژوهشی را برای جامعهٔ علمی محقق می‌سازد.

معماری حاضر سعی بر آن داشت که با درنظرگرفتن ابعاد مختلف محیط علم الکترونیکی که هر یک از نویسندگان به یک یا چند مورد آن اشاره داشته‌اند، جامعیت قابل قبولی ارائه دهد تا بدین‌وسیله از مزایای معماری پیشنهادی آنها استفاده کرده و از معایب آنها اجتناب شود. این پژوهش سرآغازی برای ورود به بحث علم الکترونیکی در بین جامعهٔ علمی و پژوهشی ایران بود که ضمن معرفی، ارکان و مؤلفه‌های آن نیز بیان گردید. از آنجا که تولید و همچنین انتشار علم و دانش برای پیشرفت و توسعهٔ جامعه ضروری است، ایجاب می‌کند که هر یک از مراکز علمی و پژوهشی با درنظرگرفتن امکانات فناوری اطلاعات و ارتباطات به بحث علم الکترونیکی وارد شده

و به آن بپردازند. این مراکز علمی و پژوهشی می‌توانند با توجه به معماری پیشنهادی، نظام تولید و همچنین، انتشار علم و دانش را بر پایهٔ آن بنا نمایند و بسته به حوزه و نوع فعالیت علمی و نیاز خود، هر یک از مؤلفه‌های معماری را در نظر بگیرند.

این معماری یک چارچوب و راهنمای عملی برای مراکز علمی و پژوهشی و دانشمندان جهت پیشروی به سمت محیط علم الکترونیکی خواهد بود که در نهایت، منجر به تولید و تسهیم بیشتر، سریع‌تر و راحت‌تر علم و دانش می‌شود.

از آنجا که این معماری و اجزای آن به‌صورت کلی بیان شده، در هر مورد کاربردی ممکن است برخی از مؤلفه‌های آن استفاده شده و برخی دیگر استفاده نشود. بنابراین، به‌عنوان پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی می‌توان این معماری را متناسب با هر یک از موارد کاربرد آن بازطراحی نمود. همچنین، به‌عنوان موردی دیگر برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد زیرساخت‌ها و فناوری‌های لازم برای پیاده‌سازی عملی آن در کشور مورد پژوهش واقع شود.

فهرست منابع

صمدی‌اوانسر، عسگر. ۱۳۸۴. *مقدمه‌ای بر معماری سازمانی (ویژه مدیران)*، تهران: دبیرخانه شورای عالی اطلاع‌رسانی.

Ahmad, M., J. Araujo, N. Belloir, J.-M. Bruel, C. Gnaho, R. Laleau, and F. Semmak. 2013. Self-adaptive systems requirements modelling: Four related approaches comparison. *3rd International Workshop on Comparing Requirements Modeling Approaches (CMA@RE)*. IEEE.

Beltrame, F., A. Papadimitropoulos, I. Porro, S. Scaglione, A. Schenone, L. Torterolo, and F. Viti. 2007. GEMMA — A Grid environment for microarray management and analysis in bone marrow stem cells experiments. *Future Generation Computer Systems* 23 (3): 382–390.

Borne, K. D., and T. Eastman. 2006. Collaborative knowledge-sharing for e-science. In *the proceedings of the AAAI conference on Semantic Web for Collaborative Knowledge Acquisition*.

Bosin, A., N. Dessi, M. Bairappan, and B. Pes. 2010. Will SOA accommodate the next step of e-science? In *10th Annual International Conference on New Technologies of Distributed Systems (NOTERE)* (pp. 303–308). IEEE.

___, and B. Pes. 2011. Extending the SOA paradigm to e-Science environments. *Future Generation Computer Systems* 27 (1): 20–31.

Cañas, A., R. Carff, G. Hill, M. Carvalho, M. Arguedas, T. Eskridge, … and R. Carvajal. 2005. Concept Maps: Integrating Knowledge and Information Visualization. In S.-O. Tergan and T. Keller (Eds.), *Knowledge and Information Visualization SE* - 11 (3426): 205–219.

Chen, H., Y. Wang, and K.-H. Cheung. 2010. *Semantic E-science* (Vol. 11). Berlin: Springer.

___, N., L. Di, G. Yu, and M. Min. 2009. A flexible geospatial sensor observation service for diverse sensor data based on Web service. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64 (2): 234–242.

Cinnirella, S., F. D'Amore, M. Bencardino, F. Sprovieri, and N. Pirrone. 2014. The GMOS cyber(e)-infrastructure: advanced services for supporting science and policy. *Environmental Science and Pollution Research International* 21(6): 4193–208.

Crampton, J., H. W. Lim, K. G. Paterson, and G. Price. 2006. Alternative Security Architectures for e-Science. In *Fifth All Hands Meeting*. Nottingham.

Deelman, E., D. Gannon, M. Shields, and I. Taylor. 2009. Workflows and e-Science: An overview of workflow system features and capabilities. *Future Generation Computer Systems* 25 (5): 528–540.

Erl, T. 2005. *Service-Oriented Architecture: Concepts, Technology, and Design*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR.

Erl, T. 2008. *Soa: principles of service design* (Vol. 1, 608). Upper Saddle River,NJ, USA: Prentice Hall.

Fox, G., H. Bulut, K. Kim, S.-H. Ko, S. Lee, S. Oh, …and others. 2002. An Architecture for e-Science and its Implications. In *Proceedings of the 2002 International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunications Systems, edited by Mohammed S. Obaidat, Franco Davoli, Ibrahim Onyuksel and Raffaele Bolla, Society for Modeling and Simulation International* (pp. 14–24).

