
باسمه تعالی



پژوهشگاه علوم و فن آوری اطلاعات ایران
پژوهشکده مهندسی اطلاعات

گزارش طرح پژوهشی

طراحی یک معماری مفهومی برای پردازش داده‌ها بر مبنای مدل‌های رایانش ابری

گلناز وکیلی

گزارش نهایی

اسفند ۱۳۹۱

سليم الافضل

فهرست مطالب

۱- مقدمه	۱
۲- معرفی رایانش ابری	۳
۱-۲- انگیزه‌های کاربران و فراهم‌کنندگان رایانش ابری	۶
۲-۲- انواع مدل‌های رایانش ابری	۸
۳- حوزه‌های فناوریانه و تحقیقاتی رایانش ابری در ایران و جهان	۱۱
۱-۳- گرایش‌های فناوری و مدل‌های کسب‌وکار جدید	۱۲
۲-۳- فرصت‌های کاربردی و تحقیقاتی جدید	۱۳
۱-۲-۳- کاربردهای تعاملی سیار	۱۳
۲-۲-۳- پردازش موازی	۱۳
۳-۲-۳- افزایش حجم تجزیه و تحلیل‌ها	۱۴
۲-۳-۴- گسترش کاربردهای میزکار با پردازش بالا	۱۴
۳-۲-۵- کاربردهای ریشه‌دار	۱۴
۳-۳- جنبه‌های اقتصادی رایانش ابری	۱۵
۱-۳-۳- کشسانی: شیفت دادن ریسک	۱۵
۲-۳-۳- مقایسه‌ی هزینه‌ها: آیا باید مدل‌های رایانش ابری را انتخاب کنیم؟	۱۸
۴- موانع و فرصت‌های اصلی رایانش ابری در ایران و جهان	۲۰
۱-۴- دسترس‌پذیری سرویس	۲۱
۲-۴- قفل شدن داده	۲۲
۳-۴- محرمانگی داده	۲۲
۴-۴- انتقال داده	۲۳
۵-۴- بازده غیرقابل پیش‌بینی	۲۳
۶-۴- ذخیره‌سازی مقیاس‌پذیر	۲۴
۷-۴- خطاها در سیستم‌های بزرگ توزیع‌یافته	۲۴
۸-۴- مقیاس‌پذیری سریع	۲۵
۹-۴- اعتبار مشترک	۲۵
۱۰-۴- مجوزدهی نرم‌افزار	۲۶

-
- ۵- جمع‌بندی و معرفی بهترین کاربردها و خدمات رایانش ابری..... ۲۶
- ۵-۱- معرفی نمونه‌های برتر در مدیریت ماشین‌های مجازی..... ۲۷
- ۵-۲- معرفی نمونه‌های برتر در ارزیابی سرویس زیرساخت..... ۳۳
- ۵-۳- معرفی نمونه‌های برتر در ارزیابی سرویس بستر..... ۳۸
- ۶- تطبیق فعالیت‌ها و پتانسیل‌های رایانشی پژوهشگاه با مدل‌های رایانش ابری..... ۴۲
- ۶-۱- آموزش و یادگیری الکترونیکی..... ۴۴
- ۶-۲- ارزیابی طرح‌ها و پایان‌نامه‌های الکترونیکی..... ۴۷
- ۶-۳- انجام محاسبات علمی و پربازده..... ۴۹
- ۶-۴- سایر پتانسیل‌های رایانشی..... ۵۱
- ۷- ارزیابی مدل مفهومی رایانش ابری بر اساس فعالیت‌ها و پتانسیل‌های رایانشی پژوهشگاه..... ۵۲
- ۷-۱- آموزش و یادگیری الکترونیکی..... ۵۳
- ۷-۲- ارزیابی طرح‌ها و پایان‌نامه‌های الکترونیکی..... ۵۹
- ۷-۳- انجام محاسبات علمی و پربازده..... ۶۴
- ۷-۴- سایر پتانسیل‌های رایانشی..... ۷۱
- ۸- مراجع..... ۷۸

۱- مقدمه

رایانش ابری از پتانسیل بالایی برای تحول صنعت فناوری اطلاعات برخوردار است و نه تنها نرم-افزارها را به صورت سرویس‌های قابل ارایه در اختیار عموم قرار می‌دهد، بلکه بر شیوه‌ی طراحی سخت‌افزارهای این صنعت نیز تاثیرگذار است. در واقع، نوآوران و توسعه‌دهندگان سرویس‌های اینترنتی برای عملیاتی کردن این سرویس‌ها، نیازی به بسترهای بزرگ سخت‌افزاری و یا صرف هزینه‌های سنگین انسانی ندارند. همچنین دیگر این مشکل را ندارند که به دلیل تامین منابع بیش از حد برای سرویسی که محبوبیتش به سطح انتظار آنها نرسد متحمل هزینه‌های زیادی شوند، و یا به عکس به دلیل کمبود و عدم تامین منابع مورد نیاز برای سرویسی که محبوبیت گسترده‌ای می‌یابد مشتری‌های احتمالی و سود حاصل از ارایه‌ی آن را از دست بدهند.

از نقطه‌نظر سخت‌افزاری سه جنبه‌ی جدید در رایانش ابری مطرح می‌شود [1]:

- دسترسی به منابع محاسباتی نامحدود در صورت نیاز: این جنبه، کاربران رایانش ابری را از طرح‌ریزی مبتنی بر پیش‌بینی برای تامین منابع بی‌نیاز می‌سازد.
- حذف از پیش عضو شدن کاربران ابر: به این ترتیب شرکت‌ها می‌توانند با منابع سخت-افزاری کمی شروع به کار کنند و تنها با افزایش نیاز خود به میزان این منابع بیفزایند.
- امکان پرداخت هزینه‌ی استفاده از منابع محاسباتی بر مبنای میزان نیاز و همچنین آزادسازی منابع در صورت عدم نیاز: به این ترتیب می‌توان برای مثال هزینه‌ی منابع پردازشی را بر حسب مقدار ساعت استفاده پرداخت و هنگامی که استفاده‌ای ندارند با رهاسازی آنها صرفه‌جویی نمود.

ساخت و بکاراندازی مرکزهای داده بسیار بزرگ در مکان‌های کم‌هزینه، یکی از عوامل اصلی توسعه‌ی رایانش ابری بوده است. در دسترس قرار دادن منابع شبکه، سخت‌افزار و نرم‌افزار با هزینه‌ی پایین، همراه با مالتی‌پلکس آماری به منظور افزایش بهره‌برداری از منابع، منجر به این می‌شود که رایانش ابری با وجود ارایه‌ی ارزان سرویس‌ها سود خوبی حاصل نماید.

به منظور مالتی‌پلکس آماری که لازمه‌ی دستیابی به کشسانی منابع و تحقق تصور دسترسی به منابع نامحدود است، می‌بایست هر یک از این منابع مجازی‌سازی شوند تا نحوه‌ی مالتی‌پلکس و به اشتراک‌گذاری آنها در پیاده‌سازی پوشیده بماند. بر حسب میزان و سطح انتزاعی‌سازی می‌توان

راه کارهای رایانش ابری را از هم دیگر متمایز ساخت. برای مثال یک نمونه ای سی^۱ ۲ آمازون بیشتر شبیه به یک سخت افزار فیزیکی است، و کاربر می تواند تقریباً تمام پشته ی نرم افزار (از کرنل به بالا) را کنترل نماید. در مقابل آپ اینجین^۲ گوگل که به طور خاص کاربردهای وب را هدف قرار داده است، تقریباً کنترل پشته ی نرم افزار را تا بالاترین سطوح خود بر عهده گرفته و ساختار (محاسباتی و ذخیره سازی) مورد استفاده در کاربردها را نیز مشخص می کند. در نهایت، کاربردی که برای آژور^۳ مایکروسافت نوشته می شود پس از کامپایل، در یک محیط اجرایی مستقل از زبان برنامه نویسی قابل بکارگیری است، و از این رو می توان آن را میانه ای بین چارچوب های کاربردی مانند آپ اینجین و ماشین های مجازی سخت افزاری مانند ای سی ۲ در نظر گرفت.

ممکن است این پرسش مطرح شود که در چه شرایطی بکارگیری رایانش ابری در یک مرکز داده توصیه می شود؟ یکی از این شرایط زمانی است که تقاضای درخواست سرویسی متغیر با زمان باشد. برای مثال تامین منابع در مرکز داده به اندازه ی زمان پیک بار، منجر به عدم بهره برداری از منابع در سایر زمان ها می گردد. در مقابل با بکارگیری رایانش ابری، هر سازمان می تواند به ازای تعداد ساعت های مصرف منابع محاسباتی هزینه پردازد. در نتیجه حتی اگر هزینه ی اجاره ی ساعتی یک ماشین از فراهم کننده ی ابر بیش از هزینه ی نگهداری آن باشد، باز هم احتمالاً استفاده از سرویس فراهم کننده ی ابر منجر به کاهش هزینه ها می گردد. شرایط دیگر زمانی است که میزان تقاضا از پیش نامشخص باشد. برای مثال یک کاربرد وب ممکن است در ابتدا با تعداد بسیار زیادی تقاضا روبه رو باشد ولی با کاهش محبوبیت آن به تدریج این تقاضاها کاهش یابند. در نهایت زمانی که نیاز به پردازش های با حجم بالا باشد، بکارگیری رایانش ابری می تواند به طور قابل ملاحظه ای بر سرعت انجام محاسبات بیفزاید. در واقع هزینه ی استفاده از ۱۰۰۰ ماشین ای سی ۲ به مدت ۱ ساعت با هزینه ی استفاده از یک ماشین ای سی ۲ به مدت ۱۰۰۰ ساعت تفاوتی نخواهد داشت.

در شرایطی که میزان تقاضا در طول زمان تغییر می کند، با استفاده از معادله ی زیر می توان در مورد بکارگیری رایانش ابری تصمیم گیری کرد [2]:

$$UserHours_{cloud} \times (revenue - Cost_{cloud}) \geq UserHours_{datacenter} \times (revenue - \frac{Cost_{datacenter}}{Utilization})$$

در سمت چپ، با ضرب بازگشتی خالص به ازای هر نفر ساعت در تعداد ساعت های استفاده، مقدار سود مورد انتظار از بکارگیری رایانش ابری بدست آورده شده است. در سمت راست، همین

¹ EC2 (Elastic Cloud Computing)

² AppEngine

³ Azure

محاسبات برای مرکز داده‌ای با ظرفیت ثابت و با لحاظ کردن میانگین بهره‌وری (با توجه به بار زمان‌های غیر پیک در مرکز داده)، انجام گرفته است. به این ترتیب هر سمتی که مقدار بزرگتری داشته باشد، شانس بالاتری برای بدست آوردن سود بیشتر خواهد داشت.

در این گزارش قصد داریم با استفاده از مفاهیم و فرمول‌های ساده به مقایسه‌ی رایانش ابری با سایر روش‌های متداول محاسباتی بپردازیم و موانع و فرصت‌های ممکن برای توسعه‌ی آنرا شناسایی کنیم، تا در نهایت بتوانیم به سوالات زیر پاسخ دهیم:

- رایانش ابری چیست و چه تفاوتی با الگوهای پیشین مانند «نرم‌افزار به عنوان سرویس»^۴ دارد؟
- چگونه می‌توان یک فراهم‌کننده‌ی رایانش ابری شد و در چه شرایطی ممکن است یک سازمان بخواهد تبدیل به یک فراهم‌کننده شود؟
- چه فرصت‌هایی پتانسیل توسعه‌ی رایانش ابری را دارند؟
- چگونه می‌توان راه‌کارهای پیشنهادی برای رایانش ابری را دسته‌بندی کرد و چالش‌های فنی و کسب‌وکار هر دسته چه تفاوت‌هایی دارند؟
- چگونه یک فراهم‌کننده‌ی سرویس می‌تواند تصمیم بگیرد که رایانش ابری را بکار گیرد و یا به صورت یک مرکز داده‌ی خصوصی باقی بماند؟
- در آینده چه تغییراتی باید در طراحی کاربردها و زیرساخت‌های نرم‌افزار و سخت‌افزار داده شود تا منطبق با نیازمندی‌ها و فرصت‌های رایانش ابری باشند؟

۲- معرفی رایانش ابری

رایانش ابری واژه‌ی جدیدی است که برای ایده‌ی قدیمی «ارایه‌ی همگانی رایانش» [3] بکار می‌رود و در سال‌های اخیر در عمل تحقق یافته است. با توجه به اقتصادی بودن مقیاس‌دهی و مالتی-پلکس آماری، فراهم‌کنندگان رایانش ابری می‌توانند با سرویس‌دهی به تعداد زیادی از شرکت‌هایی که مرکز داده ندارند، هزینه‌های مراکز داده‌ی بزرگ خود را کاهش دهند.

با وجود این‌که رایانش ابری موضوع بسیاری از سخنرانی‌ها، نوشته‌ها، کارگاه‌های آموزشی، کنفرانس‌ها و حتی مجلات بوده است، هنوز ابهاماتی در مورد چیستی و فواید آن همچنان باقی است. مدیر عامل اُراکل^۵ در این‌باره می‌گوید: «نکته‌ی جالب در مورد رایانش ابری این است که ما

^۴ Software as a Service (SaaS)

^۵ Oracle

آنرا به گونه‌ای باز تعریف کرده‌ایم که تمامی کارهایی که تاکنون انجام داده‌ایم را دربرگیرد». همچنین قائم مقام اچ پی^۶ می‌گوید: «بسیاری از افراد وارد حوزه‌ی رایانش ابری شده‌اند، ولی من تاکنون نشنیده‌ام دو نفر در مورد آن یکسان صحبت کنند».

رایانش ابری هم کاربردهایی که به عنوان سرویس از طریق اینترنت ارایه می‌شوند را دربر می‌گیرد و هم سخت‌افزار و سیستم‌های نرم‌افزاری که برای ارایه‌ی این سرویس‌ها در مراکز داده هستند را شامل می‌شود. مدت زمان زیادی است که سرویس‌ها خود به تنهایی با عنوان «نرم‌افزار به عنوان سرویس» مورد اشاره قرار می‌گیرند و در این جا نیز از همین عنوان استفاده می‌کنیم. در مقابل نرم-افزار و سخت‌افزار واقع در مرکز داده را «ابر» می‌خوانیم. هنگامی که ابری بر مبنای «پرداخت به نسبت مصرف» در اختیار عموم قرار می‌گیرد ابر عمومی، و سرویسی که فروخته می‌شود رایانش همگانی نامیده می‌شود. به عنوان مثال می‌توان سرویس‌های وب آمازون، آپ‌انجین گوگل و آزور مایکروسافت را نام برد. در مقابل ابر خصوصی به مراکز داخلی یک سازمان اطلاق می‌شود که در دسترس عموم قرار نمی‌گیرد (به طور معمول رایانش ابری، ابرهای خصوصی را شامل نمی‌شود).

مزایای «نرم‌افزار به عنوان سرویس» هم برای کاربران و هم فراهم‌کنندگان به خوبی قابل درک است. سادگی نصب و نگهداری نرم‌افزارها و داشتن کنترل متمرکز بر نسخه‌گذاری آن‌ها، از جمله مزایایی است که فراهم‌کنندگان سرویس دارند. از سوی دیگر کاربران انتهایی می‌توانند در «هر زمان و هر مکانی» دسترسی به سرویس داشته باشند، داده‌ی خود را به سادگی به اشتراک گذاشته و آنرا در زیرساخت امنی نگهداری کنند. تفاوتی که رایانش ابری نسبت به الگوی «نرم‌افزار به عنوان سرویس» ایجاد می‌کند این است که برای فراهم‌کنندگان کاربردها امکان آنرا فراهم می‌سازد که، بدون نیاز به تامین منابع در سطح یک مرکز داده، محصولات خود را به صورت «نرم‌افزار به عنوان سرویس» ارایه دهند. به این ترتیب همان‌طور که الگوی پیشین به کاربران اجازه می‌داد که بخشی از بار مشکلات خود را به فراهم‌کنندگان «نرم‌افزار به عنوان سرویس» واگذارند، در الگوی جدید فراهم‌کنندگان «نرم‌افزار به عنوان سرویس» می‌توانند بخشی از مشکلات خود را به فراهم‌کنندگان رایانش ابری بسپارند.

در جدول ۱-۲ به فهرستی از موانع اساسی که توسعه‌ی رایانش ابری با آن‌ها مواجه است [2] اشاره شده، که در بخش‌های بعد به شرح آن‌ها پرداخته می‌شود. در این فهرست، سه مورد اول به موانع احتمالی در «پذیرش رایانش ابری» می‌پردازد، پنج مورد بعد موانعی هستند که بر «توسعه‌ی رایانش ابری» تاثیر می‌گذارند، و دو مورد آخر موانع «کسب‌وکار و سیاست‌گذاری در حوزه‌ی رایانش

⁶ Hewlett-Packard (HP)

ابری» را مطرح می‌کنند. در مقابل هر مانع به فرصتی اشاره شده است که می‌تواند در برطرف‌سازی آن مانع موثر باشد.

جدول ۱-۲ - نگاهی گذرا به موانع اصلی و فرصت‌های توسعه‌ی رایانش ابری

فرصت‌ها	موانع
استفاده از چندین فراهم‌کننده‌ی ابر - بکارگیری کشسانی برای جلوگیری از حمله‌ی توزیع‌یافته‌ی عدم پذیرش سرویس ^۷ استانداردسازی واسط‌های برنامه‌نویسی ^۸ بکارگیری رمزنگاری، شبکه‌های محلی مجازی ^۹ و فایروال‌ها - توزیع جغرافیایی ذخیره‌سازی داده آرشیو / پشتیبان داده - استفاده از سویچ- های با پهنای باند بالاتر بهبود پشتیبانی از ماشین‌های مجازی - حافظه‌های سریع - زمان‌بندی ماشین‌های مجازی ابداع مدل‌های ذخیره‌سازی مقیاس‌پذیر ابداع مدل‌های خطایابی، متکی بر ماشین‌های مجازی توزیع‌یافته ابداع مدل‌های مقیاس‌پذیری خودکار بر اساس یادگیری ماشین ارایه‌ی سرویس‌های حفاظت اعتبار مشابه سرویس‌های بکاررفته در رایانامه‌ها ارایه‌ی مجوزهای پرداخت مبتنی بر مصرف	۱. دسترسی به سرویس ۲. قفل شدن داده ۳. محرمانگی داده ۴. انتقال داده ۵. بازده غیرقابل پیش‌بینی ۶. ذخیره‌سازی مقیاس‌پذیر ۷. خطاها در سیستم‌های توزیع‌یافته‌ی بزرگ ۸. مقیاس‌پذیری سریع ۹. اعتبار مشترک ۱۰. مجوزدهی نرم‌افزار

^۷ Distributed Denial of Service (DDOS)

^۸ Application Programming Interface

^۹ Virtual LAN

۲-۱- انگیزه‌های کاربران و فراهم‌کنندگان رایانش ابری

از نقطه‌نظر سخت‌افزاری سه جنبه‌ی جدید در رایانش ابری مطرح می‌شود:

- تصور دسترسی به منابع محاسباتی نامحدود در صورت نیاز
- حذف از پیش عضو شدن کاربران ابر
- امکان پرداخت هزینه‌ی استفاده از منابع محاسباتی بر مبنای میزان نیاز و همچنین آزادسازی منابع در صورت عدم نیاز

هر سه جنبه‌ی فوق از نظر تغییرات فنی و اقتصادی حاصل از رایانش ابری، دارای اهمیت هستند و در واقع هیچ‌یک از راه‌کارهایی که در گذشته در حوزه‌ی رایانش عمومی ارایه شده‌اند، هر سه‌ی این ویژگی‌ها را در کنار هم نداشته‌اند. برای مثال بکارگیری سرویس رایانشی اینتل^{۱۰} در سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱ نیاز به بستن قرارداد و همچنین استفاده‌ی طولانی‌تر از بازه‌ی زمانی یک‌ساعت داشت.

در مقابل به عنوان یک مثال موفق می‌توان به ابر محاسباتی کشسان^{۱۱} که یکی از سرویس‌های وب آمازون^{۱۲} (یا به طور مخفف ای‌دبلی‌واس) است اشاره نمود. آمازون هر قطعه 1.0 GHz x86 ISA را ۱۰ سنت در ساعت می‌فروشد و می‌توان در مدت ۲ تا ۵ دقیقه یک قطعه یا نمونه‌ی جدید را اضافه کرد. همچنین هزینه‌ی استفاده از سرویس ذخیره‌سازی مقیاس‌پذیر^{۱۳} آمازون ۱۲ صدم تا ۱۵ صدم دلار به ازای هر گیگابایت در ماه است، و هزینه‌ی پهنای باند اضافه برای انتقال داده به ای‌دبلی‌واس یا از آن، روی اینترنت، ۱۰ صدم تا ۱۵ صدم دلار به ازای هر گیگابایت است. ادعای آمازون این است که با مالتی‌پلکس آماری چندین نمونه بر روی یک ماشین فیزیکی واحد، این ماشین را به تعداد زیادی از مشتریانی که استفاده‌ی آن‌ها عموماً تداخلي با هم ندارد اجازه می‌دهد.