Franzoni, C., and H. Sauermann. 2014. Crowd science: The organization of scientific research in open collaborative projects. *Research Policy* 43 (1): 1–20.

Gannon, D., B. Plale, and D. Reed. 2007. Service Architectures for e-Science Grid Gateways: Opportunities and Challenges. In R. Meersman and Z. Tari (Eds.), *On the Move to Meaningful Internet Systems 2007: CoopIS, DOA, ODBASE, GADA, and IS SE - 2* (Vol. 4804, pp. 1179–1185). Berlin Heidelberg: Springer.

Gaspar, W., R. Braga, and F. Campos. 2011. SciProv: an architecture for semantic query in provenance metadata on e-science context. In *Information Technology in Bio-and Medical Informatics* (pp. 68–81). Berlin Heidelberg: Springer.

Hertzberger, L. O. B. 2006. e-Science and the VL-e approach. In *Transactions on Computational Systems Biology IV* (pp. 58–67). Berlin Heidelberg: Springer.

Hey, T., and A. E. Trefethen. 2002. The UK e-science core programme and the grid. *Future Generation Computer Systems* 18 (8): 1017–1031.

Hine, C. 2006. *New infrastructures for knowledge production: Understanding e-science.* :IGI Global.

Holl, S. 2014. *Automated Optimization Methods for Scientific Workflows in e-Science Infrastructures.* Forschungszentrum J{ü}lich.

Jankowski, N. W. 2007. Exploring e-Science: An Introduction. *Journal of Computer-Mediated Communication* 12(2): 549–562.

Lican, H., W. Zhaohui, and Yunhe. 2003. Virtual and Dynamic Hierarchical Architecture for E-Science Grid. *International Journal of High Performance Computing Applications* 17 (3): 329–347.

NeSC. 1999. National e-Science Centre definition of e-Science. http://www.nesc.ac.uk/nesc/define.html (accessed Jan. 08, 2015)

Niederée, C., T. Risse, M. Paukert, and A. Stein. 2007. An Architecture Blueprint for Knowledge-based e-Science. In *German e-Science Conference*, 2–4.

Perry, D. E., and A. L.Wolf. 1992. Foundations for the study of software architecture. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes* 17 (4): 40–52.

Pham, T. V. 2006. *A Collaborative e-Science Architecture for Distributed Scientific Communities.* The University of Leeds.

Riedel, M. 2013. *Design and Applications of an Interoperability Reference Model for Production e-Science Infrastructures* (Vol. 16). Forschungszentrum J{ü}lich.

Roure, D. De, and J. Frey. 2007. Three Perspectives on Collaborative Knowledge Acquisition in e-Science. In *Workshop on Semantic Web for Collaborative Knowledge Acquisition (SWeCKa) 2007*.

Roure, D. De, N. Jennings, and N. Shadbolt. 2001. Research agenda for the Semantic Grid: a future e-science infrastructure. *Report Commissioned for EPSRC/DTI Core E-Science Programme*.

Sandvik, A. K., B. K. Alsberg, K. G. Nørsett, F. Yadetie, H. L. Waldum, and A. Lægreid. 2006. Gene expression analysis and clinical diagnosis. *Clinica Chimica Acta* 363 (1–2): 157–164.

Simmhan, Y., B. Plale, and D. Gannon. 2005. A Survey of Data Provenance in e-Science. *Sigmod Record* 34 (3): 31–36.

Taylor, I. J., E. Deelman, D. Gannon, M. Shields, and others. 2007. *Workflows for e-Science*. London: Springer-Verlag.

Viglas, S. D. 2006. A Peer-to-Peer Architecture for e-Science. In *Fifth All Hands Meeting*. Nottingham.

Watson,, H. Hiden, and S. Woodman. 2010. e-Science Central for CARMEN: science as a service. *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 22 (17): 2369–2380.

Wouters, 2006. What is the matter with e-science?--thinking aloud about informatisation in knowledge creation. In *Pantaneto forum* (Vol. 23).

Yang, C., R. Raskin, M. Goodchild, and M. Gahegan. 2010. Geospatial Cyberinfrastructure: Past, present and future. *Computers, Environment and Urban Systems* 34 (4): 264–277.

___, X., L. Wang, and W. Jie. 2011. *Guide to e-Science: Next Generation Scientific Research and Discovery*. Berlin: Springer.

جواد پورعباسی

متولد سال ۱۳۶۶، دارای مدرک کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات گرایش تجارت الکترونیکی از دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی است.

علم الکترونیکی، تجارت الکترونیکی، هوش تجاری و مدیریت دانش از جمله علایق پژوهشی ایشان هستند.

عبدالله آقایی

متولد سال ۱۳۴۲، دارای مدرک دکتری مهندسی صنایع از دانشگاه لافبرو انگلستان می‌باشد. وی هم‌اکنون استاد دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی است.

مدل‌سازی و شبیه‌سازی، مدیریت کیفیت، سیستم‌های صف، مدیریت دانش و ارگونومی در رشته مهندسی صنایع ، بازاریابی اینترنتی، شبکه‌های اجتماعی، سیستم‌های توصیه‌گر و جمع‌سپاری در حوزهٔ فناوری اطلاعات از جمله علایق آموزشی و پژوهشی ایشان هستند.

مجتبی حاجیان حیدری

متولد سال ۱۳۶۷، دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی است.

مهندسی لجستیک و مدیریت زنجیرهٔ تأمین، مهندسی سیستم و شبیه سازی، مدیریت دانش از جمله علایق پژوهشی ایشان هستند.