حال که علت علاقمندی عمومی کاربران به استفاده از رایانش ابری روشن شده است، این سوال مطرح می‌شود که چه کسی فراهم‌کننده‌ی رایانش ابری خواهد شد و چرا؟ در آغاز باید توجه داشت که مالتی‌پلکس آماری و بهره‌گیری از «اقتصاد در مقیاس»^{۱۴} نیازمند برپایی و ساخت مراکز داده‌ی بسیار بزرگ است. برای تامین منابع و ایجاد چنین امکاناتی باید صدها میلیون دلار هزینه کرد. از سویی با رشد و توسعه‌ی سرویس‌های وب از اوایل هزاره‌ی سوم میلادی، بسیاری از شرکت‌های بزرگ اینترنتی مانند آمازون، گوگل و مایکروسافت به این کار پرداخته‌اند. این شرکت‌ها همچنین ملزم بوده‌اند برای توسعه‌ی زیرساخت‌های نرم‌افزاری مقیاس‌پذیر^{۱۵} [4-6] و آموزش

¹⁰ Intel

¹¹ Elastic Computing Cloud (EC2)

¹² Amazon Web Services (AWS)

¹³ Scalable Storage service (S3)

¹⁴ Economic in Scale

^{۱۵} مانند BigTable، Google File System، MapReduce و ...

کارشناسان عملیاتی سرمایه‌گذاری کنند تا به این ترتیب مراکز داده‌ی خود را در برابر خطرهای فیزیکی و الکترونیکی مقاوم سازند.

بنابراین شرط لازم اما ناکافی برای این که شرکتی تبدیل به یک فراهم‌کننده‌ی رایانش ابری شود این است که نه تنها در ایجاد مراکز داده‌ی بسیار بزرگ، بلکه در گردآوری زیرساخت‌های نرم‌افزاری و کارشناسان عملیاتی مورد نیاز نیز سرمایه‌گذاری کرده باشد. با درنظر گرفتن این شرایط عوامل مختلفی ممکن است بر تصمیم‌گیری در مورد «تبدیل شدن به فراهم‌کننده‌ی ابر» تاثیر بگذارد که برخی از آن‌ها عبارتند از:

- **کسب درآمد بالا :** اگرچه ۱۰ سنت در ساعت به ازای هر کارگزار^{۱۶} مقدار کمی به نظر می‌رسد، همان‌طور که در جدول ۲-۲ مقایسه‌ی هزینه‌ی مراکز داده آورده شده است، نسبت هزینه‌های مختلف در مراکز داده‌ی متوسط (صدها تا هزاران کامپیوتر) به مراکز داده‌ی بسیار بزرگ (ده‌ها هزار کامپیوتر) بین ۵ تا ۷ برابر است [7]. مراجع دیگر این نسبت را بین ۳ تا ۵ تخمین زده‌اند [8,9]. علاوه بر این، با توجه به بسیار زیاد بودن تعداد ماشین‌ها، هزینه‌های ثابت توسعه و بکارگیری نرم‌افزار سرشکن می‌شود. بنابراین شرکت‌های به نسبت بزرگ می‌توانند با این اقتصاد در مقیاس، ضمن این که با نرخ پایین‌تری نسبت به شرکت‌های متوسط به ارایه‌ی سرویس می‌پردازند، سود خوبی نیز بدست آورند.

جدول ۲-۲ مقایسه‌ی هزینه‌ی مراکز داده [10]

فن‌آوری	هزینه در مرکز داده‌ی متوسط	هزینه در مرکز داده‌ی بزرگ	نسبت
منابع شبکه	۹۵ دلار به ازای هر مگابیت بر ثانیه بر ماه	۱۳ دلار به ازای هر مگابیت بر ثانیه بر ماه	۷/۱
منابع ذخیره‌سازی	۲/۲۰ دلار به ازای هر گیگا بایت بر ماه	۰/۴۰ دلار به ازای هر گیگا بایت بر ماه	۵/۷
مدیریت	حدود ۱۴۰ کارگزار به ازای هر مدیر	بیش از ۱۰۰۰ کارگزار به ازای هر مدیر	۷/۱

- **اهرم‌سازی سرمایه‌گذاری موجود :** اضافه کردن سرویس‌های رایانش ابری بر روی زیر ساخت موجود موجب می‌شود که با صرف هزینه‌ی بسیار اندک، راه کسب درآمد جدیدی

¹⁶ server

باز شود و به سرشکن شدن سرمایه‌گذاری‌های بسیار زیاد مراکز داده کمک کند. به نقل از سرپرست اصلی فن‌آوری آمازون، بسیاری از فن‌آوری‌های سرویس‌های وب آمازون در ابتدا برای کاربردها و عملیات داخلی آمازون توسعه داده شده بود [11].

- **دفاع از حق نظردهی :** وقتی کاربردهای مختلف متداول رایانش ابری را در بر می‌گیرند، فروشندگان مطرحی که در حوزه‌ی این کاربردها صاحب‌نظر هستند، تشویق می‌شوند که از راه‌کار مبتنی بر ابر نیز، به عنوان یک انتخاب ممکن، پشتیبانی کنند. برای مثال آזור مایکروسافت، راه سریعی برای مهاجرت کاربران فعلی کاربردهای سازمانی مایکروسافت به محیط رایانش ابری فراهم ساخته است.
- تبدیل شدن به بستر : در حال حاضر مراکز داده برای رایانش ابری در نقاط نامتداولی در حال ساخت است که انتخاب آن‌ها بر اساس هزینه‌های برق، سرمایشی، مالیاتی و دیگر هزینه‌هاست. لازم به ذکر است که هزینه‌های برق و سرمایشی به تنهایی حدود یک سوم هزینه‌های یک مرکز داده را به خود اختصاص می‌دهند.

۲-۲- انواع مدل‌های رایانش ابری

هر کاربردی مبتنی بر یک مدل محاسباتی، یک مدل ذخیره‌سازی و با فرض توزیع‌یافته بودن مبتنی بر یک مدل ارتباطی است. به منظور مالتی‌پلکس آماری که لازمی دستیابی به کشسانی منابع و تحقق تصور دسترسی به منابع نامحدود است، می‌بایست هر یک از این منابع مجازی‌سازی شوند تا نحوه‌ی مالتی‌پلکس و به اشتراک‌گذاری آن‌ها در پیاده‌سازی پوشیده بماند. انواع مدل‌های راه‌کارهای رایانش ابری را می‌توان بر حسب میزان و سطح انتزاعی‌سازی و مدیریت منابعی که به کاربران ارایه می‌شود از هم‌دیگر متمایز ساخت.

برای مثال در یک انتهای این طیف می‌توان ای‌سی ۲ آمازون را در نظر گرفت. یک نمونه ای‌سی ۲ آمازون بیشتر شبیه به یک سخت‌افزار فیزیکی است، و کاربر می‌تواند تقریباً تمام پشته‌ی نرم‌افزار (از کرنل به بالا) را کنترل نماید. تعداد واسط‌های برنامه‌نویسی ارایه شده بسیار کم و حدود چند ده واسط برای تقاضا و پیکربندی سخت‌افزار مجازی است. حد از پیش تعیین‌شده‌ای بر روی کاربردهایی که میزبانی می‌شوند وجود ندارد. مجازی‌سازی در سطح پایین، یعنی سیکل‌های خام سی‌پی‌یو، قطعه‌های بلوکی ذخیره‌سازی و اتصال در سطح آی‌پی، به توسعه‌دهندگان اجازه می‌دهد که مطابق میل خود کدنویسی کنند. از سوی دیگر همین مساله، مدیریت خودکار مقیاس‌پذیری و

از کارافتادگی را برای آمازون دشوار می‌سازد، زیرا سمتیک^{۱۷} مربوط به «تکرار»^{۱۸} و دیگر مسایل مدیریت وضعیت به شدت وابسته به کاربرد است. در مقایسه با ای‌سی^۲، ای‌دبلیو‌اس سرویس‌های مدیریت‌شده‌ی سطح بالاتری را ارائه می‌کند، که شامل چندین سرویس ذخیره‌سازی مدیریت‌شده برای استفاده همراه با ای‌سی^۲ است، مانند «سیمپل‌دی‌بی»^{۱۹}. اما از آنجایی که این سرویس‌ها باعث تاخیر بالاتر شده و واسطه‌های برنامه‌نویسی استاندارد نیز ندارند، به نظر می‌رسد استفاده از آن‌ها به اندازه‌ی سایر سرویس‌های ای‌دبلیو‌اس عمومیت نیافته است.

در انتهای دیگر طیف، بسترهایی مانند آپ‌انجین قرار دارند که دامنه‌ی آن‌ها برای کاربرد خاصی توسعه یافته است. در این بستر که به طور خاص کاربردهای وب را هدف قرار داده است، در ساختار کاربردی، لایه‌ی محاسباتی بدون حافظه و لایه‌ی ذخیره‌سازی حافظه‌دار به طور مشخص از یکدیگر جدا هستند. علاوه بر این، انتظار می‌رود که کاربردهای آپ‌انجین مبتنی بر «تقاضا و پاسخ» باشند و از این‌رو، از نظر مقدار زمان سی‌پی‌یو که می‌توانند برای پاسخ‌دهی به یک تقاضای خاص مصرف کنند به شدت سهم‌بندی می‌شوند. تمام قابلیت‌های گیرای آپ‌انجین مانند سازوکارهای مقیاس‌دهی خودکار و دسترس‌پذیری بالا، و همچنین ذخیره‌سازی داده‌ی مِگا‌استر^{۲۰} (مبتنی بر بیگ-تِیبل^{۲۱}) که اختصاصی آپ‌انجین است و در اختیار کاربردهای آن قرار می‌گیرد، متکی بر همین محدودیت‌هاست. بنابراین در حالت کلی، آپ‌انجین مناسب رایانش همه منظوره نیست.

در نهایت آזור میکروسافت در میانه‌ی این طیف «انعطاف‌پذیری در مقابل راحتی برنامه‌نویس» قرار می‌گیرد. کاربردهای آזור میکروسافت با استفاده از کتابخانه‌های دات‌نت نوشته می‌شوند و به «زبان مشترک زمان اجرا»^{۲۲} که یک محیط اجرایی مدیریت‌شده‌ی مستقل از زبان برنامه‌نویسی است کامپایل می‌شوند. سیستم از رایانش همه‌منظوره پشتیبانی می‌کند و محدود به دسته‌ی خاصی از کاربردها نیست. کاربرها می‌توانند زبان برنامه‌نویسی را انتخاب کنند اما کنترلی بر روی محیط اجرایی و یا سیستم عامل زیرین ندارند. کتابخانه‌ها تا حدی امکان پیکربندی خودکار شبکه و مقیاس‌پذیری/ازکارافتادگی را فراهم می‌کنند، اما به این منظور لازم است توسعه‌دهنده برخی از ویژگی‌های کاربرد را مشخص کند.

در جدول ۲-۳ خلاصه‌ای از چگونگی مجازی‌سازی محاسبات، ذخیره‌سازی و شبکه در این سه نوع کلاس، آورده شده است.

¹⁷ semantic

¹⁸ replication

¹⁹ SimpleDB

²⁰ MegaStore

²¹ BigTable

²² Common Language Runtime

جدول ۳-۲ مقایسه‌ی نحوه‌ی مجازی‌سازی منابع توسط چند نمونه از فروشندگان رایانش ابری

مدل محاسباتی	سرویس وب آمازون	آزور مایکروسافت	آپ‌انجین گوگل
مدل محاسباتی	استفاده از <i>x86 Instruction Set Architecture (ISA)</i> روی <i>Xen VM</i> کشسانی محاسباتی امکان مقیاس‌پذیری را فراهم می‌کند، اما ماشین‌ها یا باید توسط خود توسعه‌دهنده ساخته شوند یا توسط <i>VAR</i> ^{۲۳} سوم‌شخصی مثل <i>RightScale</i>	استفاده از <i>Common Language Runtime (CLR) VM</i> مایکروسافت ماشین‌ها بر اساس توصیفات اعلانی تامین می‌شوند (برای مثال کدام «نقش»‌ها می‌توانند تکرار شوند) - تعادل بار خودکار	استفاده از چارچوب و ساختار کاربرد از پیش تعیین‌شده - گذشتن <i>handler</i> ها در اختیار برنامه‌نویس - ذخیره‌ی تمام وضعیت‌های دائمی در <i>MegaStore</i> مقیاس‌پذیری خودکار منابع محاسباتی و ذخیره‌سازی
مدل ذخیره‌سازی	رنجی از انواع مدل‌ها از ذخیره‌سازی بلوکی <i>EBS</i> ^{۲۴} تا ذخیره‌سازی کلید-مقدار <i>SimpleDB</i> مقیاس‌پذیری بستگی به مدل مورد استفاده دارد و از عدم مقیاس‌پذیری و اشتراک (<i>EBS</i>) تا خودکار (<i>S3</i> و <i>SimpleDB</i>) تغییر می‌کند واسط‌های برنامه‌نویسی از استاندارد (<i>EBS</i>) تا اختصاصی متغیر است.	سرویس‌های داده‌ی <i>SQL</i> (سرور <i>SQL</i> محدود شده) سرویس ذخیره‌سازی <i>Azure</i>	استفاده از <i>MegaStore/BigTable</i>
مدل شبکه‌ای	توصیف توپولوژی در سطح <i>IP</i> - جزئیات موقعیت‌های داخلی پنهان است گروه‌های امنیتی، ارتباطات بین گره‌ها را محدود می‌کنند ناحیه‌بندی دسترسی‌پذیری، از کارافتادگی‌های شبکه را از هم مستقل می‌کنند آدرس‌های <i>IP</i> کشسان، نام شبکه‌ای دائمی قابل مسیریابی فراهم می‌کنند	خودکار مبتنی بر توصیف برنامه‌نویس از مولفه‌های کاربرد (نقش‌ها)	توپولوژی ثابت و سازگار با ساختار سه لایه‌ی کاربردهای وب مقیاس‌پذیری خودکار است و از دید برنامه‌نویس مخفی است

²³ Value-Added Reseller

²⁴ Elastic Block Store

بررسی نحوه‌ی تامین ذخیره‌سازی پیشنهادی در این کلاس‌ها نشان می‌دهد که، چگونگی ذخیره‌سازی مقیاس‌پذیر، که از نظر غنی بودن واسط‌های برنامه‌نویسی با «اس‌کیوال»^{۲۵} قابل مقایسه باشد، هنوز به عنوان یک مسأله‌ی باز باقی مانده است. اگرچه آمازون از پایگاه‌های داده‌ی اوراکل روی ای‌دبلیواس میزبانی می‌کند، اما این محصول از نظر مدل اقتصادی و لیسانس چندان مناسب رایانش ابری نیست [2].

آیا یکی از این کلاس‌ها می‌تواند سایر انواع کلاس‌ها را در فضای رایانش ابری از رده خارج کند؟ مشابه این سوال در مورد چارچوب‌ها و زبان‌های برنامه‌نویسی مطرح می‌شود. زبان‌های برنامه‌نویسی سطح پایین مانند C و اسمبلی، امکان کنترل بالا و برقراری ارتباط نزدیک با سخت‌افزار را می‌دهند. اما اگر برنامه‌نویس در حال نوشتن یک کاربرد وب باشد، مدیریت سوکت‌ها، ارسال تقاضاها و ... در کد، بسیار طولانی و پیچیده می‌شود. از سوی دیگر چارچوب‌های سطح بالا این مسایل را از دید برنامه‌نویس پنهان می‌کنند، اما تنها زمانی مفید هستند که کاربرد کاملاً مطابق با ساختار فراهم‌شده توسط آن‌ها باشد، و هرگونه انحرافی از آن مستلزم فرورفتن در چارچوب است که می‌تواند پیامدهای ناخوشایندی داشته باشد. بنابراین نمی‌توان در مورد اولویت یکی بر دیگری وارد بحث شد. به طور مشابه، در حوزه‌ی رایانش همگانی نیز کارهای مختلف نیازمند بکارگیری انواع متفاوتی از این کلاس‌هاست.

همان‌طور که در حوزه‌ی برنامه‌نویسی زبان‌های برنامه‌ی سطح بالا می‌توانند با زبان‌های سطح پایین پیاده‌سازی شوند، به طور مشابه بسترهای مدیریت‌شده در سطوح بالاتر می‌توانند بر روی سطوح پایین‌تر میزبانی شوند. برای مثال، آپ‌انجین می‌تواند بر روی آزور یا ای‌سی‌۲ میزبانی شود و یا آزور می‌تواند بر روی ای‌سی‌۲ میزبانی شود. البته هم آپ‌انجین و هم آزور قابلیت‌های اختصاصی (مانند مدیریت مقیاس‌دهی و ازکارافتادگی آپ‌انجین) و یا واسط‌های برنامه‌نویسی بزرگ و پیچیده‌ی خود را دارند که پیاده‌سازی آزادی ندارد، و بنابراین برای کلون^{۲۶} کردن آن‌ها این ویژگی‌ها یا واسط‌ها باید دوباره پیاده‌سازی شوند، که خود چالش بسیار بزرگی است.

۳- حوزه‌های فن‌آورانه و تحقیقاتی رایانش ابری در ایران و جهان

اگرچه گفته شد که ساخت و عملیاتی کردن مراکز داده‌ی بسیار بزرگ، نیروی محرکه‌ی لازم و اصلی رایانش ابری است، گرایش‌های فن‌آوری و حوزه‌های تحقیقاتی جدید نیز نقش مهمی در تحقق آن ایفا می‌کنند. هنگامی که رایانش ابری هنوز در راه بود، فرصت‌ها و مدل‌های کاربردی

²⁵ SQL

²⁶ clone

جدیدی برای آن شناسایی شدند که تا پیش از آن مفهومی نداشتند. با توجه به این که بکارگیری این حوزه‌های فن‌آورانه و تحقیقاتی در سال‌های اخیر مطرح شده‌اند، در کشور ما سابقه‌ی چندانی ندارند و در حال حاضر تنها در چند آزمایشگاه پژوهشی از جنبه‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. از جمله می‌توان به فعالیت‌های آزمایشگاه محاسبات ابری دانشگاه صنعتی امیرکبیر^{۲۷} و پژوهشگاه دانش‌های بنیادی^{۲۸} در این حوزه‌ها اشاره کرد. برخی از مراکز خدماتی مانند تیان^{۲۹} نیز در سطح بسیار محدودی به ارایه‌ی سرویس‌های رایانش ابری پرداخته‌اند که هنوز کارایی آن‌ها به اثبات نرسیده است. این در حالی است که حجم سرمایه‌گذاری‌هایی که در سایر نقاط جهان بر روی این حوزه‌ها صورت گرفته، بسیار بالاست و اهمیت آن‌ها را به سرعت افزایش داده است^{۳۰}. البته به دلیل اهمیت بالای حوزه‌های فن‌آورانه و تحقیقاتی رایانش ابری در جهان، برخی از فراهم‌کنندگان سرویس در ایران (که در اینجا از ذکر نام آن‌ها خودداری می‌کنیم) به نادرستی ادعا می‌کنند که سرویس‌های خود را بر بستر رایانش ابری ارایه می‌کنند، در حالی که سرویس‌های ارایه‌شده توسط آن‌ها از برآورده ساختن ویژگی‌های مورد انتظار از سرویس‌های مبتنی بر رایانش ابری، مانند امکان دسترسی به منابع نامحدود در ارایه‌ی سرویس، ناتوان هستند. در این بخش به بررسی گرایش‌ها و فرصت‌های کاربردی و تحقیقاتی رایانش ابری که در سطح جهان و به تبع آن در ایران مطرح است می‌پردازیم.

۳-۱- گرایش‌های فن‌آوری و مدل‌های کسب‌وکار جدید

ظهور نسخه‌ی دوم وب تغییری اساسی در ارایه‌ی سرویس‌ها ایجاد نمود. برای مثال در نسخه‌ی یک وب، پذیرش پرداخت‌ها با کارت‌های اعتباری به قدری فرآیند پیچیده‌ای داشت که امکان استفاده‌ی افراد یا کسب‌وکارهای کوچک از آن‌ها را بسیار محدود می‌کرد. چنین سرویس‌هایی در حال حاضر به راحتی در اختیار تک‌تک افراد قرار می‌گیرد. به عنوان مثال‌های دیگر می‌توان به سرویس‌های آدسنس^{۳۱} گوگل و کلدفرونت^{۳۲} آمازون اشاره کرد. با استفاده از این سرویس ارایه شده توسط گوگل هر صفحه‌ی شخصی وب می‌تواند بدون نیاز به بستن قرارداد با یک شرکت تبلیغاتی،

²⁷ ciet.aut.ac.ir/autcms/computer-engineering/fa/lablist

²⁸ www.ipm.ac.ir

²⁹ tebyancloud.ir

³⁰ برای مثال، حدود ۳۰۰ شرکت آمریکایی بیش از ۱۰۰ میلیارد دلار برای بکارگیری رایانش ابری در ارایه‌ی خدمات فن‌آوری اطلاعات سرمایه‌گذاری کرده‌اند [43].

³¹ AdSense

³² CloudFront

به میزان درآمد حاصل از تبلیغات خود پی ببرد. همچنین افراد می‌توانند با استفاده از سرویس کُلدفِرُنِت آمازون بدون بستن قرارداد با شبکه‌های توزیع محتوا مانند آکامای^{۳۳}، به توزیع محتوای وب پردازند.

سرویس‌های وب آمازون در سال ۲۰۰۶ با پشتیبانی از پرداخت مبتنی بر مصرف، این طرز نگرش را عملی کردند: تنها چیزی که مشتریان نیاز دارند کارت اعتباری است. دومین نوآوری، فروش سیکل‌های پردازشی ماشین‌های مجازی در سطح سخت‌افزار بود، که به مشتریان اجازه می‌دهد که در حالی که هر یک پشته‌ی نرم‌افزاری موردنظر خود را انتخاب می‌کنند، بدون ایجاد وقفه برای یک‌دیگر، از منابع سخت‌افزاری مشترکی استفاده نمایند و به این ترتیب هزینه‌ها را کاهش دهند.

۲-۳- فرصت‌های کاربردی و تحقیقاتی جدید

در حالی که رایانش ابری زمینه‌ی کاربردهای جدید زیادی را فراهم می‌کند، بسیاری از کاربردهای فعلی را نیز کاراتر می‌نماید [12]. در این بخش کاربردهایی که به طور خاص نیروی محرکه‌ی رایانش ابری هستند و فرصت‌های خوبی را، به خصوص در حوزه‌های مختلف تحقیقاتی، فراهم می‌آورند بررسی می‌کنیم.

۳-۲-۱- کاربردهای تعاملی سیار

به اعتقاد تیم اُریلی^{۳۴} «آینده متعلق به سرویس‌هایی است که به طور زنده به اطلاعاتی که توسط کاربران آن‌ها و یا حسگرهای غیرانسانی تامین می‌شود پاسخ می‌دهند» [13]. فن‌آوری ابر برای چنین سرویس‌هایی گیرایی زیادی دارد، نه تنها از این جهت که آن‌ها باید قابلیت دسترس‌پذیری بسیار بالایی داشته باشند، بلکه همچنین به این دلیل که این سرویس‌ها اغلب متکی بر مجموعه داده‌های بسیار بزرگی هستند که باید در مراکز داده میزبانی شوند. این مساله به خصوص در مواردی که این سرویس‌ها، دو یا چند منبع داده یا سرویس دیگر را ترکیب می‌کنند اهمیت زیادی می‌یابد. با وجود آن‌که تمامی تجهیزات سیار تمایلی به اتصال همیشگی به ابر ندارند، چالش عملیات قطعی در بسیاری از کاربردهای سیار برطرف شده است. از این رو این مساله مانعی برای بکارگیری رایانش ابری در این کاربردها محسوب نمی‌شود.

۳-۲-۲- پردازش موازی

³³ Akamai

³⁴ یکی از پشتیبانان نرم‌افزارهای کدآزاد

رایانش ابری فرصت بی‌نظیری برای پردازش دسته‌ای و تحقیقاتی که نیاز به تحلیل ترابایت‌ها داده دارند و ساعت‌ها به طول می‌انجامد، فراهم می‌کند. به این ترتیب که هزینه‌ی بکارگیری صدها کامپیوتر به مدت کوتاه، تفاوتی با هزینه‌ی استفاده از چند کامپیوتر به مدت طولانی برای کاربران نخواهد داشت. چارچوب‌های انتزاعی برنامه‌نویسی مانند مَپریدیوس^{۳۵} و همتای کدآزاد آن هَدوپ^{۳۶} [14] به کاربران اجازه می‌دهد، بدون این‌که درگیر پیچیدگی‌های اجرای موازی برنامه بر روی صدها کارگزار رایانش ابری شوند، به موازی‌سازی پردازش بپردازند.

۳-۲-۳- افزایش حجم تجزیه و تحلیل‌ها

تجزیه و تحلیل کسب‌وکار یکی از نمونه مواردی است که به حجم پردازشی بالایی نیاز دارد و دارای پتانسیل بالایی برای بکارگیری رایانش ابری است. میزان تقاضا برای «پردازش تراکنشی»، که در ابتدا بر صنعت پایگاه داده تسلط یافته بود، در حال کاهش است. در حال حاضر سهم روبه-افزایشی از منابع محاسباتی صرف شناخت مشتریان، زنجیره‌های تامین، عادت‌های خرید، رده‌بندی و غیره می‌شود. بنابراین در حالی‌که حجم تراکنش‌های برخط رشد کندی دارد، رشد سریع سیستم-های حمایت از تصمیم‌گیری، تعادل میزان منابع پردازشی مورد استفاده در پایگاه‌های داده را از پردازش تراکنشی به سود تحلیل‌های کسب‌وکار برهم زده است [15].

۳-۲-۴- گسترش کاربردهای میزکار با پردازش بالا

آخرین نسخه‌های بسته‌های نرم‌افزاری ریاضی مانند مطلب^{۳۷} و مَتمَتیکا^{۳۸} این توانایی را دارند که برای انجام محاسبات پر حجم، از رایانش ابری استفاده کنند. برای بکارگیری رایانش ابری در دیگر کاربردهای میزکار هم کافی است، ارزیابی منطقی و ساده‌ای انجام گیرد و «هزینه‌ی محاسبات در ابر به اضافه‌ی هزینه‌ی انتقال داده‌ها به ابر و از آن‌را» با «سود حاصل از زمان صرفه‌جویی شده در نتیجه‌ی بکارگیری ابر» مقایسه شود. به عنوان نمونه‌ی مشابه دیگر، می‌توان به پردازش تصویر اشاره کرد. با در نظر گرفتن توصیف فشرده‌ی اشیا در یک صحنه‌ی سه بعدی و ویژگی‌های منابع نوری، ارایه‌ی تصویر، کاری بسیار موازی به شمار می‌رود که نسبت «محاسبات به بایت» بالایی دارد.

۳-۲-۵- کاربردهای ریشه‌دار

³⁵ MapReduce
³⁶ Hadoop
³⁷ MATLAB
³⁸ Mathematica

برخی کاربردها تنها با صرفه‌نظر از هزینه‌های انتقال داده کاندیدای مناسب و خوبی برای ابر به شمار می‌روند. بنابراین تاخیر انتقال به ابر و یا از آن یکی از محدودیت‌های اساسی اسفاده از ابر برای این کاربردهاست و با کاهش هزینه (و احتمالاً تاخیر) انتقال داده در سطح وسیع، این کاربردها پتانسیل بیشتری برای رایانش ابری خواهند یافت.

۳-۳- جنبه‌های اقتصادی رایانش ابری

یکی از اصلی‌ترین عواملی که بر توسعه‌ی رایانش ابری و گسترش حوزه‌های مختلف فناوریانه و تحقیقاتی تحت پوشش آن تاثیر می‌گذارد، جنبه‌های اقتصادی رایانش ابری است. از این‌رو در این بخش، مروری بر برخی از جنبه‌هایی که در تصمیم‌گیری بر روی پذیرش و بکارگیری مدل‌های رایانش ابری اهمیت خاصی دارند، خواهیم داشت.

۳-۳-۱- کشسانی: شیفت دادن ریسک

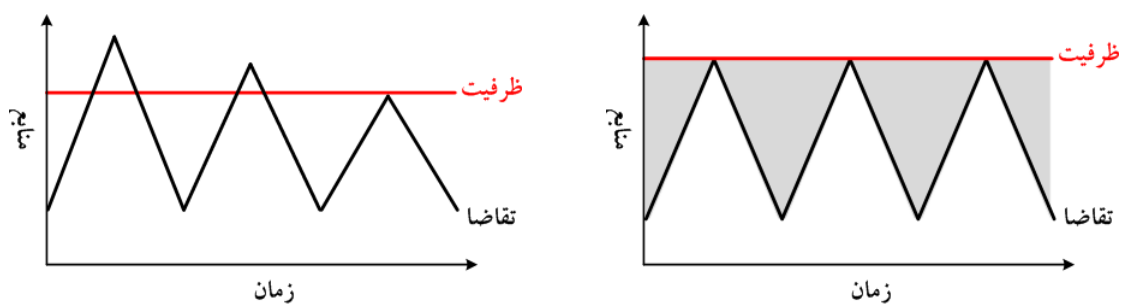
اگرچه برای توصیف جنبه‌ی اقتصادی رایانش ابری اغلب گفته می‌شود که «هزینه‌های سرمایه‌گذاری را به هزینه‌های عملیاتی تبدیل می‌کند»، می‌توان گفت که عبارت «پرداخت مبتنی بر مصرف» اشاره‌ی مستقیم‌تری به مزیت اقتصادی خریداران ابر دارد. در واقع ساعت‌های رایانش ابری خریداری شده را می‌توان به طور غیریکنواخت در طول زمان توزیع نمود. برای مثال می‌توانیم ۱۰۰ کارگزار-ساعت امروز مصرف کنیم، روز بعد مصرفی نداشته باشیم، و همچنان تنها به اندازه‌ی مصرف خود پرداخت کنیم. علاوه بر این، به دلیل عدم نیاز به سرمایه‌گذاری از پیش، می‌توان سرمایه‌ها را برای دیگر مسایل اصلی کسب‌وکار مصرف کرد. بنابراین، اگرچه ممکن است خرید کارگزار-ساعت از آمازون به صورت «پرداخت مبتنی بر مصرف» هزینه‌ی بیشتری نسبت به خرید یک کارگزار در همان مقیاس، در طول همان زمان داشته باشد، اما سود حاصل از جابجایی ریسک و انعطاف‌پذیری (کشسانی) رایانش ابری وزن بیشتری از این هزینه خواهد داشت. از جمله می‌توان به ریسک تامین بیش از حد و یا کمتر از حد مورد نیاز منابع اشاره کرد.

منظور از انعطاف‌پذیری و کشسانی این است که رایانش ابری، امکان افزودن و یا کاهش دادن منابع را با ریزدانه‌ی مناسبی فراهم می‌کند و به این ترتیب میزان منابع با مقدار بار تطابق نزدیک‌تری می‌یابد. تخمین‌هایی که از میزان بهره‌وری کارگزارها در مراکز داده‌ی دنیا موجود است در بازه‌ی ۵٪ تا ۲۰٪ قرار دارد [8,13]. ممکن است مقدار این تخمین بسیار پایین به نظر برسد، اما باید به این واقعیت توجه داشت که معمولاً پیک بار حدود ۲ تا ۱۰ برابر میانگین بار است. تعداد کمی از

کاربران به تدارک منابع کمتر از میزان پیک بار خود می پردازند و بنابراین منابع در زمان غیر پیک بدون مصرف می مانند. با مثال ساده ای می توان نشان داد که چگونه همین هدررفتگی منابع می تواند تامین منابع به صورت «پرداخت مبتنی بر مصرف» را نسبت به خرید یک کارگزار در همان مقیاس، در طول همان زمان، مقرون به صرفه تر نماید.

مثال - کشسانی: فرض می کنیم سرویسی با نیازمندی «تاخیر قابل پیش بینی» داریم که در هنگام بار خود در ظهر به ۵۰۰ کارگزار و در هنگام نیمه شب به ۱۰۰ کارگزار نیاز دارد. تا وقتی که میانگین استفاده ۳۰۰ کارگزار در طول روز باشد، میزان واقعی بهره وری در طول یک روز 300×24 برابر ۷۲۰۰ کارگزار-ساعت خواهد بود. در حالی که اگر به اندازه ی پیک بار تامین منابع کنیم، باید اندازه ی 500×24 که برابر ۱۲۰۰۰ کارگزار-ساعت است (ناحیه ی سایه خورده ی زیر منحنی در قسمت (الف) شکل ۱-۳) هزینه پردازی، که این مقدار هزینه ی پرداختی را $1/7$ برابر مقدار نیاز ما خواهد کرد.

تخمین بدست آمده در مثال فوق حد پایین سود حاصل از کشسانی رایانش ابری را نشان می دهد، زیرا در آن تغییر فصلی الگوی تقاضاها و یا جهش های ناگهانی که در میزان تقاضا متداول است در نظر گرفته نشده است. در قسمت (ب) شکل ۱-۳، حالت عدم تامین منابع به حد مورد نیاز نشان داده شده است. با عدم تامین منابع کافی نه تنها در نتیجه ی از دست دادن کاربران سود حاصل صفر می شود، بلکه ممکن است این کاربران به علت ضعیف بودن سرویس دیگر بازگشتی نداشته باشند. در شکل، این حالت به تصویر کشیده شده است. تقاضاها به تدریج کاهش می یابد تا زمانی - که پیک میزان تقاضای کاربران برابر مقدار ظرفیت مرکز داده شود.



(ب) عدم تامین منابع کافی

(الف) تامین منابع برای پیک بار

شکل ۱-۳

مثال - انتقال ریسک: فرض می کنیم ۱۰٪ از کاربرهایی که سرویس ضعیف دریافت می کنند، فرصت های برای همیشه از دست رفته باشند. سایت پژوهشگاه علوم و فن آوری اطلاعات را در نظر

می‌گیریم که به منظور ارایه‌ی یکی از سرویس‌های جدید خود، در ابتدا برای مدیریت ۴۰,۰۰۰ کاربر در حالت پیک تامین منابع کرده (۱۰۰۰ کاربر به ازای هر کارگزار $\times 40$ کارگزار) ولی در نتیجه‌ی تاثیر تبلیغات، در ساعت اول ۵۰,۰۰۰ کاربر به آن رجوع می‌کنند. طبق فرض، از ۱۰,۰۰۰ کاربری که سرویس ضعیف دریافت می‌کنند، ۱۰٪ برای همیشه از دست می‌روند و ۳۹,۰۰۰ کاربر فعال باقی می‌گذارند. در ساعت بعد ۲۵,۰۰۰ کاربر جدید اضافه می‌شوند که ۱,۰۰۰ نفر از آن‌ها سرویس خوبی می‌گیرند و از ۲۴,۰۰۰ کاربری که بیش از ظرفیت مورد انتظار هستند، ۲,۴۰۰ کاربر دیگر بازگشتی ندارند و در نتیجه ۳۷,۶۰۰ کاربر دایمی باقی می‌مانند. اگر این الگو همچنان ادامه یابد، بعد از ۱۹ ساعت تعداد کاربران جدید نزدیک به صفر می‌شود، در حالی که برای اپراتور سرویس کمتر از ۴۰,۰۰۰ کاربر دایمی باقی مانده است.

آیا چنین مثالی در عمل اتفاق افتاده است؟ وقتی آنیموتو^{۳۹} [16] سرویس خود را از طریق فیس‌بوک در دسترس قرار داد، با حجم تقاضایی روبه‌رو شد که منجر شد تعداد کارگزارهای مورد نیاز در طول ۳ روز از ۵۰ به ۳۵۰۰ کارگزار افزایش یابد. هیچ‌کس پیش‌بینی نمی‌کرد که به مدت ۳ روز، میزان منابع موردنیاز هر ۱۲ ساعت ۲ برابر شود. پس از این پیک بار، ترافیک حالت پایدار به سطح پایین‌تری کاهش یافت. بنابراین در مثال‌های واقعی، کشسانی در افزایش منابع یک نیازمندی عملیاتی محسوب می‌شود و کشسانی در کاهش منابع نیز این امکان را فراهم می‌کند که منابع تدارک‌دیده شده تطابق دقیق‌تری با بار حالت پایدار داشته باشد.

این مثال و مثال‌های دیگر منفعت اصلی رایانش ابری را نشان می‌دهند: ریسک حاصل از نداشتن تخمین دقیق، از اپراتور سرویس به فروشنده‌ی ابر منتقل می‌شود. اگر فرض کنیم که فروشنده‌ی رایانش ابری، طرح پرداخت مبتنی بر مصرف را بکارگیرد و فرض کنیم که سود مشتری به طور مستقیم متناسب با تعداد کل کاربر-ساعت آن باشد، در این صورت:

$$UserHours_{cloud} \times (revenue - Cost_{cloud}) \geq UserHours_{datacenter} \times (revenue - \frac{Cost_{datacenter}}{Utilization})$$

در سمت چپ، با ضرب بازگشتی خالص به ازای هر کاربر-ساعت (درآمد حاصل از هر کاربر-ساعت منهای هزینه‌ی پرداخت‌شده برای رایانش ابری به ازای هر کاربر-ساعت) در تعداد کل کاربر-ساعت‌ها، مقدار سود موردانتظار از بکارگیری رایانش ابری بدست آورده شده است. در سمت راست، همین محاسبات برای مرکز داده‌ای با ظرفیت ثابت و با لحاظ کردن میانگین بهره‌وری، با توجه به بار زمان‌های غیر پیک در مرکز داده، انجام گرفته است. به این ترتیب هر سمتی

³⁹ Animoto: Video Slideshow Maker

که مقدار بزرگتری داشته باشد، شانس بالاتری برای بدست آوردن سود بیشتر خواهد داشت. واضح است که اگر بهره‌وری برابر ۱ باشد (تجهیزات مرکز داده به طور ۱۰۰٪ مورد استفاده قرار گیرد) حالت تساوی برقرار خواهد شد. اما نظریه‌ی صف می‌گوید که وقتی بهره‌وری به ۱ نزدیک می‌شود، زمان پاسخ‌دهی سیستم به بینهایت میل می‌کند. در عمل ظرفیت قابل استفاده‌ی مراکز داده بین ۰/۶ تا ۰/۸ است و مرکز داده باید در تامین منابع خود این میزان سر بار را به عنوان یک فاکتور لحاظ کند. این در حالی است که فروشنده‌ی ابر تنها *Costcloud* را در نظر می‌گیرد و از این رو می‌تواند طرح قیمت‌گذاری پرداخت مبتنی بر مصرف را بکار گیرد.

این معادله روشن می‌سازد که عامل مشترک در تمامی مثال‌ها، توانایی کنترل هزینه‌ی کاربر-ساعت برای ارایه‌ی سرویس است. در مثال اول، به دلیل عدم کشسانی منابع و در نتیجه بی‌بار ماندن آن‌ها، هزینه‌ی کاربر-ساعت افزایش می‌یابد (همین اتفاق وقتی که به علت عدم تخمین مناسب تقاضاها، میزان منابع کافی برای آن‌ها تامین نشود، تکرار خواهد شد). در مثال دوم، به دلیل عدم تخمین جهش تقاضاها و ارایه‌ی سرویس ضعیف تعدادی از کاربران دیگر بازگشتی ندارند و بنابراین از آنجایی که هزینه‌های ثابت می‌بایست بر روی تعداد کاربر کمتری تقسیم شود، هزینه‌ی کاربر-ساعت افزایش پیدا می‌کند.

۳-۲- مقایسه‌ی هزینه‌ها: آیا باید مدل‌های رایانش ابری را انتخاب کنیم؟

سوال مهم دیگری که از نظر اقتصادی مطرح می‌شود این است که آیا سرویس‌هایی که در حال حاضر بر روی مرکز داده‌ی ما پشتیبانی می‌شوند را به ابر منتقل کنیم، یا این که از لحاظ اقتصادی بهتر است که آن‌ها را همچنان در مرکز داده نگهداری کنیم؟ با استفاده از جدول ۳-۱ می‌توان نرخ تغییرات فن‌آوری‌های کلیدی رایانش ابری را در طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ دنبال کرد [17]. همان‌طور که انتظار می‌رود هزینه‌های «شبکه‌های گسترده»^{۴۰} کم‌ترین افزایش را داشته و در طول ۵ سال کم‌تر از ۳ برابر شده و در مقابل هزینه‌های محاسباتی بیش‌ترین افزایش هزینه را داشته است.

جدول ۳-۱ نرخ تغییرات فن‌آوری‌های کلیدی رایانش ابری

پهنای باند و ن بر ماه	ساعات سی‌پی‌یو	فضای ذخیره‌سازی	
لینک و ن ۱ مگابیت بر ثانیه	۲ گیگاهرتز سی‌پی‌یو	۲۰۰ گیگابایت دیسک، ۵۰ مگابایت بر ثانیه نرخ انتقال	منابع در سال ۲۰۰۳
۱۰۰ دلار در ماه	۲۰۰۰ دلار	۲۰۰ دلار	هزینه در سال ۲۰۰۳
۱ گیگابایت	۸ ساعت سی‌پی‌یو	۱ گیگابایت	قدرت خرید ۱ دلار

⁴⁰ WAN (Wide Area Network)

منابع در سال ۲۰۰۸	لینک ون ۱۰۰ مگابیت بر ثانیه	۲ گیگاهرتز سی پی یو	۱ ترابایت دیسک، ۱۱۵ مگابایت بر ثانیه نرخ انتقال
هزینه در سال ۲۰۰۸	۳۶۰۰ دلار در ماه	۱۰۰۰ دلار	۱۰۰ دلار
قدرت خرید ۱ دلار	۲/۷ گیگابایت	۱۲۸ ساعت سی پی یو	۱۰ گیگابایت
بهبود نسبت	۲/۷	۱۶	۱۰
هزینه به کارایی			
هزینه معادل قدرت خرید ۱			
دلار در سال ۲۰۰۸ در ای -	۰/۲۷ تا ۰/۴ دلار	۲/۵۶ دلار	۱/۲ تا ۱/۵ دلار
دبلیواس			

برای ساده سازی محاسبات، قدرت خرید یک دلار اندازه گیری شده است. در نگاه اول به نظر می رسد که بهتر است از یک دلار برای خرید سخت افزار استفاده کرد تا این که آن را برای مصرف همان سخت افزار هزینه نمود. اما در این تحلیل ساده باید چندین عامل مهم را در نظر گرفت.

- پرداخت جداگانه به ازای هر یک از منابع: بیشتر کاربردها، منابع محاسباتی، ذخیره سازی و پهنای باند شبکه را به یک اندازه مصرف نمی کنند. بنابراین در صورت وجود محدودیت در میزان هر یک از این منابع، ممکن است یکی از آنها به حد اشباع برسد در حالی که دیگری به بهره برداری کامل نرسد. رایانش ابری با ایجاد امکان پرداخت جداگانه به ازای منابع مختلف میزان هدر رفتگی آنها را کاهش می دهد. برای مثال فرض می کنیم که ظرفیت شبکه به طور کامل بهره برداری می شود ولی سی پی یو به میزان ۵۰ درصد مورد استفاده قرار می گیرد. در این صورت مرکز داده، در واقع دو برابر مقدار سیکل های سی پی یو استفاده شده، هزینه پرداخت می کند.

- هزینه های توان، خنک سازی و نگهداری فیزیکی: در بحث های تحلیلی مطرح شده تا اینجا، هزینه های توان، خنک سازی و نگهداری فیزیکی در نظر گرفته نشده اند. تخمین های انجام گرفته نشان می دهند که هزینه سی پی یو، ذخیره سازی و پهنای باند با در نظر گرفتن این هزینه ها تقریباً دو برابر می شوند [7,18]. بر اساس این تخمین هزینه ی خرید ۱۲۸ ساعت سی پی یو در واقع برابر ۲ دلار است نه ۱ دلار، و این هزینه باید با ۲/۵۶ دلار هزینه، برای اجاره ی منابع روی ای سی ۲ مقایسه شود.

- هزینه های عملیاتی: از آنجایی که رایانش ابری، با بکارگیری انتزاعی سازی، به جای ماشین های فیزیکی از ماشین های مجازی استفاده می کند، هزینه های عملیاتی کردن سخت افزارها به سمت فراهم کنندگان ابر منتقل می شود. اما از سوی دیگر، بسته به میزان و

سطح انتزاعی سازی بکارگرفته شده، ممکن است بخش عمده‌ی هزینه‌های مدیریت نرم-افزار در سمت کاربران باقی بماند.

مثال زیر نمونه‌ای از تصمیم‌گیری در مورد انتقال یک سرویس بر روی ابر را مطرح می‌کند. مثال - فرض کنید یک آزمایشگاه بیولوژی به ازای هر آزمایش ۵۰۰ گیگابایت داده‌ی جدید تولید می‌کند. کامپیوتری که سرعتی معادل یک نمونه‌ای سی ۲ را داشته باشد، برای پردازش هر گیگابایت داده‌ی جدید ۲ ساعت زمان نیاز دارد. به فرض تجهیزات پردازشی این آزمایشگاه معادل ۲۰ نمونه‌ای سی ۲ است، در این صورت ارزیابی هر آزمایش $20 / 2 \times 500$ یا ۵۰ ساعت به طول می‌انجامد. همین ارزیابی می‌تواند با استفاده از ۱۰۰۰ نمونه در ای‌دبلیو‌اس تنها در ۱ ساعت انجام گیرد. هزینه‌ی هر آزمایش از نظر منابع محاسباتی برابر $1/10 \times 1000$ یا ۱۰۰ دلار و از نظر منابع شبکه برابر $1/10 \times 500$ یا ۵۰ دلار خواهد شد. اگر نرخ انتقال داده از آزمایشگاه تا ای‌دبلیو‌اس برابر ۲۰ مگابیت بر ثانیه باشد، در این صورت زمان انتقال بر حسب ثانیه برابر:

$$(500GB \times 1000MB/GB \times 8bits/Byte) / 20Mbits/sec = 200,000$$

و یا معادل ۵۵ ساعت است. بنابراین در حالی که پردازش محلی ۵۰ ساعت زمان نیاز دارد، پردازش روی ای‌دبلیو‌اس ۱+۵۵ یا ۵۶ ساعت به طول می‌انجامد. در نتیجه انتقال چنین سرویسی در شرایط بیان شده بر روی ابر، مقرون به صرفه‌ی زمانی نبوده و نباید صورت گیرد. در بخش بعد فرصتی برای غلبه بر این مانع (تاخیر انتقال) مطرح می‌شود.

۴- موانع و فرصت‌های اصلی رایانش ابری در ایران و جهان

در این بخش فهرستی از موانع رشد و توسعه‌ی رایانش ابری عنوان شده، و در مقابل هر مانع فرصتی برای برطرف کردن آن مطرح می‌شود. تمام موانعی که در مقابل گسترش رایانش ابری در سطح جهان شناسایی شده‌اند، در ایران نیز، تنها در مقیاسی متفاوت، مطرح هستند. از این‌رو فرصت‌های عنوان شده در برابر موانع نیز می‌توانند، تنها در مقیاسی متفاوت، برای گسترش هرچه وسیع‌تر رایانش ابری در ایران بکار گرفته شوند. این فرصت‌ها مجموعه‌ای از راه‌کارها، از توسعه‌ی محصولات ساده تا پروژه‌های تحقیقاتی بزرگ را در بر می‌گیرند. از ده موردی که در ادامه عنوان می‌شوند، سه مورد اول به موانع احتمالی در «پذیرش رایانش ابری» می‌پردازد، پنج مورد بعد موانعی هستند که بر «توسعه‌ی رایانش ابری» تاثیر می‌گذارند، و دو مورد آخر موانع «کسب‌وکار و سیاست‌گذاری در حوزه‌ی رایانش ابری» را مطرح می‌کنند.

۴-۱- دسترس پذیری سرویس

یکی از نگرانی سازمان‌ها درباره‌ی سرویس‌های رایانش ابری میزان دسترس‌پذیری کافی آن‌هاست. در حال حاضر محصولات «نرم‌افزار به عنوان سرویس» استانداردهای بالایی را ایجاد کرده‌اند. جستجوی گوگل در واقع نقش شماره‌گیر اینترنت را دارد: اگر مردم برای جستجو به گوگل مراجعه کنند و مشاهده کنند که در دسترس نیست، تصور می‌کنند که اینترنت قطع است. کاربران از سرویس‌های جدید هم میزان دسترس‌پذیری مشابهی را انتظار دارند که برآوردن آن مشکل است. جدول ۴-۱ قطعی‌های گزارش‌شده‌ی «اس۳»^{۴۱} گوگل، آپ‌انجین و جی‌میل^{۴۲} را در سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهد.

همان‌طور که فراهم‌کنندگان بزرگ سرویس برای در دسترس بودن از چندین فراهم‌کننده‌ی شبکه استفاده می‌کنند، راه‌حل دسترسی‌پذیری بسیار بالا در سرویس‌های ابری نیز، استفاده از چندین فراهم‌کننده‌ی رایانش ابری است. حتی اگر فراهم‌کننده‌ای چندین پایگاه داده در نقاط مختلف جغرافیایی داشته و از چند فراهم‌کننده‌ی شبکه استفاده کند، باز هم مدیریت سرویس‌های رایانش ابری تنها با اتکا بر چنین فراهم‌کننده‌ای «نقطه‌ی شکست منفرد» محسوب می‌شود، زیرا ممکن است فراهم‌کننده، زیرساخت نرم‌افزاری مشترکی داشته باشد و یا غیره.

جدول ۴-۱ قطعی‌ها در ای‌دبلیو‌اس، آپ‌انجین و جی‌میل

زمان	مدت	قطعی سرویس
۲۰۰۸/۲/۱۵	۲ ساعت	اس۳: به علت اضافه‌بار سرویس تصدیق هویت [19]
۲۰۰۸/۷/۲۰	۶ تا ۸ ساعت	اس۳: به علت گسترش نتایج یک خطای تک‌بیتی [1]
۲۰۰۸/۶/۱۷	۵ ساعت	آپ‌انجین: به علت خطای برنامه‌نویسی [20]
۲۰۰۸/۸/۱۱	۱/۵ ساعت	جی‌میل: قطعی سیستم تماس‌ها [21]

یکی دیگر از موانع دسترس‌پذیری، حملات توزیع‌یافته‌ی عدم پذیرش سرویس است. این حملات توسط شبکه‌ای از کاربرنماها انجام می‌گیرد که هر یک به ازای ۰/۰۳ دلار در هفته حاضر به شرکت در حمله می‌شوند [22]. با استفاده از قابلیت «افزایش سریع مقیاس» در رایانش ابری، امکان جلوگیری از این نوع حملات فراهم می‌شود. فرض کنید یک نمونه‌ی ای‌سی ۲ قادر به سرویس‌دهی

⁴¹ Simple Storage Service (S3)

⁴² Gmail

به ۵۰۰ کاربر باشد، در حالی که حمله‌ی صورت گرفته آن را با ۵۰۰۰۰۰۰ کاربرنما درگیر کرده و ۱ گیگابایت بر ثانیه پهنای باند اضافه بر ظرفیت مصرف نماید. با توجه به نرخ هر کاربرنما، حمله-کننده باید برای چنین حمله‌ای ۱۵۰۰۰ دلار از پیش سرمایه‌گذاری کند. حال با توجه به قیمت‌های کنونی ای‌دبلیو‌اس این حمله برای هدف آن، ۳۶۰ دلار در ساعت اضافه هزینه‌ی پهنای باند و ۱۰۰ دلار در ساعت اضافه هزینه‌ی محاسباتی ایجاد خواهد کرد. بنابراین حمله باید ۳۲ ساعت ادامه پیدا کند تا برای هدف، هزینه‌ی بیشتری از حمله‌کننده ایجاد کند. ادامه‌ی چنین حملاتی به این مدت، به دلیل احتمال شناسایی کاربرنماها و پیامدهای بعدی آن بسیار مشکل است.

۴-۲- قفل شدن داده

با وجود این که میزان درهم‌کنش، میان بسترهای مختلف پشته‌های نرم‌افزاری بهبود یافته است، اما واسطه‌های برنامه‌نویسی رایانش ابری هنوز اختصاصی هستند. بنابراین، مشتری‌ها به سادگی نمی‌توانند داده‌ها و برنامه‌های خود را از یک سایت گرفته و روی سایت دیگری اجرا کنند. ممکن است از نظر فراهم‌کننده‌ی رایانش ابری قفل شدن مشتری جذاب باشد، اما کاربران رایانش ابری را آسیب‌پذیر می‌نماید و همین امر مانع پذیرش آن در برخی از سازمان‌ها می‌گردد. روشن است که راه‌حل، استانداردسازی واسطه‌های برنامه‌نویسی است تا توسعه‌دهندگان «نرم‌افزار به عنوان سرویس» بتوانند داده‌ها و سرویس‌ها را روی چندین فراهم‌کننده‌ی ابر گسترش دهند و به این ترتیب با از رده خارج شدن یکی از آن‌ها کپی تمام داده‌های مشتریان از دست نرود.

۴-۳- محرمانگی داده

راه‌کارهای کنونی ابر، بیشتر شبکه‌های عمومی محسوب می‌شوند تا شبکه‌های خصوصی، و سیستم را در معرض حملات بیشتری قرار می‌دهند. به نظر می‌رسد مانعی اساسی برای امن‌سازی محیط رایانش ابری وجود ندارد و بسیاری از موانع با بکارگیری فن‌آوری‌های شناخته‌شده‌ای مانند ذخیره-سازی رمز شده، شبکه‌های محلی مجازی و تجهیزات شبکه مانند فایروال‌ها و فیلترهای بسته برطرف می‌شوند. برای مثال، رمز کردن داده پیش از قرار دادن آن روی ابر، از نگهداری داده‌ی رمز نشده روی پایگاه داده‌ی محلی ایمن‌تر است.

مساله‌ی دیگر این است که قوانین بسیاری از کشورها، فراهم‌کنندگان نرم‌افزار به عنوان سرویس را ملزم می‌کند که داده‌های مشتریان را درون مرزهای ملی نگهداری کنند. رایانش ابری به کاربران و

فراهم‌کنندگان نرم‌افزار به عنوان سرویس آزادی بیشتری برای مکان ذخیره‌سازی آن‌ها می‌دهد. برای مثال سرویس‌های اس ۳ آمازون، از نظر فیزیکی در نقاط مختلف جهان قرار گرفته‌اند، و به فراهم‌کنندگان اجازه داده می‌شود که داده‌ها را در هر جایی که موردنظر آن‌هاست نگهداری کنند. به این ترتیب با یک تغییر ساده در پیکربندی ناحیه‌ای ای‌دبلیو‌اس، می‌توان از یافتن میزبانان خارجی و مذاکره با آن‌ها اجتناب کرد.

۴-۴- انتقال داده

حجم داده‌ی کاربردها همچنان در حال افزایش است و با فرض گسترده‌ی کاربردها روی ابرها، انتقال و مکان‌دهی داده می‌تواند پیچیده گردد. با نرخ انتقال ۱۰۰ تا ۱۵۰ دلار به ازای انتقال هر ترابایت، این هزینه‌ها به سرعت افزایش می‌یابد و هزینه‌ی انتقال داده را به عنوان مساله‌ای مهم مطرح می‌سازد. یکی از فرصت‌هایی که برای رفع این مانع وجود دارد، انتقال فیزیکی داده از طریق دیسک است. همچنین باید توجه داشت که وقتی برای یک‌بار داده به هر علتی به ابر منتقل شد، امکان و انگیزه‌ی استفاده از بسیاری از سرویس‌های جدید ابر برای آن ایجاد می‌شود. برای مثال آمازون دادگان عمومی بزرگی را به صورت رایگان روی اس ۳ میزبانی می‌کند. از آنجایی که انتقال داده بین ای‌سی ۲ و اس ۳ هزینه‌ای ندارد، نگهداری این دادگان می‌تواند موجب «گیرایی» استفاده از سیکل‌های ای‌سی ۲ شوند. راه‌کار اساسی دیگر این است که هزینه‌ی پهنای باند شبکه (که در نتیجه‌ی هزینه‌ی فن‌آوری بکار رفته در مسیریاب‌ها و فیبرهای ارتباطی است) با سرعت بیشتری کاهش یابد. علاوه بر پهنای باند شبکه‌ی گسترده، شبکه‌ی داخلی نیز می‌تواند موجب کاهش کارایی شود. در مراکز داده عموماً بین ۲۰ تا ۸۰ گره‌ی پردازشی از طریق یک سویچ به سویچ لایه‌ی توزیع وصل می‌شوند که آن‌ها نیز به نوبه‌ی خود به مسیریاب‌ها وصل می‌شوند و از طریق آن‌ها با ناحیه‌ی ذخیره‌سازی و شبکه‌ی گسترده در ارتباطند. پهنای باند ۱ گیگابیت برای پردازش‌های بین گره‌ای می‌تواند گلوگاه کارایی محسوب شود و بکارگیری پهنای باند ۱۰ گیگابیت برای هر یک از کارگزارها هم ممکن است چندان مقرون به صرفه نباشد.

۴-۵- بازده غیرقابل پیش‌بینی

تجربه نشان می‌دهد که در رایانش ابری چندین ماشین مجازی می‌توانند به خوبی، سی‌پی‌یو و حافظه‌ی اصلی را به اشتراک بگذارند، اما اشتراک ورودی/خروجی مساله‌ساز است. بررسی‌ها نشان

می‌دهد که تداخل ورودی/خروجی بین ماشین‌های مجازی مساله‌ی مهمی است که بر روی کارایی آن‌ها تاثیر بسزایی دارد. یکی از فرصت‌های ممکن، بهبود معماری و سیستم‌عامل‌هاست، به گونه‌ای که وقفه‌ها^{۴۳} و کانال‌های ورودی/خروجی به صورت کارا مجازی‌سازی شوند. راه‌کار امکان‌پذیر دیگر استفاده از حافظه‌های سریع^{۴۴} است که به نسبت دیسک‌ها از تعداد ورودی/خروجی بیشتری «در هر ثانیه و به ازای هر گیگابایت فضای ذخیره‌سازی» حمایت می‌کنند. به این ترتیب با کاهش تداخل‌های ورودی/خروجی امکان اجرای کاربردهای بیشتری بر روی یک کامپیوتر مشترک فراهم می‌شود. مساله‌ی دیگری که بازده را غیرقابل پیش‌بینی می‌کند، زمان‌بندی ماشین‌های مجازی به خصوص برای پردازش‌های با کارایی بالاست. در واقع مساله این است که در بسیاری از کاربردهای از این دست، باید از همزمان اجرا شدن بخش‌هایی از برنامه اطمینان پیدا کرد. بنابراین برای رفع این مانع باید قابلیت زمان‌بندی گروهی در رایانش ابری ارایه شود.

۶-۴- ذخیره‌سازی مقیاس‌پذیر

پیشتر گفته شد که سه ویژگی اصلی رایانش ابری عبارتند از امکان استفاده‌ی کوتاه مدت از منابع، عدم نیاز به پرداخت هزینه‌ی از پیش، و دسترسی بر حسب تقاضا به ظرفیت نامحدود منابع. اگرچه این مفاهیم در حوزه‌ی منابع محاسباتی روشن است، چگونگی اعمال آن در حوزه‌ی منابع ذخیره‌سازی هنوز به عنوان یک مساله‌ی باز مطرح است. راه‌کار این مساله، انجام پروژه‌های تحقیقاتی با هدف ایجاد سیستم ذخیره‌سازی است که از این قابلیت‌ها حمایت کند و انتظارات برنامه‌نویس را در مدیریت منابع از لحاظ مقیاس‌پذیری و دسترسی بالا برآورده سازد.

۷-۴- خطاها در سیستم‌های بزرگ توزیع‌یافته

یکی از چالش‌های رایانش ابری برطرف‌سازی خطاهایی است که در سیستم‌های توزیع‌یافته‌ی بسیار بزرگ صورت می‌گیرد. مساله‌ی متداول این است که این خطاها در پیکربندی‌های کوچک‌تر قابل بازسازی نیستند و تنها در مقیاس مراکز داده‌ی عملیاتی رخ می‌دهند. از این‌رو خطایابی نیز باید در همین مقیاس انجام گیرد. یکی از راه‌های برخورد با این مانع، اطمینان کردن بر ماشین‌های مجازی در رایانش ابری است. در واقع این سطح از مجازی‌سازی که در رایانش همگانی بسیار متداول

⁴³ interrupt

⁴⁴ Flash memory

است، امکان بدست آوردن اطلاعات ارزشمندی را فراهم می‌کند که بدون ماشین‌های مجازی دست‌یابی به آن‌ها ممکن نیست.

۴-۸- مقیاس‌پذیری سریع

طرح پرداخت مبتنی بر مصرف برای منابع ذخیره‌سازی و شبکه، بر حسب بیت‌های مورد استفاده قابل اعمال است. اما در مورد منابع محاسباتی قضیه تا حدی متفاوت است و به سطح مجازی‌سازی بستگی پیدا می‌کند. برای مثال آپ‌انجین گوگل در پاسخ به تغییرات بار، به طور خودکار به مقیاس-دهی می‌پردازد و بر حسب سیکل‌های استفاده شده از کاربران هزینه دریافت می‌کند. هزینه‌ای که ای‌دبلیو‌اس دریافت می‌کند به تعداد نمونه‌ها و ساعت‌هایی که کاربر آن‌ها را اشغال می‌کند بستگی دارد (حتی اگر ماشین بیکار بماند). بنابراین راه‌کاری که می‌توان عنوان کرد این است که برای صرفه‌جویی در هزینه، مقیاس منابع محاسباتی در پاسخ به میزان بار، بدون تخطی از کیفیت سرویس توافق شده، به سرعت افزایش یا کاهش پیدا کند. به این منظور می‌توان به عنوان مثال، با بکارگیری قابلیت‌های تشخیص و پیش‌بینی روش‌های آماری یادگیری ماشینی، به عنوان ابزاری برای مقیاس‌پذیری خودکار و پویا استفاده نمود.

۴-۹- اعتبار مشترک

مفهوم «اعتبار» به خوبی مجازی‌سازی نشده است و رفتار بد یک مشتری می‌تواند بر اعتبار کل ابر تاثیر منفی بگذارد. برای مثال لیست‌سیاه محسوب کردن آدرس‌های آی‌پی ای‌سی‌۲ توسط سرویس-های جلوگیری از هرزنامه، تعداد کاربردهایی که امکان میزبانی آن‌ها وجود دارد را محدود می‌کند. یک فرصت ممکن برای برطرف کردن این مانع، ایجاد سرویس‌های حفاظت از اعتبار است، مشابه سرویس‌های «ایمیل مطمئن» که در حال حاضر برای سرویس‌های میزبانی شده توسط آی‌اس‌پی^{۴۵} های کوچک‌تر ارائه می‌شود. مساله‌ی حقوقی دیگر، انتقال مسوولیت قانونی است. به این معنا که این امکان برای فراهم‌کنندگان رایانش ابری فراهم شود، که مسوولیت قانونی بر عهده‌ی مشتری باقی بماند و به آن‌ها منتقل نشود. برای مثال شرکتی که هرزنامه می‌فرستد باید مسوولیت آن‌را بر عهده بگیرد نه آمازون.

⁴⁵ ISP(Internet Service Provider)

۴-۱۰- مجوزدهی نرم افزار

مجوزهای کنونی نرم افزار، کامپیوترهایی که نرم افزار بر روی آنها اجرا می شود را محدود می سازند. کاربرها پس از خرید نرم افزار، باید هزینه نگهداری سالیانه آن را پرداخت کنند. این هزینه سالیانه نگهداری نرم افزار ممکن است به بیش از ۲۲ درصد هزینه خرید نرم افزار برسد [13]. بنابراین، مدل مجوزدهی نرم افزارهای تجاری چندان مناسب ارایه در رایانش همگانی نیست. به همین دلیل، بسیاری از فراهم کنندگان رایانش ابری متکی بر نرم افزارهای کدآزاد هستند. راهکار ممکن این است که یا بکارگیری نرم افزارهای کدآزاد همچنان در سطح گسترده باقی بمانند، و یا این که شرکت های تولیدکننده نرم افزارهای تجاری، ساختار مجوزدهی خود را به گونه ای تغییر دهند که سازگاری بیشتری با رایانش ابری داشته باشد. برای مثال، ماکروسافت و آمازون در حال حاضر مدل پرداخت مبتنی بر استفاده را برای مجوزدهی به نرم افزارهای «کارگزار ویندوز» و «کارگزار اِس کیوال ویندوز» بر روی آمازون ارایه می دهند.

۵- جمع بندی و معرفی بهترین کاربردها و خدمات رایانش ابری

با گسترش رایانش ابری، رویای همگانی شدن خدمات رایانشی به تحقق رسیده است و هم اکنون امکان ارایه ی مستقیم این خدمات، مطابق با میزان نیازمندی مشتریان، از طریق اینترنت فراهم گردیده است. فراهم کنندگان رایانش ابری با ایجاد مراکز داده در نقاط ارزان قیمت و بهره گیری از مالتی پلکس آماری در ارایه ی خدمات به تعداد زیادی از مشتریان، از راه ارایه ی خدمات مختلف، بر طبق مدل پرداخت مبتنی بر مصرف، سود حاصل می کنند. در مقابل کاربران رایانش ابری نیز از قابلیت های آن، از جمله کشسانی منابع بر حسب تقاضا و عدم نیاز به سرمایه گذاری برای راه اندازی مراکز داده، بهره می برند.

با وجود آن که در حال حاضر پذیرش گسترده ی رایانش ابری با موانعی روبه رو است، اما همان طور که در این گزارش نیز بررسی شد، برای برطرف ساختن تمام این موانع راهکارهایی وجود دارد که در بلند مدت به مرحله ی بهره برداری خواهند رسید. بنابراین توسعه دهندگان و فراهم کنندگان سرویس باید به فکر طراحی سیستم های ارایه ی سرویس مبتنی بر مدل های رایانش ابری باشند. در ادامه ی این بخش به معرفی و مقایسه ی برخی از کاربردها و خدمات رایانش ابری که در این زمینه موفق بوده اند، می پردازیم.

۵-۱- معرفی نمونه‌های برتر در مدیریت ماشین‌های مجازی

یکی از مسایل عمده‌ای که فراهم‌کنندگان ابر با آن مواجه می‌شوند، مدیریت جامع منابع فیزیکی و مجازی است. در واقع آرایش^{۴۶} منابع باید به گونه‌ای انجام گیرد که منابع مورد نیاز کاربردهای مختلف به صورت سریع و پویایی تامین شود. ابزار نرم‌افزاری که وظیفه‌ی آرایش^{۴۷} منابع را بر عهده دارد، «مدیر زیرساخت مجازی»^{۴۸} یا به طور مخفف وی‌آی‌ام نامیده می‌شود. عمل‌کرد این نرم‌افزار مشابه سیستم‌عامل‌های متداول است، با این تفاوت که در عوض مدیریت یک کامپیوتر، منابع چندین کامپیوتر را مدیریت کرده و نمای واحدی از آن‌ها را به کاربر و کاربردها نمایش می‌دهد.

در ادامه، ابتدا به بیان مجموعه‌ای از ویژگی‌های مورد انتظار وی‌آی‌ام‌ها برای مدیریت ماشین‌های مجازی، و سپس به معرفی تعدادی از وی‌آی‌ام‌هایی که با موفقیت مورد استفاده‌ی بسیاری از فراهم‌کنندگان ابر قرار گرفته‌اند می‌پردازیم. ویژگی‌های اصلی وی‌آی‌ام‌ها عبارتند از:

- **پشتیبانی از مجازی‌سازی:** مالکیت موقت و اجاره‌ی منابع ابر ایجاب می‌کند که یک زیرساخت فیزیکی واحد، به چندین مشتری با نیازمندی‌های مختلف سرویس دهد. منابع مجازی را می‌توان با انعطاف‌پذیری بالایی استفاده کرد و آزاد نمود. این ویژگی‌ها امکان ایجاد یک زیرساخت مجازی را فراهم می‌کنند که می‌تواند منابع مرکز داده را بین چندین مشتری تقسیم کند.
- **خودسرویس‌دهی، تامین منابع بر حسب نیاز:** امکان خودسرویس‌دهی کاربران در دسترسی به منابع، یکی از ویژگی‌های گیرای ابر به شمار می‌رود. این ویژگی‌ها به کاربران امکان می‌دهد که بدون نیاز به تعامل با عوامل انسانی، به طور مستقیم و بر حسب نیاز از سرویس‌های ابر استفاده کنند. با توجه به قابلیت حذف فرآیندهای زمان‌گیر انسانی، این ویژگی‌ها از ویژگی‌های بسیار مطلوب وی‌آی‌ام‌ها هستند.
- **پشتیبانی از چندین «هایپر وایزر»:**^{۴۹} مدل‌ها و ابزارهای مختلف مجازی‌سازی، مزایا، کمبودها و محدودیت‌های متفاوتی دارند. بنابراین برخی از وی‌آی‌ام‌ها، صرف‌نظر از فناوری‌های مجازی‌سازی بکاررفته، لایه‌ی مدیریت واحدی را ارایه می‌کنند. این ویژگی

⁴⁶ orchestration

⁴⁷ orchestration

⁴⁸ Virtual Infrastructure Manager (VIM)

⁴⁹ Hypervisor

به خصوص در وی‌آی‌ام‌های متن‌باز که با هدف تعامل با هایپر وایزرهای مختلف طراحی می‌شوند، به صورت بارزتری دیده می‌شود.

▪ **دارا بودن واسط با ابرهای عمومی:** تحقیقات نشان داده است که افزایش ظرفیت زیرساخت محاسباتی داخلی با استفاده از منابع ابرهای عمومی بسیار سودمند است. یک وی‌آی‌ام تنها در صورتی در پیاده‌سازی مدل ترکیبی ابر قابل استفاده است که بتواند «چرخه‌ی عمر»^{۵۰} منابع مجازی که از فراهم‌کنندگان خارجی ابر گرفته می‌شوند را مدیریت کند. به گونه‌ای که از دید کاربردها، نحوه‌ی استفاده از منابع داخلی و خارجی کاملاً یکسان به نظر برسد.

▪ **امکان اختصاص پویای منابع:** کاهش مصرف انرژی (که در مراکز داده و زیرساخت‌های ابری از اهمیت بالایی برخوردار است) و مدیریت بهتر «توافق‌نامه‌های سرویس‌دهی»^{۵۱} تنها با نگاشت پویای ماشین‌های مجازی به ماشین‌های فیزیکی، در بازه‌های زمانی مشخص، قابل دستیابی است. تعدادی از وی‌آی‌ام‌ها دارای قابلیت اختصاص پویای منابع هستند و می‌توانند با پایش مداوم میزان بهره‌وری منابع و مطابق با نیازمندی کاربردها، منابع را به طور پویایی به ماشین‌های مجازی اختصاص دهند.

▪ **پشتیبانی از امکان رزرو و سازوکار مذاکره:** در حالت عادی تقاضای کاربران در صورتی که منابع در دسترس باشد پذیرفته می‌شود. اگر تقاضای کاربران مبنی بر این باشد که در زمان مشخصی منابع در اختیار آن‌ها قرار گیرد، این نوع تقاضا «از پیش رزرو»^{۵۲} کردن محسوب می‌شود. برای پشتیبانی از این نوع تقاضاهای پیچیده، وی‌آی‌ام‌ها باید انواع پیچیده‌تری از نحوه‌های بکارگیری و رهاسازی منابع را ارایه کنند. همچنین ممکن است دارای سازوکارهایی برای مذاکره با تقاضا کنندگان، به منظور توافق بر روی یکی از این نحوه‌ها، باشند.

▪ **دسترسی بالا و بازیابی داده:** در صورت وجود قابلیت دسترسی بالا در وی‌آی‌ام، می‌توان از پایین آمدن کاربردها و ایجاد وقفه در کسب‌وکار اجتناب کرد. تعداد محدودی از وی‌آی‌ام‌ها، با دارا بودن سازوکارهای شناسایی از کارافتادگی کارگزارهای فیزیکی و مجازی، از این قابلیت پشتیبانی می‌کنند. تهیه‌ی نسخه‌ی پشتیبان از داده‌هایی که در مدیریت ماشین‌های مجازی نقش دارند، از اهمیت خاصی برخوردار است و باید به گونه‌ای انجام گیرد که تاثیر بسیار کمی بر روی بازده سیستم‌ها داشته باشد. از این‌رو برخی از وی‌آی‌ام

⁵⁰ Life cycle

⁵¹ Service Level Agreement (SLA)

⁵² Advanced Reservation (AR)

ها دارای سازوکارهایی هستند که برای حفاظت از داده‌ها، نسخه‌ی پشتیبان افزایشی^{۵۳} از تصویر ماشین‌های مجازی تهیه می‌کنند.

در ادامه‌ی این بخش، با استناد بر ویژگی‌های اشاره شده، وی‌آی‌ام‌های مطرحی که با موفقیت در کاربردهای رایانش ابری مورد استفاده قرار گرفته‌اند را مقایسه و معرفی می‌نماییم.

آپاچی وی‌سی‌ال^{۵۴}

این نرم‌افزار توسط پژوهشگران دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی، به عنوان یک نرم‌افزار متن‌باز ارایه شد و تحت لیسانس بنیاد آپاچی قرار گرفت [23]. برخی از قابلیت‌های آپاچی وی‌سی‌ال عبارتند از: کنترل‌کننده‌ی چندبستری مبتنی بر «آپاچی / پی‌اچ‌پی»^{۵۵}، واسطه‌های درگاه وب و «ایکس‌ام‌ال-آرپی‌سی»^{۵۶}، پشتیبانی از انواع هایپر وایزرهای وی‌ام‌ور، شبکه‌های مجازی، خوشه‌های مجازی و از پیش رزرو کردن ظرفیت. ویژگی‌های اصلی آپاچی وی‌سی‌ال برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۵-۱ آورده شده‌اند.

آپ‌لاجیک^{۵۷}

آپ‌لاجیک [24] یک وی‌آی‌ام تجاری است که محصول شرکت «تری‌ترا»^{۵۸} در آمریکا است. این شرکت، این محصول خود را به عنوان «سیستم عامل توری» معرفی کرده است. برخی از قابلیت‌های آپ‌لاجیک عبارتند از: کنترل‌کننده‌ی مبتنی بر لینوکس، واسطه‌های «سی‌ال‌آی و جی‌یو‌آی»^{۵۹}، پشتیبانی از زن، فضای ذخیره‌سازی مجازی «جی‌وی‌سی»^{۶۰}، شبکه‌های مجازی، خوشه‌های مجازی، اختصاص پویای منابع، دسترسی بالا و حفاظت از داده. ویژگی‌های اصلی آپ‌لاجیک برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۵-۱ آورده شده‌اند.

سیتریکس اِسِنشِیالز^{۶۱}

⁵³ Incremental Backup

⁵⁴ Apache VCL

⁵⁵ Apache/PHP

⁵⁶ XML-RPC

⁵⁷ AppLogic

⁵⁸ 3tera Inc.

⁵⁹ CLI and GUI

⁶⁰ Global Volume Store (GVC)

⁶¹ Citrix Essentials

مجموعه‌ی سیتريکس اِسنشالز [25] یکی از غنی‌ترین نرم‌افزارهای وی‌آی‌ام موجود است که قابلیت‌های خاصی برای مدیریت و خودکارسازی مراکز داده دارد. برخی از قابلیت‌های آن عبارتند از: کنترل‌کننده‌ی مبتنی بر ویندوز، واسط‌های سی‌ال‌آی، جی‌یو‌آی، درگاه وب و ایکس‌ام‌ال-آرپی-سی، پشتیبانی از هایپر وایزرهای زن‌سرور و «هایپر-وی»^{۶۲} مایکروسافت، فضای ذخیره‌سازی مجازی «سی‌اس‌ال»^{۶۳}، شبکه‌های مجازی، اختصاص پویای منابع، دسترسی بالای سه لایه‌ای و حفاظت از داده. ویژگی‌های اصلی سیتريکس اِسنشالز برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۵-۱ آورده شده‌اند.

اِتمالی ای‌سی‌پی^{۶۴}

این بستر محاسباتی کشسان در کامل‌ترین نسخه‌ی خود، تقریباً تمام قابلیت‌هایی که یک فراهم‌کننده برای ارایه‌ی سرویس زیرساخت ابر نیاز دارد را داراست. برخی از قابلیت‌های اِتمالی ای‌سی‌پی عبارتند از: کنترل‌کننده‌ی مبتنی بر لینوکس، واسط‌های درگاه وب و سرویس‌های وب (رست)^{۶۵}، دارا بودن واسط به ابر عمومی ای‌سی‌۲ آمازون، پشتیبانی از هایپر وایزر زن، شبکه‌های مجازی، و خوشه‌های مجازی. ویژگی‌های اصلی اِتمالی ای‌سی‌پی برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۵-۱ آورده شده‌اند.

نیمبوس^{۶۶}

جعبه ابزار نیمبوس [26] بر اساس چارچوب گلوبوس ساخته شده است. نیمبوس بیشتر قابلیت‌های دیگر وی‌آی‌ام‌های متن‌باز را داراست که برخی از آن‌ها عبارتند از: کنترل‌کننده‌ی مبتنی بر لینوکس، واسط‌های «سازگار با ای‌سی‌۲ (سُپ)»^{۶۷} و «دبلیو‌اس‌آراف»^{۶۸}، دارا بودن واسط به ابر عمومی ای‌سی-۲ آمازون، پشتیبانی از هایپر وایزرهای زن و کی‌وی‌ام، شبکه‌های مجازی، و خوشه‌های مجازی. ویژگی‌های اصلی آپاچی وی‌سی‌ال برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۵-۱ آورده شده‌اند.

اُپن‌نیولا^{۶۹}

⁶² Hyper-V

⁶³ Citrix Storage Link

⁶⁴ Enomaly ECP(Elastic Computing Platform)

⁶⁵ REST

⁶⁶ Nimbus

⁶⁷ SOAP

⁶⁸ WSRF

⁶⁹ OpenNebula

اپن نیولا [27] یکی از غنی ترین وی آی ام های متن باز است که در ابتدا برای مدیریت زیرساخت های مجازی محلی شکل گرفت اما به دلیل دارا بودن واسطه های راه دور، توانایی ایجاد ابرهای عمومی را نیز دارد. برخی از قابلیت های اپن نیولا عبارتند از: کنترل کننده مبتنی بر لینوکس، واسطه های سی ال آی، ایکس ام ال-آر پی سی، «اُسی ای»^{۷۰} و جستار سازگار با ای سی ۲، دارا بودن واسط به ابرهای عمومی، پشتیبانی از زن، کی وی ام و وی ام ور، شبکه های مجازی، اختصاص پویای منابع و قابلیت ازپیش رزرو ظرفیت از طریق هیزیا^{۷۱}. ویژگی های اصلی اپن نیولا برای مقایسه ی دقیق تر در جدول ۵-۱ آورده شده اند.

اُپن پکس^{۷۲}

یکی از اهداف اصلی ساخت اپن پکس [28] بکارگیری از پیش رزرو به عنوان شیوه ی اصلی در اختصاص منابع ماشین های مجازی بود. برخی از قابلیت های اپن پکس عبارتند از: کنترل کننده ی (جاوا) چند بستری، واسطه های درگاه وب و سرویس های وب (رست)، پشتیبانی از سیتریکس زن-سرور و امکان ازپیش رزرو ظرفیت بر اساس مذاکره. ویژگی های اصلی اُنمالی ای سی پی برای مقایسه ی دقیق تر در جدول ۵-۱ آورده شده اند.

وی اسفیر

وی اسفیر [29] مجموعه ابزارهای وی ام ور است که با هدف انتقال زیرساخت های آی تی به ابرهای خصوصی تولید شده است. مجموعه قابلیت های بسیار غنی وی اسفیر در تمام لایه های معماری اش، آن را از سایر وی آی ام ها متمایز می سازد. برخی از قابلیت های وی اسفیر عبارتند از: کنترل کننده ی مبتنی بر ویندوز، واسطه های سی ال آی، جی یو آی، درگاه و سرویس های وب، دارا بودن واسط به ابرهای خارجی (شرکای ابر مجازی وی ام ور^{۷۳})، پشتیبانی از وی ام ور ای اس ایکس و ای اس ایکس-آی، فضای ذخیره سازی مجازی «وی ام اف اس»^{۷۴}، شبکه های مجازی، اختصاص پویای منابع، دسترسی بالا و حفاظت از داده. ویژگی های اصلی وی اسفیر برای مقایسه ی دقیق تر در جدول ۵-۱ آورده شده اند.

از جمله دیگر وی آی ام های مطرح می توان اُکالپیتوس [30]، اُویت [31] و آی اس اف [32] را نام برد که ویژگی های اصلی آن ها برای مقایسه ی دقیق تر در جدول ۵-۱ آورده شده اند.

⁷⁰ OCI

⁷¹ Haizea

⁷² OpenPEX (Open Platform and EXecution Environment)

⁷³ VMware vCloud partners

⁷⁴ vStorage VMFS

جدول ۵-۱. مقایسه نمونه‌های برتر مدیریت ماشین‌های مجازی

لیسانس	بستر کنترل کننده	واسط کاربر	هایپر وایزر	شبکه‌ی مجازی
آپاچی وی سی ال	چندبستری	درگاه، ایکس ام ال - آرپی سی	انواع وی ام اور	بله
آپ لاجیک	لینوکس	جی یو آی، سی ال آی	زن	بله
ستریکس استیشالز	ویندوز	جی یو آی، سی ال آی درگاه، ایکس ام ال - آرپی سی	زن سرور، هایپر-وی	بله
انمالی ای سی پی	لینوکس	درگاه، وب سرویس	زن	بله
نیمبوس	لینوکس	وب سرویس، دلیواس - آراف، سی ال آی	زن، کی وی ام	بله
اُپن نیولا	لینوکس	ایکس ام ال - آرپی سی سی ال آی، جاوا	زن، کی وی ام	بله
اُپن پکس	چندبستری	درگاه، وب سرویس	زن سرور	خیر
وی اسفیر	لینوکس ویندوز	جی یو آی، سی ال آی درگاه، وب سرویس	انواع وی ام اور	بله
اکالپتوس	لینوکس	وب سرویس، سی ال آی	زن، کی وی ام	بله
اُویت	لینوکس فدورا	درگاه	کی وی ام	خیر
آی اس اف	لینوکس	درگاه	وی ام اور، هایپر - وی، زن سرور	بله
واسط به ابر عمومی	ذخیره سازی مجازی	اختصاص پویای منابع	ازپیش رزرو ظرفیت	دسترسی بالا و حفاظت داده
خیر	خیر	خیر	بله	خیر
خیر	جی وی سی	بله	خیر	بله
خیر	ذخیره سازی ستریکس	بله	خیر	بله
آمازون	خیر	خیر	خیر	خیر

نیمبوس	ای سی ۲	خیر	در تجمیع با اپن نیولا	تجمیع با اپن نیولا	خیر
اُپن نیولا	ای سی ۲،	خیر	بله	بله (از طریق	خیر
	میزبان کشسان			هیزیا)	
اُپن پکس	خیر	خیر	خیر	بله	خیر
وی اسفیر	ابر مجازی وی -	وی ام اف اس	بله	خیر	بله
	امور (شرکا)				
اُکالپتوس	ای سی ۲	خیر	خیر	خیر	خیر
اُویت	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر
آی اس اف	ای سی ۲،	خیر	خیر	بله	نامشخص
	آی بی ام کُد،				
	سرویس اچ پی				

۵-۲- معرفی نمونه‌های برتر در ارایه‌ی سرویس زیرساخت

فراهم‌کنندگان سرویس زیرساخت عمومی اغلب به ارایه‌ی کارگزارهای مجازی، که شامل یک یا چند سی‌پی‌یو، سیستم‌عامل قابل انتخاب، و پشته‌ی نرم‌افزاری قابل پیکربندی هستند، می‌پردازند. علاوه بر این معمولاً این فراهم‌کنندگان، فضای ذخیره‌سازی و تسهیلات ارتباطاتی را نیز تامین می‌کنند. در ادامه، ابتدا به بیان مجموعه‌ای از قابلیت‌های مورد انتظار فراهم‌کنندگان آی‌دِبل‌ای‌اس، و سپس به معرفی تعدادی از نمونه‌های برتر این فراهم‌کنندگان که با موفقیت به ارایه‌ی سرویس پرداخته‌اند می‌پردازیم.

باید توجه داشت که قابلیت‌های ارایه شده توسط فراهم‌کنندگان آی‌دِبل‌ای‌اس بسیار متنوع است و اغلب، همین قابلیت‌ها آن‌ها را از یکدیگر متمایز می‌سازد. با این وجود، برخی از قابلیت‌های اصلی عبارتند از:

- **حضور گسترده‌ی جغرافیایی:** فراهم‌کنندگانی که در تمام سطح جهان به ارایه‌ی سرویس می‌پردازند، به منظور بهبود دسترسی و پاسخ‌دهی، اغلب چندین مرکز داده‌ی توزیع شده در سطح جهان می‌سازند. به این ترتیب آن‌ها نواحی جغرافیایی و کشورهای مختلفی را تحت پوشش سرویس خود قرار می‌دهند.
- **واسط‌های کاربری و دسترسی به کارگزارها:** انتظار می‌رود که یک فراهم‌کننده‌ی سرویس زیرساخت عمومی، با توجه به گوناگونی کاربران، چندین روش دسترسی به ابر

خود را در اختیار آن‌ها قرار دهد. برای مثال می‌توان به روش‌های جی‌یو‌آی (مناسب برای پیکربندی و راه‌اندازی تعداد محدودی کارگزار)، سی‌ای‌آی (انعطاف‌پذیر برای کارهای تکرارشونده با استفاده از اسکریپت) و سرویس‌های وب (برای دسترسی برنامه‌ریزی شده جهت ارایه‌ی سرویس‌های پیچیده بر روی ابر آی‌دبل‌ای‌اس) اشاره کرد.

▪ **رزرو پیشرفته‌ی ظرفیت:** اگر تقاضای کاربران مبنی بر این باشد که در زمان مشخصی منابع در اختیار آن‌ها قرار گیرد، این نوع تقاضا رزرو کردن پیشرفته‌ی ظرفیت محسوب می‌شود. با این وجود اغلب فراهم‌کنندگان تقاضاها را بر مبنای «بیشترین تلاش» پاسخ می‌دهند، به این ترتیب که تقاضای کاربران در صورتی که منابع در دسترس باشد پذیرفته می‌شود.

▪ **مقیاس‌پذیری خودکار و تعادل بار:** کشسانی به عنوان یکی از ویژگی‌های کلیدی سرویس زیرساخت ابری، به کاربران اجازه می‌دهد که بر اساس شاخص‌های خاص کاربرد مانند تعداد تراکنش‌ها در ثانیه، تعداد کاربران هم‌زمان و تاخیر تقاضا، شرایطی را برای افزایش یا کاهش مقیاس کاربرد خود تنظیم کنند. بدیهی است که وقتی در نتیجه‌ی مقیاس‌پذیری خودکار تعداد کارگزارهای مجازی افزایش یافت، ترافیک ورودی نیز باید به طور خودکار بین این کارگزارها توزیع شود.

▪ **توافق‌نامه‌ی سرویس‌دهی:** فراهم‌کنندگان سرویس زیرساخت برای بیان دقیق کیفیت سرویس خود، به ارایه‌ی توافق‌نامه‌های سرویس‌دهی می‌پردازند. بیشتر فراهم‌کنندگان تاکید خود را بر روی تضمین میزان دسترسی می‌گذارند و در توافق‌نامه‌ی خود حداقل مدت زمانی که در طول یک دوره‌ی زمانی مشخص در دسترس هستند را برحسب درصد بیان می‌کنند.

در ادامه‌ی این بخش، با استناد بر ویژگی‌های اشاره شده، نمونه‌های مطرح سرویس‌های زیرساختی که با موفقیت در ارایه‌ی کاربردهای رایانش ابری مورد استفاده قرار گرفته‌اند را مقایسه و معرفی می‌نماییم.

سرویس‌های وب آمازون

سرویس‌های وب آمازون نقش عمده و مهمی در بازار رایانش ابری ایفا می‌کنند. یکی از نخستین سرویس‌های زیرساخت، ابر کشسان آمازون [33] است که به ارایه‌ی (نمونه‌ی) کارگزارهای مجازی مبتنی بر زن می‌پردازد. این نمونه‌ها از «تصاویر ماشین آمازون»^{۷۵} گرفته می‌شوند و در انواع مختلف

⁷⁵ Amazon Machine Images (AMIs)

اندازه‌ها، سیستم‌های عامل، معماری‌ها و قیمت‌ها موجود هستند. قابلیت کشسانی از ترکیب ویژگی‌های تعادل بار کشسان، مقیاس‌دهی خودکار و «کُلدواچ»^{۷۶} حاصل می‌شود و این امکان را فراهم می‌کند که تعداد نمونه‌ها به طور خودکار و بر اساس مجموعه‌ای از قوانین قابل‌پیکربندی افزایش و کاهش یافته و بار ترافیک بر روی نمونه‌های در دسترس توزیع شود. برخی از قابلیت‌های سرویس‌های وب آمازون عبارتند از: گستردگی بالای جغرافیایی و دارا بودن چندین مرکز داده در نقاط مختلف جهان، واسطه‌های کاربری سی‌ال‌آی، وب‌سرویس (سُپ و «جستار»)^{۷۷} و کنسول وب‌پایه، دسترسی به نمونه‌های کارگزارها از طریق «اس‌اس‌اچ»^{۷۸} (در لینوکس) و «میزکار دور»^{۷۹} (در ویندوز)، امکان رزرو پیشرفته‌ی ظرفیت که دسترس‌پذیری را تضمین می‌کند، تضمین ۹۹/۵ درصد دسترس‌پذیری در توافق‌نامه‌ی سرویس‌دهی، قیمت‌گذاری بر حسب ساعت، پشتیبانی از سیستم‌عامل‌های لینوکس و ویندوز، مقیاس‌دهی خودکار و تعادل بار. ویژگی‌های اصلی سرویس‌های وب آمازون برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۵-۲ آورده شده‌اند.

فلکسی‌اسکیل^{۸۰}

فلکسی‌اسکیل [34] نیز سرویس‌هایی مشابه سرویس‌های وب آمازون ارائه می‌کند، با این تفاوت که کارگزارهای مجازی آن ویژگی‌های متمایزی دارند. برجسته‌ترین این ویژگی‌ها عبارتند از: دارا بودن فضای ذخیره‌سازی مداوم و آدرس‌های ثابت آی‌پی به طور پیش‌فرض، شبکه‌ی مجازی اختصاصی، بازه‌ی گسترده‌تری از اندازه‌های کارگزارها، و تنظیم ظرفیت سی‌پی‌یو در زمان اجرا (که به آن مقیاس‌پذیری عمودی نیز گفته می‌شود). برخی از قابلیت‌های سرویس‌های فلکسی‌اسکیل عبارتند از: پوشش بالای سرویس‌ها در انگلیس، واسطه‌های کاربری وب‌سرویس (سُپ) و وب‌پایه، دسترسی به نمونه‌های کارگزارها از طریق «اس‌اس‌اچ» (در لینوکس) و «میزکار دور» (در ویندوز)، تضمین ۱۰۰ درصد دسترس‌پذیری در توافق‌نامه‌ی سرویس‌دهی و بازیابی خودکار واسین‌های مجازی در صورت ازکارافتادگی سخت‌افزاری، قیمت‌گذاری بر حسب ساعت، پشتیبانی از سیستم‌عامل‌های لینوکس و ویندوز، و مقیاس‌دهی خودکار (عمودی و افقی). ویژگی‌های اصلی سرویس‌های فلکسی‌اسکیل برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۵-۲ آورده شده‌اند.

جُینت^{۸۱}

⁷⁶ CloudWatch

⁷⁷ query

⁷⁸ SSH(Secure Shell)

⁷⁹ Remote Desktop

⁸⁰ Flexiscale

⁸¹ Joyent

ابر عمومی جُئیت [35]، به ارایه‌ی کارگزارهایی مبتنی بر «کانتینرهای سُلاریس»⁸² (که در واقع پیاده‌سازی فناوری مجازی‌سازی در سطح سیستم‌عامل هستند) می‌پردازد. برجسته‌ترین مشخصه‌ی کارگزارهای مجازی جُئیت، مقیاس‌پذیری خودکار هسته‌های سی‌پی‌یو است که به کارگزار مجازی اجازه می‌دهد، تعداد هسته‌های پردازشی خود را تا بیشینه‌ی تعداد هسته‌های پردازشی موجود در میزبان فیزیکی افزایش دهد. برخی از قابلیت‌های سرویس‌های ابر عمومی جُئیت عبارتند از: پوشش بالای سرویس‌ها در امریکا، واسط کاربری وب‌پایه، دسترسی به نمونه‌های کارگزارها از طریق اِس-اِس‌اچ و ابزارهای مدیریتی وب‌پایه، تضمین ۱۰۰ درصد دسترسی‌پذیری در توافق‌نامه‌ی سرویس-دهی، قیمت‌گذاری بر حسب ماه، پشتیبانی از مجازی‌سازی در سطح سیستم‌عامل (کانتینرهای سُلاریس)، سیستم‌عامل اُپن‌سُلاریس، و مقیاس‌دهی خودکار (عمودی). ویژگی‌های اصلی سرویس-های جُئیت برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۵-۲ آورده شده‌اند.

گُگرید

گُگرید [36] نیز مانند بسیاری از دیگر فراهم‌کنندگان سرویس‌های زیرساخت، برای مشتریان خود امکان استفاده از تعدادی تصاویر ازپیش آماده‌ی ویندوز و لینوکس را، در قالب نمونه‌هایی با اندازه-های مختلف، فراهم می‌آورد. مهم‌ترین مشخصه‌ی سرویس‌های گُگرید، امکان «میزبانی هیبرید» است که به کاربران اجازه می‌دهد ضمن بهره بردن از مزایای میزبان‌های اختصاصی (که ممکن است به دلایل قانونی، امنیتی و یا کارایی مشخص مورد نیاز باشند)، از مزایای مقیاس‌پذیری برحسب‌نیاز زیرساخت‌های ابری نیز استفاده کنند. از جمله دیگر ویژگی‌های سرویس‌های گُگرید، تامین بدون هزینه‌ی تعادل بار سخت‌افزار، قابلیت‌های مقیاس‌پذیری و فضای ذخیره‌سازی دائمی است (که تامین آن‌ها توسط بیشتر فراهم‌کنندگان دیگر سرویس‌های زیرساخت همراه با هزینه خواهد بود). ویژگی‌های اصلی سرویس‌های گُگرید برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۵-۲ آورده شده‌اند.

کارگزارهای ابر رَک‌اِسپیس

کارگزارهای ابر رَک‌اِسپیس [37] انواع مختلفی از تصاویر ازپیش آماده‌ی ببتنی بر لینوکس را، در قالب نمونه‌هایی با اندازه‌ی ثابت، ارایه می‌کنند. کاربران می‌توانند تصاویر با اندازه‌های متفاوت را تقاضا کنند که اندازه (به جای سی‌پی‌یو) برحسب رَم تقاضاشده اندازه‌گیری می‌شود. این کارگزارها نیز مشابه گُگرید، با پشتیبانی از روی‌کرد هیبرید، امکان استفاده از مزایای هر دو شیوه‌ی محاسباتی

⁸² Solaris containers

متداول و ابری را، با ترکیب آن‌ها بر حسب نیاز، فراهم می‌کنند. از جمله دیگر ویژگی‌های سرویس‌های کارگزارهای ابر رک‌اسپیس، تامین بدون هزینه‌ی تعادل بار، دسترسی به آدرس‌های ثابت (استاتیک) آی‌پی و فضای ذخیره‌سازی دائمی است. ویژگی‌های اصلی سرویس‌های گُگرید برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۲-۵ آورده شده‌اند.

جدول ۲-۵. مقایسه نمونه‌های برتر سرویس‌های زیرساخت

واسط کاربر	دسترسی به سرور	رزرو پیش رفته ظرفیت	توافق‌نامه سرویس	واحد فروش	هایپر وایزر	
آمازون ای‌سی ۲	سی‌ال‌آی، وب سرویس، درگاه	اس‌اس‌اچ (لینوکس)، میزکار دور (ویندوز)	نمونه‌های رزرو شده‌ی آمازون	% ۹۹/۹۵	ساعت	زن
فِلِکسی‌اسکیل	کنسول وب	اس‌اس‌اچ	خیر	% ۱۰۰	ساعت	زن
گُگرید	رست، پی‌اچ‌پی پایتون، جاوا	اس‌اس‌اچ	خیر	% ۱۰۰	ساعت	در سطح سیستم عامل
ابر جُینت	اس‌اس‌اچ، مین مجازی	اس‌اس‌اچ	خیر	% ۱۰۰	ماه	زن
سرورهای ابر رک‌اسپیس	رست، پی‌اچ‌پی پایتون، درگاه، جاوا، دات‌نت	اس‌اس‌اچ	خیر	% ۱۰۰	ساعت	زن
سیستم عامل میزبان	مقیاس دهی خودکار	تعادل بار	ظرفیت نمونه‌ی سخت افزاری	حافظه	ذخیره سازی	
آمازون ای‌سی ۲	لینوکس، ویندوز	دردسترس با کُلد واچ آمازون	تعادل بار کشسان	۱۵-۱/۵	۱۶۰-۱۶۹۰ گیگا بایت، ۱ گیگابایت تا ۱ ترابایت	۲۰-۱ واحد پردازشی ای‌سی ۲
فِلِکسی‌اسکیل	لینوکس، ویندوز	خیر	نرم افزار (زُوس)	۱۶-۰/۵	۲۰-۲۷۰ گیگابایت	۴-۱ سی پی یو
گُگرید	لینوکس، ویندوز	خیر	سخت افزار (اف ۵)	۸-۰/۵	۳۰-۴۸۰ گیگابایت	۶-۱ سی پی یو
ابر جُینت	اُپن سُلاریس	خیر	هم زُوس و هم اف ۵	۳۲-۰/۲۵	۵-۱۰۰ گیگابایت	یک شانزدهم تا ۸ سی پی یو
سرورهای ابر رک‌اسپیس	لینوکس	خیر	خیر	۱۶-۰/۲۵	۱۰-۶۲۰ گیگابایت	یک چهارم سی پی یو

۵-۳- معرفی نمونه‌های برتر در ارایه‌ی سرویس بستر

فراهم‌کنندگان عمومی سرویس‌های بستر، محیط‌های توسعه و گسترشی را برای کاربران فراهم می‌کنند تا آنها بتوانند، بدون نگرانی در مورد مسایل و جزییات سطوح پایین بستر، کاربردهای خود را به اجرا درآورند. در این بسترها معمولاً چارچوب‌ها و زبانهای برنامه‌نویسی در دسترس کاربران قرار می‌گیرد و همچنین سرویس‌هایی مانند فضای ذخیره‌سازی دائمی به آنها ارایه می‌شود. در ادامه، ابتدا به بیان مجموعه‌ای از قابلیت‌های مورد انتظار فراهم‌کنندگان پیلای‌اس، و سپس به معرفی تعدادی از نمونه‌های برتر این فراهم‌کنندگان که با موفقیت به ارایه‌ی سرویس پرداخته‌اند می‌پردازیم.

- مشخصه‌های اصلی سرویس‌های بستر که موجب تمایز آنها از یکدیگر می‌شوند عبارتند از:
- چارچوب‌ها، زبان‌ها و مدل‌های برنامه‌نویسی: هدف از هر مدل برنامه‌نویسی، حل کارای یک مساله‌ی خاص است. برخی از مسایلی که در حوزه‌ی رایانش ابری نیاز به مدل‌های خاصی دارند عبارتند از: پردازش دادگان بزرگ در خوشه‌هایی از کامپیوترها (مدل مپ-ریدیوس)، توسعه‌ی کاربردها و سرویس‌های وب تقاضامحور، تعریف و آرایش فرآیندهای کسب‌وکار در قالب گردش‌های کاری (مدل «گردش کار»^{۸۳}) و اجرای توزیع-یافته و کارای وظایف محاسباتی است. فراهم‌کنندگان سرویس بستر، اغلب از چندین زبان برنامه‌نویسی پشتیبانی کرده، و بسته به تاکید و تمرکز کاربردها، چارچوب‌های برنامه‌نویسی مختلفی را نیز در دسترس کاربران قرار می‌دهند.
 - گزینه‌های پایداری: به منظور ذخیره‌ی داده‌ی کاربران، و همچنین برای این‌که کاربردها امکان ضبط حالت خود را داشته باشند تا در صورت «درهم شکستن»^{۸۴}، آنها بازیابی کنند، وجود لایه‌ای پایدار و دائمی ضروری است. راه‌کار متداول، استفاده از «پایگاه‌های داده‌ی نسبی»^{۸۵} است که محدودیت مقیاس‌پذیری دارد. در حوزه‌ی رایانش ابری، فن-آوری‌های ذخیره‌سازی توزیع‌یافته به عنوان راه‌کار جایگزین مطرح شده‌اند که به هزینه‌ی قابلیت‌های زبان‌های راحت جستاری در راه‌کار قبلی، بسیار قوی و مقیاس‌پذیرند.

⁸³ workflow

⁸⁴ crash

⁸⁵ Relational Database

در ادامه به معرفی و مقایسه‌ی ویژگی‌های برخی از سرویس‌های بستری که توسط فراهم‌کنندگان مطرح ارایه شده و با موفقیت مورد استفاده‌ی گسترده قرار گرفته‌اند می‌پردازیم.

آنکا^{۸۶}

آنکا [38] یک بستر توسعه و مدیریت منابع «سرویس‌گرا»^{۸۷} و مبتنی بر دانت است. هر کارگزار در آنکا، که به آن گره‌ی ابر نیز گفته می‌شود، به ارایه‌ی سرویس‌هایی برای پایداری، امنیت (تصدیق هویت، اجازه‌ی دسترسی و حسابرسی) و ارتباطات (مدیریت و ارسال پیغام‌ها) می‌پردازد. گره‌های ابر می‌توانند کارگزارهای فیزیکی، ماشین‌های مجازی و یا نمونه‌های اجاره شده از آمازون ای‌سی‌۲ باشند. آنکا با پشتیبانی از چندین مدل برنامه‌نویسی، امکان توسعه‌ی کاربردهای رایج اچ‌پی‌سی (محاسبات پربازده) و مپ‌ریدیوس را فراهم کرده و به این ترتیب امکان بکاراندازی کاربردهای مختلف داده‌کاوی و جستجو را ایجاد می‌کند. ویژگی‌های اصلی آنکا برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۳-۵ آورده شده‌اند.

آپ‌انجین^{۸۸}

آپ‌انجین [39] گوگل به کاربر اجازه می‌دهد کاربردهای وب جاوا و پایتون خود را بر روی زیرساخت کشسانی که توسط گوگل ارایه می‌شود، به اجرا درآورد. یکی از مشخصه‌های معماری سرویس‌دهی آپ‌انجین این است که، به کاربردها اجازه می‌دهد تا مطابق نیازمندی‌های ترافیک و ذخیره‌سازی داده، مقیاس خود را افزایش و یا کاهش دهند. البته این مقیاس‌پذیری خودکار به چگونگی استفاده‌ی توسعه‌دهنده‌ی کاربرد از واسطه‌های برنامه‌نویسی بستر وابسته است. برای مثال یک کاربرد توسعه داده شده‌ی آپ‌انجین نمی‌تواند به طور مستقیم بر روی فایل سیستم بنویسد (باید از «گوگل دیتا‌استر» استفاده شود) و یا سوکتی باز کرده و به طور مستقیم به میزبان دیگری دسترسی یابد (باید از «سرویس دریافت یوآرال گوگل» استفاده کند). ویژگی‌های اصلی سرویس‌های آنکا برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۳-۵ آورده شده‌اند.

آزور ماکروسافت

سرویس‌های آزور [40] ماکروسافت یک پشته‌ی میزبانی شده‌ی دانت به توسعه‌دهندگان ارایه می‌کند. کنترل‌کننده‌ی آزور ویندوز علاوه بر تامین مقیاس‌پذیری خودکار و اطمینان‌پذیری، به

⁸⁶ Aneka

⁸⁷ service-oriented

⁸⁸ App Engine

مدیریت منابع حافظه و تعادل بار می‌پردازد. باس سرویس دانت، کاربردها را ثبت و با یکدیگر مرتبط می‌سازد. در نهایت گردش کار دانت امکان ساخت و اجرای نمونه‌های گردش کار را فراهم می‌کند. ویژگی‌های اصلی سرویس‌های آژور ماکروسافت برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۳-۵ آورده شده‌اند.

فُرس دات کام

سرویس بستر فُرس دات کام در کنار سرویس «سیلز فُرس دات کام» [41]، قابلیت‌های افزوده‌ای را برای این سرویس نرم‌افزار ایجاد می‌کند. به این منظور، فُرس دات کام دو رویکرد متفاوت را در اختیار توسعه‌دهندگان این دسته کاربردها قرار می‌دهد: میزبانی کاربردها توسط «آپکس» و یا «ویژوال فُرس». آپکس یک زبان اختصاصی مشابه جاوا است و ویژوال فُرس یک سیتکس مشابه ایکس‌ام‌ال است که هر دو در کاربردهای سیلز فُرس مورد استفاده قرار می‌گیرند. ویژگی‌های اصلی سرویس‌های فُرس دات کام برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۳-۵ آورده شده‌اند.

هَرکو

هَرکو [42] بستری برای توسعه‌ی سریع کاربردهای وب «روبی‌آنریلز» است. کارگزارها در هَرکو به صورت نامرئی مدیریت می‌شوند و در معرض نمایش کاربران قرار نمی‌گیرند. کاربردها به صورت خودکار بین هسته‌های پردازشی و کارگزارها پخش می‌شوند به گونه‌ای که منجر به بیشینه شدن کارایی و کمینه شدن تداخل شوند. هَرکو از لایه‌ی منطقی پیشرفته‌ای برخوردار است که می‌تواند از کارافتادگی‌ها را به طور خودکار مدیریت کرده و سرویس‌دهی بی‌وقفه‌ای را تضمین نماید. ویژگی‌های اصلی سرویس‌های هَرکو برای مقایسه‌ی دقیق‌تر در جدول ۳-۵ آورده شده‌اند.

جدول ۳-۵. مقایسه نمونه‌های برتر سرویس‌های بستر

کاربرد هدف	چارچوب، زبان برنامه	مدل برنامه‌نویسی	مقیاس‌پذیری خودکار	ابزارهای توسعه
آنکا	دانت	رشته، وظیفه، مَپریدیوس	خیر	ابزارهای منفرد توسعه‌ی نرم‌افزار
آپ‌انجین	پایتون، جاوا	برنامه‌نویسی وب تقاضا محور	بله	محیط یک پارچه‌ی توسعه - اِکلیپس
فُرس دات کام	آپکس	گردش کار،	نامشخص	محیط یک پارچه‌ی

	(سی آر ام) برنامه نویسی وب تقاضا محور توسعه - اِکلیپس ویزارد وب پایه
آزور	کاربردهای وب دات نت نامحدود بله ابزارهای آزور - ویژوال استودیو ماکروسافت
هَرکو	کاربردهای وب روی آن ریلز برنامه نویسی وب تقاضا محور بله ابزارهای خط فرمان
مَپریدیوس	پردازش داده هایو و پیگ، جاوا، پی اچ پی روی، پرل، آر پایتون، سی ++ مَپریدیوس کار ماسفیر استودیو برای هِدوپ خیر

۶- تطبیق فعالیت‌ها و پتانسیل‌های رایانشی پژوهشگاه با مدل‌های رایانش

ابری

رایانش ابری مبتنی بر معماری سرویس‌گرا است [44,45]. سرویس‌هایی که در اختیار کاربران رایانش ابری قرار می‌گیرد معمولاً در سه رده‌ی اصلی قابل دسته‌بندی هستند که این دسته‌ها تحت عنوان مدل‌های سرویس رایانش ابری نیز شناخته می‌شوند. این سه مدل که در شکل ۶-۱ نشان داده شده‌اند در واقع سطوح انتزاعی سرویس‌های رایانش ابری را توصیف می‌کنند و عبارتند از:

- «نرم‌افزار به عنوان سرویس»^{۸۹} (یا به طور مخفف سَس): در این مدل، فراهم‌کننده‌ی سرویس ابر مسوولیت اجرا و نگهداری کاربردهای نرم‌افزاری و زیرساخت و بستر رایانشی را بر عهده دارد. از دید کاربر رایانش ابری، چنین سرویسی یک واسط کاربرد مبتنی بر وب دارد که از طریق آن سرویس‌ها و کاربردهای نرم‌افزاری به طور کامل بر روی شبکه‌ی اینترنت ارایه شده و از طریق مرورگر وب کاربر قابل دسترسی هستند (مانند جی‌میل^{۹۰} و گوگل‌داکس^{۹۱}). کاربران می‌توانند با روش‌ها و وسایل مختلفی مانند کامپیوتر ثابت یا سیار و یا گوشی همراه به کاربردهای میزبانی شده دسترسی یابند. این مدل سرویس نسبت به مدل‌های رایج ارایه‌ی نرم‌افزار دارای این مزیت است که کاربران نیازی به خرید مجوز، نصب، بروزرسانی، نگهداری و اجرای نرم‌افزار بر روی پایانه‌ی خود ندارند و مهم‌تر این که از مزایای مهمی مانند قابلیت پیکربندی و مقیاس‌پذیری بالا نیز برخوردارند.
- «بستر به عنوان سرویس»^{۹۲} (یا به طور مخفف پَس): در این مدل، فراهم‌کننده‌ی سرویس ابر مسوولیت اجرا و نگهداری سیستم نرم‌افزاری (سیستم عامل) و زیرساخت منابع رایانشی را بر عهده دارد. کاربر چنین مدل سرویسی، به مدیریت و اجرای کاربردهای نرم‌افزاری بر روی سیستم عامل و منابع مجازی تامین شده توسط فراهم‌کننده‌ی سرویس ابر می‌پردازد. بنابراین کاربر تقریباً کنترلی بر روی سیستم عامل و منابع سخت‌افزاری ندارد. بر خلاف سرویس مدل سَس که کاربردهای تکمیل شده و آماده‌ی استفاده را در اختیار کاربر قرار می‌دهد، در این مدل سرویس به کاربر فرصت داده می‌شود تا مستقیماً بر روی ابر به طراحی، توسعه و آزمایش کاربرد مورد نظر خود بپردازد. همچنین این مدل

⁸⁹ Software as a Service (SaaS)

⁹⁰ Gmail

⁹¹ Google Docs

⁹² Platform as a Service (PaaS)

سرویس امکان هم‌کاری و کار گروهی اعضای یک پروژه را فراهم می‌کند. به این ترتیب که کاربران با استفاده از این مدل سرویس رایانش ابری می‌توانند در حالی که در کشورهای گوناگونی هستند با هم‌کاری هم، به طور مثال به توسعه یک وب‌سایت بپردازند. به بیان کامل‌تر در این مدل سرویس، تمام تسهیلات مورد نیاز برای پشتیبانی از چرخه‌ی ساخت و ارایه‌ی کاربردها و سرویس‌های وب از طریق اینترنت در اختیار کاربر قرار می‌گیرد.

▪ «زیرساخت به عنوان سرویس»^{۹۳} (به طور مخفف یَس): در این مدل، فراهم‌کننده‌ی سرویس ابر، مجموعه‌ای از منابع مجازی رایانشی (مانند پهنای باند شبکه، ظرفیت ذخیره‌سازی، حافظه و توان پردازشی) را در ابر فراهم می‌نماید. بنابراین مسوولیت اجرا و نگهداری سیستم عامل و سایر کاربردهای نرم‌افزاری بر روی این منابع مجازی بر عهده‌ی کاربر سرویس است. در ارایه‌ی این مدل سرویس، برای تبدیل منابع فیزیکی به منابع منطقی (که دارای این قابلیت هستند که به طور پویایی توسط کاربران بکارگرفته شده و رهاسازی شوند) از فناوری‌های مجازی‌سازی استفاده می‌شود. به این ترتیب کاربران به جای خریداری سرورها، فضای مرکز داده و تجهیزات شبکه، این منابع را به صورت مجازی و به عنوان سرویس زیرساخت از فراهم‌کننده‌ی سرویس ابر دریافت می‌نمایند.



شکل ۶-۱ - مدل‌های سرویس رایانش ابری

⁹³ Infrastructure as a Service (IaaS)

پژوهشگاه علوم و فن آوری اطلاعات ایران^{۹۴}، پژوهشگاهی وابسته به وزارت علوم، تحقیقات و فن-آوری است که فعالیت‌های آن در راستای پاسخ‌گویی به بخشی از نیازهای پژوهشی کشور در حوزه‌ی علوم و فن آوری اطلاعات و مدیریت اسناد و مدارک علمی است. بر اساس اساس‌نامه، اهداف این پژوهشگاه، توسعه و گسترش پژوهش در زمینه‌ی علوم و فن آوری اطلاعات، مدیریت دانش و جامعه‌ی اطلاعاتی، دستیابی به علوم و فناوری‌های نوین در زمینه‌ی یاد شده، تجاری-سازی دست‌آوردهای پژوهشی، گسترش و ارایه‌ی خدمات مدیریت دانش و عمومی‌سازی کاربردهای فناوری اطلاعات تعریف شده است. در راستای دستیابی به این اهداف، گسترش حوزه‌های تحقیقاتی و فناوری‌های رایانش ابری توسط پژوهشگاه علوم و فن آوری اطلاعات ایران و در قالب فعالیت‌های آن، از اهمیت بالایی برخوردار است. به این منظور در این بخش، پتانسیل‌های رایانشی پژوهشگاه که قابلیت توسعه بر بسترهای رایانش ابری را دارند شناسایی می‌کنیم و به بررسی تطبیق آن‌ها بر مدل‌های رایانش ابری می‌پردازیم.

در این پژوهش، با در نظر گرفتن فعالیت‌های اصلی پژوهشگاه در حال حاضر، «آموزش و یادگیری الکترونیکی»، «ارایه‌ی طرح‌ها و پایان‌نامه‌های الکترونیکی» و «انجام محاسبات علمی و پربازده» را به عنوان پتانسیل‌های اصلی رایانشی پژوهشگاه در حوزه‌ی رایانش ابری مطرح می‌کنیم و به ترتیب هر یک از آن‌ها را در ادامه مورد بررسی قرار می‌دهیم. لازم به ذکر است که شناسایی پتانسیل‌های رایانشی پژوهشگاه بر اساس تحقیقات و مصاحبه‌های انجام گرفته توسط پژوهشگر در بخش‌های مختلف پژوهشگاه مانند دفتر سیستم‌های رایانه‌ای، مرکز اطلاعات و مدارک علمی، و دفتر تحقیق و توسعه‌ی پژوهشگاه صورت گرفته است.

۶-۱- آموزش و یادگیری الکترونیکی

از میان فناوری‌های مختلفی که برای آموزش و یادگیری وجود دارند، «یادگیری مبتنی بر وب» مزایای بسیار زیادی را نسبت به «یادگیری مبتنی بر کلاس درس» دربردارد. یکی از این مزایای مهم، کاهش هزینه‌های یادگیری است. عدم نیاز به محیط‌های فیزیکی برای آموزش و یادگیری، هزینه‌ها را کاهش داده و امکان آن را در هر زمان و مکانی که یادگیرنده تمایل داشته باشد فراهم می‌سازد. علاوه بر این، فرد آموزش‌دهنده می‌تواند به راحتی مواد آموزشی را بروز رسانی کند و با مشارکت در ارایه‌ی محتوای چندرسانه‌ای، ضمن ایجاد محیطی دوستانه، درک مفاهیم را برای افراد یادگیرنده ساده‌تر سازد.

⁹⁴ www.irandoc.ac.ir

این روش یادگیری را می‌توان یک روی‌کرد «یادگیرنده محور»⁹⁵ دانست [46,47] که با وجود مزایای اشاره شده، چالش‌هایی جدی نیز به همراه دارد. در حال حاضر، سیستم‌های آموزش الکترونیکی، در سطح زیرساخت، از مقیاس‌پذیری بسیار کمی برخوردارند. بسیاری از منابع، اختصاص یافته هستند و تنها به منظورهای خاصی می‌توانند بکار گرفته شوند. بنابراین هنگام افزایش بار سیستم، باید منابع جدیدی از همان نوع، اضافه و پیکربندی شوند که این مساله هزینه‌های مدیریت منابع را به شدت افزایش می‌دهد.

یکی دیگر از چالش‌های کلیدی، مساله‌ی بهره‌وری کارا از منابع است. برای مثال در کاربردهای متداول دانشگاهی، اغلب سیستم‌ها و سرورها در طول شب و یا در تعطیلات بین ترم، میزان بهره‌وری پایینی دارند. این در حالی است که همین منابع در زمان‌های دیگری مانند اواخر ترم، به شدت مورد نیازند. بنابراین چاره‌ای جز نگهداری ماشین‌هایی که بسیاری مواقع بیکارند و هدر دادن پتانسیل آن‌ها وجود نخواهد داشت.

در نهایت باید علاوه بر این چالش‌ها، هزینه‌های دیگری که باید برای ارایه‌ی سیستم یادگیری الکترونیکی پرداخته شوند، مانند هزینه‌های نگهداری سایت و سیستم‌های کامپیوتری، و هزینه‌های نصب و پشتیبانی فنی از بسته‌های نرم‌افزاری، را نیز در نظر گرفت [48]. همان‌طور که در ادامه بحث خواهد شد، «آموزش و یادگیری الکترونیکی مبتنی بر مدل‌های رایانش ابری» راه‌کار مناسبی برای پرداختن به مسایل و چالش‌های مطرح شده است.

یادگیری الکترونیکی را می‌توان به صورت یک سرویس آموزشی در ابر ارایه نمود. برای پیاده‌سازی این سرویس مبتنی بر مدل‌های رایانش ابری، کاربران نیازمندی‌های سخت‌افزاری زیادی ندارند و از این رو پیاده‌سازی از پیچیدگی بالایی برخوردار نخواهد بود. در ادامه به برخی از قابلیت‌ها و مزایایی که ارایه‌ی سرویس‌های یادگیری الکترونیکی در محیط‌های رایانش ابری، به همراه خواهند داشت اشاره می‌کنیم [46,49]:

- دارا بودن قابلیت دسترسی از طریق وب نشان‌دهنده‌ی سادگی دسترسی به سرویس‌های یادگیری الکترونیکی در محیط‌های رایانش ابری است. زیرا هر کسی در هر زمان و از هر مکانی امکان دسترسی به کاربرد را خواهد داشت.
- به علت عدم نیاز به نرم‌افزار خاص در سمت کاربر، هزینه‌های درخواست‌کنندگان و مشترکین کاهش می‌یابد. زیرا نیازی به صرف هزینه‌های نصب و نگهداری نرم‌افزار، و مدیریت و بکارگیری سرور نخواهد بود. همچنین هزینه‌های پایین‌تری برای حقوق مالکیت کاربرد پرداخته می‌شود.

⁹⁵ Learner-centered

- قابلیت پرداخت اشتراک بر حسب استفاده، برای بازار آموزش نرم‌افزاری بسیار مناسب است و امکان دسترسی به کاربردهای پیچیده‌تر و غنی‌تر را فراهم می‌سازد.
 - از آنجایی که کاربرد بر روی سرورهای ابر اجرا می‌شود، سیستم از مقیاس‌پذیری بالایی برخوردار خواهد بود. بنابراین با افزایش تعداد افراد یادگیرنده، کارایی نرم‌افزار کاهش نیافته و امکان پشتیبانی از چندین موسسه‌ی آموزشی فراهم خواهد بود.
 - در نتیجه‌ی ذخیره‌ی اطلاعات بر روی ابر، به منظور انتقال از یک قطعه و سیستم به قطعه و سیستم دیگر، نیازی به پشتیبان‌گیری موقت وجود ندارد. همچنین افراد یادگیرنده، امکان ایجاد و نگهداری پایگاهی از اطلاعات را دارند که حجم آن در صورت نیاز قابل افزایش است.
 - در صورت خرابی کامپیوتر کاربر، نیازی به جبران و بازیابی وضعیت وجود ندارد، زیرا تقریباً تمام داده‌ها در ابر ذخیره شده‌اند و بنابراین از دست نمی‌روند.
 - افراد یادگیرنده می‌توانند با استفاده از قطعات مختلف مانند گوشی همراه، کامپیوتر سیار و یا میزکار (در صورت دسترسی به اینترنت) از طریق ابر و کاربردهای مبتنی بر مرورگر، فایل‌های خود را ببینند و آن‌ها را ویرایش کنند.
 - یکی دیگر از قابلیت‌ها، انعطاف‌پذیری منابع است. مقیاس زیرساخت رایانشی را می‌توان بر حسب نیاز افزایش و یا کاهش داد و به این ترتیب سود سرمایه‌گذاری را بیشینه کرد.
- از لحاظ امنیتی نیز بکارگیری مدل‌های رایانش ابری، برای افراد و موسسات آموزشی که به استفاده و توسعه‌ی سرویس‌های یادگیری الکترونیکی می‌پردازند، مزایایی به همراه خواهد داشت که برخی از آن‌ها عبارتند از:
- برای افرادی که قصد سواستفاده از سیستم را دارند، تعیین موقعیت ماشینی که داده‌ی موردنظر آن‌ها (مانند سوالات امتحانی، نتایج) را ذخیره کرده است، تقریباً غیرممکن است. چنین افرادی نمی‌توانند مولفه‌ها و اجزای فیزیکی متناظر با دارایی‌های دیجیتالی را شناسایی کنند.
 - قابلیت مجازی‌سازی، امکان جایگزینی سریع سرورهای واقع در ابر را فراهم می‌سازد، بدون این‌که در نتیجه‌ی این جایگزینی هزینه و خسارت زیادی وارد شود. با ایجاد کلونی از ماشین‌های مجازی در ابر، به سادگی می‌توان مدت زمان از کار افتادگی سرویس را کاهش داد.

- به دلیل ذخیره‌ی متمرکز داده‌ها، از دست دادن یک کاربر تاثیر قابل توجهی بر روی سیستم نخواهد گذاشت و تا زمانی که بخش عمده‌ی داده و کاربردها بر روی ابر ذخیره شده باشد، امکان اتصال سریع کاربران جدید وجود خواهد داشت.
 - پایش نمودن دسترسی به داده‌ها آسان‌تر خواهد بود، زیرا تنها پایش یک مکان مورد نیاز است (نه برای مثال، هزاران سیستم کامپیوتری متعلق به یک دانشگاه). همچنین، از آنجایی که برای تمام کاربران ابر، تنها یک مدخل ورودی در نظر گرفته می‌شود. تغییر سیاست‌ها و تکنیک‌های امنیتی به سادگی قابل آزمایش و پیاده‌سازی هستند.
- به این ترتیب رایانش ابری با دارا بودن این قابلیت‌ها و مزایا، راه‌کار مناسب و کم‌هزینه‌ای را برای آموزش و یادگیری الکترونیکی ارائه می‌نماید که می‌تواند توسط مجموعه‌های آموزشی و تحقیقاتی که قصد ارائه و توسعه‌ی چنین سرویس‌هایی دارند (مانند پژوهشگاه علوم و فن‌آوری اطلاعات ایران) بکار گرفته شود.
- سرویس‌های رایانش ابری در سطوح مختلف می‌توانند در ارائه و توسعه‌ی محیط‌های یادگیری الکترونیکی مورد استفاده قرار گیرند:
- سرویس زیرساخت: به منظور بکارگیری رایانش ابری در این سطح، می‌توان محیط یادگیری الکترونیکی را مبتنی بر سرویس‌های زیرساخت فراهم‌کنندگان ابر ارائه کرد.
 - سرویس بستر: به منظور بکارگیری رایانش ابری در این سطح، می‌توان محیط یادگیری الکترونیکی را مبتنی بر «واسط‌های توسعه»^{۹۶}ی ارائه شده توسط فراهم‌کنندگان سرویس-های بستر توسعه داد.
 - سرویس نرم‌افزار: به منظور بکارگیری رایانش ابری در این سطح، می‌توان از محیط‌های یادگیری الکترونیکی ارائه شده توسط فراهم‌کنندگان سرویس‌های نرم‌افزار استفاده نمود.

مدیریت محتوا به طور کلی شامل نگهداری، سامان‌دهی و جستجو در منابع اطلاعاتی است که این منابع اطلاعاتی ممکن است ساختاریافته (مانند پایگاه‌داده) و یا بدون ساختار (مانند اسناد، رایانامه‌ها و یا صفحات وب) باشند [50]. یکی از کاربردهای مهم مدیریت محتوا در اراییه‌ی «طرح‌ها و پایان-نامه‌های الکترونیکی»^{۹۷} است که به طور مخفف ای‌تی‌دی نامیده می‌شود.

در راه کارهای متداولِ ارایه‌ی طرح‌ها و پایان‌نامه‌های الکترونیکی، کارگزارهای (سرورهای) اختصاص‌یافته‌ای به این منظور بکار گرفته می‌شوند. در این راه کارها باید، ملاحظاتِی مانند مسایل مربوط به تامین ظرفیت منابع، تعادل بار و تحمل‌پذیری خطا، در نظر گرفته شوند. اگرچه هر یک از این مسایل به گونه‌ای قابل حل هستند، اما معمولاً پرداختن به آن‌ها زمان‌بر و با صرف هزینه‌های بالایی همراه خواهد بود.

با افزایش تعداد اسناد (طرح‌ها و پایان‌نامه‌ها)، نیازمندی فضای ذخیره‌سازی آن‌ها به سرعت افزایش می‌یابد. برای مثال اگر فرض کنیم که در یک کاربرد ای‌تی‌دی مبتنی بر وب، در سال اول ده هزار سند آپلود شود و فضای ذخیره‌سازی مورد نیاز به ازای هر سند حدود سه مگابایت باشد، در این صورت در مجموع به فضای ذخیره‌سازی حدود سی گیگابایت برای نگهداری اسناد الکترونیکی نیاز خواهد بود. بدیهی است که با افزایش تعداد اسنادی که آپلود می‌شوند، این نیازمندی افزایش می‌یابد و دیگر یک فضای ذخیره‌سازی محدود جواب‌گوی این نیازمندی نخواهد بود. بنابراین باید به دنبال راه‌حل دیگری بود. از میان راه‌حل‌های موجود، راه‌کار مبتنی بر رایانش ابری، انتخاب مناسبی به نظر می‌رسد. در این راه‌کار، فضای ذخیره‌سازی بر حسب نیاز و با کمترین اختلالی در ارایه‌ی سرویس ای‌تی‌دی قابل افزایش است.

همان‌طور که پیش‌تر بحث شد، مدل‌های رایانش ابری را می‌توان برای ارایه‌ی سرویس در هر یک از سطوح زیرساخت، بستر و نرم‌افزار بکار گرفت. برای مشخص شدن چگونگی بکارگیری این سرویس‌ها در ارایه‌ی طرح‌ها و پایان‌نامه‌های الکترونیکی، به شناسایی مشخصات و نیازمندی‌های کلی کاربردهای متداول ای‌تی‌دی می‌پردازیم. از کاربردهای متداول ای‌تی‌دی انتظار می‌رود که دارای این قابلیت‌ها باشند [51,52]:

- قابلیت آپلود منابع توسط پژوهشگران و دانشجویان که به آن‌ها امکان می‌دهد طرح‌ها و پایان‌نامه‌های خود را با دیگران به اشتراک بگذارند.
- سیستم ای‌تی‌دی باید با پیاده‌سازی قابلیت جستجوی متن، امکان جستجوی کلیدواژه‌هایی که به عنوان ورودی دریافت می‌کند در مخزن‌های فراداده و محتوای سندها، فراهم کند.
- سیستم باید به کاربر انتهایی این امکان را بدهد که نتایج جستجوی خود را بر اساس معیارهای فراداده‌ای مانند نام نویسنده، عنوان و سال فیلتر کند.
- برای افزایش میزان کاربری سیستم، باید برای کاربران ثبت‌شده در آن پروفایلی ایجاد گردد، تا کاربر پس از ورود به سیستم بتواند از طریق آن به مدیریت اسنادی که آپلود کرده است، بپردازد.

▪ همچنین از سیستم انتظار می‌رود که قابلیت مرور سندها بر حسب عنوان و یا نام دانشگاه را برای کاربر فراهم سازد.

پیاده‌سازی قابلیت‌هایی مانند جستجوی کلیدواژه‌ها و یا فیلتر مبتنی بر معیارهای فراداده‌ای، نیازمند صرف حجم بالایی از منابع و توان پردازشی است. علاوه بر این الگوی تقاضاهای کاربران نیز، از لحاظ نیازهای ذخیره‌سازی و محاسباتی، ممکن است با تغییرات ناگهانی همراه باشد. برای مثال در ارایه‌ی قابلیت آپلود منابع، اغلب این وضعیت پیش می‌آید که در طول مدت کوتاهی باقی‌مانده به انتهای فرصت ارسال پایان‌نامه‌ها، تقاضای آپلود دانشجویان به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. تامین منابع سخت‌افزاری برای چنین وضعیتی منجر به کاهش بهره‌وری این منابع در دراز مدت می‌شود. این در حالی است که ماهیت کشسانی منابع ذخیره‌سازی و محاسباتی در سرویس‌های ابر، این امکان را فراهم می‌کند که تنها بر حسب نیاز منابع تامین شوند. به این ترتیب بکارگیری مدل‌های رایانش ابری می‌تواند به حل بسیاری از این دست مسایل مطرح در ارایه‌ی ای‌تی‌دی کمک نموده و منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌ها شود.

۶-۳- انجام محاسبات علمی و پربازده

حل بسیاری از مسایل مطرح در حوزه‌های گوناگون علوم و رشته‌های مهندسی و بسیاری از دیگر «محاسبات علمی»^{۹۸} مورد نیاز در کاربردهای مختلف، اغلب مستلزم استفاده از مدل‌های ریاضی و به‌کارگیری روش‌های عددی و یا نتایج ذخیره‌شده در قالب مجموعه «دادگان»^{۹۹} بسیار بزرگ است. این مدل‌ها و روش‌ها برای حل این دست از مسایل، به پردازش حجم بالایی از داده‌ها می‌پردازند که این کار به منابع محاسباتی پربازدهی^{۱۰۰} نیاز دارد. این منابع پربازده با کاهش پیچیدگی‌های محاسباتی، امکان انجام آزمایش‌ها و محاسبات علمی در مقیاسی گسترده را فراهم می‌آورند. این نیازمندی‌ها، در ابتدا با استفاده از بسترهای محاسباتی پربازده (دسته‌ای از ماشین‌های واقع در یک واحد) برآورده می‌شدند (برای مثال [53]).

با گسترش «رایانش توری»^{۱۰۱} [54] فرصت‌هایی جدید در اختیار پژوهش‌گران قرار گرفت تا آزمایش‌های بزرگ را با تکیه بر شبکه‌ای از ماشین‌ها (که می‌توانستند در هر نقطه‌ای از دنیا واقع شده باشند) به انجام رسانند. استفاده از رایانش توری به قدری موفقیت‌آمیز بود که پروژه‌های ملی و

⁹⁸ Scientific computing

⁹⁹ Data set

¹⁰⁰ High performance

¹⁰¹ Grid computing

فراملی متعددی را به ایجاد چنین بسترهایی، در مقیاسی بسیار گسترده، برای انجام محاسبات پربازده ترغیب کرد [55-57].

با وجود توسعه و کاربرد گسترده‌ی این فن‌آوری محاسباتی، پاره‌ای از مسایل، دستیابی به شکل مطلوب از آن را به چالش کشیده‌اند [58]. برای مثال، با وجود شبکه‌های توری اشتراکی متعدد در سرتاسر دنیا، گروه‌های پژوهشی برای استفاده از آن‌ها باید طرح‌های پژوهشی خود را ارسال کنند تا بتوانند منابع محاسباتی مورد نیاز خود را کسب نمایند. این روی‌کرد علاوه بر ایجاد هزینه‌ی زمانی در انجام طرح‌ها، منجر به رقابت در استفاده از شبکه‌های توری می‌گردد و به این ترتیب، طرح‌های پژوهشی کوچک‌تر امکان دستیابی به منابع را از دست می‌دهند.

علاوه بر مسایلی از این دست، مسایل فنی متعددی نیز مطرح هستند که از اهمیت بالایی برخوردارند. به عنوان نمونه‌ای برجسته، در بیش‌تر موارد، قابلیت‌های شبکه‌های توری که برنامه‌های علمی را به اجرا درمی‌آورند، از پیش تعیین شده است. برای مثال، ابزارها و واسط‌های برنامه‌نویسی خاصی باید مورد استفاده قرار گیرند، یا محدودیت‌هایی بر روی سیستم‌های عامل میزبان و خدمات ارایه شده در محیط‌های اجرایی آن‌ها وجود دارد. در نتیجه، در عمل، انتخاب‌هایی محدود برای پژوهش‌گران وجود دارد که گاه نیازمندی‌های آن‌ها را برآورده نمی‌سازد. رایانش ابری، بسیاری از این دست مسایل را برطرف ساخته و با بوجود آوردن محیط‌های اجرایی انعطاف‌پذیر و قابل پیکربندی، طیف وسیعی از انتخاب‌ها را به پژوهش‌گران عرضه می‌کند. به طور مشخص، مزایای حاصل از بکارگیری مدل‌های رایانش ابری در ارایه‌ی سرویس‌ها و کاربردهای مبتنی بر محاسبات پربازده عبارتند از [59,60]:

- منابع محاسباتی بدون نیاز به سرمایه‌گذاری از پیش، قابل دسترسی هستند (در هر زمان، تنها متناسب با میزان منابعی که در آن زمان مورد نیاز است، هزینه پرداخته می‌شود).
- منابع محاسباتی متناسب با میزان نیاز مقیاس‌پذیرند و به این ترتیب قابلیت کشسانی منابع مورد نیاز کاربردها متناسب با میزان «بار کاری»^{۱۰۲} آن‌ها وجود دارد.
- از بسیاری از هزینه‌های متداول و مورد نیاز در دیگر مدل‌های محاسباتی، مانند هزینه‌ی راه‌اندازی، نگهداری و مدیریت سرویس‌های کاربردهای اچ‌پی‌سی و هزینه‌ی پیکربندی محیط کاری آن‌ها، اجتناب می‌شود.
- مدت زمان رسیدن به نتیجه، به خصوص در مورد عملیات محاسباتی که نیازمندی آن‌ها فراتر از ظرفیت محاسباتی موجود است، کوتاه‌تر است (هر چه نسبت نیازمندی محاسباتی

¹⁰² workload

به ظرفیت موجود بیشتر باشد، به همان نسبت سرعت رسیدن به نتیجه‌ی محاسبات با به‌کارگیری مدل‌های رایانش ابری بیشتر است).

▪ محیط کاری کاربران از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار است، متناسب با نیازمندی‌های محیط کاربرد اِچ‌پی‌سی تغییر یافته و پیکربندی آن با این نیازمندی‌ها تطبیق می‌یابد (بر خلاف مدل‌های محاسباتی پربازده دیگر، که پیکربندی محیط کاری کاربرد باید با محیط محاسباتی تطبیق یابد).

▪ با توجه به این که سرویس کاربردهای اِچ‌پی‌سی بر روی ابر ارایه می‌شود و امکان دسترسی به آن در هر نقطه‌ای از دنیا وجود دارد، این امکان برای پژوهش‌گران و دانشمندان ایجاد می‌شود که با سایر پژوهش‌گران و دانشمندان در هر نقطه‌ای از دنیا که باشند همکاری کنند و پروژه‌های مشترکی را به انجام رسانند.

با توجه به مزایای ذکر شده، در سال‌های اخیر به‌کارگیری این راه‌کار به شدت مورد توجه قرار گرفته و مطالعاتی نیز بر روی امکان‌سنجی پردازش داده‌ها و انجام محاسبات علمی بر پایه‌ی رایانش ابری صورت گرفته است [58,61].

۶-۴- سایر پتانسیل‌های رایانشی

در این بخش به بررسی پتانسیل رایانش ابری در ارایه‌ی برخی از کاربردهای جانبی پژوهشگاه که به طور مستقیم در یکی از دسته فعالیت‌های اصلی آن (مانند ارایه‌ی طرح‌ها و پایان‌نامه‌های الکترونیکی، آموزش و یادگیری الکترونیکی، انجام محاسبات علمی و پربازده) قرار نمی‌گیرند می‌پردازیم.

یکی از مهم‌ترین این کاربردها، کاربرد وب است که به صورت پورتال پژوهشگاه به ارایه‌ی سرویس به کاربران داخلی و خارجی آن می‌پردازد. کاربران و اعضای پژوهشگاه با استفاده از این کاربرد، که در قالب یک واسط وب (که در یک مرورگر استاندارد قابل مشاهده است) در اختیار آن‌ها قرار می‌گیرد، می‌توانند به همکاری و تعامل با یک‌دیگر بپردازند. هم‌چنین، فهرست کاملی از محصولات و سرویس‌های پژوهشگاه از طریق این درگاه وب، قابل ارایه به کاربران خواهد بود. بنابراین زمانی که امکان ارایه‌ی محصول و یا سرویس جدیدی بر روی درگاه فراهم می‌شود، انتظار می‌رود که حجم قابل ملاحظه‌ای از ترافیک که مازاد بر الگو و رفتار متداول ترافیک درگاه است به سوی آن روانه و منجر به ایجاد جهش‌هایی در بار ترافیکی شود. بدیهی است که در خارج از این بازه‌های زمانی خاص، بار ترافیکی درگاه وب پژوهشگاه قابل پیش‌بینی بوده و وضعیت تقریباً ثابتی

دارد (ترافیک در روزهای کاری بالا و در روزهای تعطیل و آخر هفته به نسبت پایین تر است). با توجه به این الگوی ترافیکی، کاربرد وب پتانسیل ارایه شدن از طریق سرویس های رایانش ابری را دارد. به طور مشخص:

- دارا بودن قابلیت مقیاس پذیری کاربرد وب
- امکان رویارویی با افزایش حجم ترافیک بدون نیاز به سرمایه گذاری اضافه در تجهیزات سخت افزاری

▪ کاهش هزینه های مدیریتی با خودکار شدن فرآیند استقرار کاربرد

▪ تامین منابع و افزایش ظرفیت تنها در مواقع نیاز

از جمله مزایای اصلی بکارگیری رایانش ابری در ارایه ی کاربرد وب به شمار می روند. یکی دیگر از پتانسیل های بکارگیری رایانش ابری، در انجام عملیات پردازشی پس زمینه ای است. این عملیات به طور خاص در فرآیندهایی که دارای «گردش کاری»^{۱۰۳} پیچیده ای هستند (مانند فرآیند تعامل بین دانشجویان و استادان پژوهشی) و یا فرآیندهایی که در آنها تراکنش های حساسی انجام می گیرد (مانند تراکنش های مالی در فرآیندهای بررسی تقاضای اشتراک کاربران و حسابرسی استفاده ی آنها از سرویس های مختلف آموزشی و پژوهشی) از اهمیت بالایی برخوردار است. علاوه بر مزایایی مانند کاهش هزینه های سرمایه گذاری و افزایش انعطاف پذیری در تامین منابع، که انگیزه های عمومی برای انجام این عملیات بر اساس مدل های رایانش ابری هستند، یکی از دلایل خاص انجام عملیات پردازشی پس زمینه ای بر روی ابر، جلوگیری از ازکارافتادگی سیستم هایی است که عمل کرد آنها وابسته به این عملیات است. بدیهی است که اطمینان پذیری این سیستم ها و عدم ازکارافتادگی آنها (چه سیستم هایی که دارای فرآیندهایی با گردش کاری پیچیده هستند و چه سیستم هایی که دارای فرآیندهایی با تراکنش های حساس هستند) از اهمیت خاصی برخوردار است. در بخش آینده با اشاره به یک مثال مشخص، به طور مفصل به چگونگی بکارگیری مدل های رایانش ابری در انجام عملیات پردازشی پس زمینه ای می پردازیم.

۷- ارایه ی مدل مفهومی رایانش ابری بر اساس فعالیت ها و پتانسیل های

رایانشی پژوهشگاه

در این بخش به طراحی معماری مفهومی و ارایه ی مدل رایانش ابری متناظر با هر یک از پتانسیل های رایانشی پژوهشگاه که در بخش پیش مورد بحث و بررسی قرار داده شدند، می پردازیم.

¹⁰³ workflow

۷-۱- آموزش و یادگیری الکترونیکی

همان‌طور که پیش‌تر اشاره کردیم، مدل‌های رایانش ابری پتانسیل بالایی در ارایه‌ی محیط‌های یادگیری الکترونیکی دارند، و با میزبانی کاربردهای یادگیری الکترونیکی بر روی ابر و بهره‌گیری از قابلیت‌های مجازی‌سازی سخت‌افزار، می‌توان هزینه‌های ایجاد و نگهداری منابع مورد نیاز در روند یادگیری الکترونیکی را کاهش داد. به بیان دقیق‌تر، با بکارگیری رایانش ابری می‌توان زیرساختی قابل اطمینان، انعطاف‌پذیر و مقرون به صرفه برای ارایه‌ی سرویس‌های یادگیری الکترونیکی فراهم ساخت که دارای قابلیت تنظیم خودکار و تضمین کیفیت سرویس است.

در حال حاضر ترکیب فن‌آوری‌های رایانش ابری و یادگیری الکترونیکی گسترش زیادی یافته است. برخی از کارهای انجام گرفته در این حوزه بر روی بکارگیری سرویس‌های زیرساخت ابر تاکید کرده‌اند و به این منظور، برای دانش‌آموزان، در بازه‌های زمانی خاص به رزرو ماشین‌های مجازی پرداخته‌اند [62]. به عنوان مثال دیگری در این حوزه می‌توان به کاربردی به نام بلواسکای^{۱۰۴} [63] اشاره کرد که معماری آن به گونه‌ای طراحی شده است که توانایی مدیریت کارای سرویس‌های یادگیری الکترونیکی را داشته باشد و همچنین با پیش‌بینی و تامین منابع برای محتواهای پرترفدار، کارایی سیستم را در دسترسی‌های هم‌زمان تضمین نماید. البته در این کاربرد و دیگر کاربردهای تجاری مشابه آن، به جزئیات مربوط به چگونگی دستیابی به این اهداف پرداخته نشده است. همچنین می‌توان به چارچوبی به نام کلودآی‌ای^{۱۰۵} [64] اشاره کرد که با ایجاد و پیکربندی تصاویر ماشین‌های مجازی بر حسب تقاضا، به دانش‌آموزان این امکان را می‌دهد که محیط‌های «جاوا سرولت» خود را (شامل مای‌اس‌کیوال، تام‌گت و ...) برای انجام آزمایش‌هایشان در اختیار داشته باشند. با در پیش گرفتن این روی‌کرد، دانش‌آموزان می‌توانند بر روی توسعه و آزمایش کاربردهای خود تمرکز نمایند.

با در نظر گرفتن مولفه‌های سازنده یک سیستم یادگیری الکترونیکی، می‌توان قابلیت‌ها و سرویس‌هایی که چنین محیطی به کاربران خود (که اغلب دانشجویان، اساتید و پژوهشگران هستند) ارایه می‌کند را شامل موارد زیر دانست:

- مدیریت مواد آموزشی، که از جمله‌ی این مواد آموزشی می‌توان به ارایه‌ها^{۱۰۶}، سندها^{۱۰۷}، عکس‌ها، نقشه‌ها و پروژه‌های آموزشی اشاره کرد.

¹⁰⁴ BlueSky

¹⁰⁵ CloudIA

¹⁰⁶ presentations

- ارایه‌ی ابزارهایی برای انجام آزمایش‌های علمی و شبیه‌سازی آن‌ها
 - فراهم کردن امکان تعاملات جمعی، که این تعاملات ممکن است از طریق گپ^{۱۰۸}، پیامک، رایانامه، انجمن^{۱۰۹}، کنفرانس‌های صوتی و تصویری، نظریه‌ی و جستجوی پروفایل کاربران انجام گیرد.
 - ارایه‌ی ابزارهای ارزیابی دانشجویان، مانند برگزاری امتحان‌ها و دریافت و تصحیح تکالیف آموزشی
 - دارا بودن مخزنی^{۱۱۰} برای نگهداری مواد آموزشی
- علاوه بر این قابلیت‌ها معمولاً در محیط‌های یادگیری الکترونیکی «عامل‌های هوشمند»^{۱۱۱} نیز پیاده‌سازی می‌شوند که با دنبال کردن روند یادگیری دانشجویان، بازخوردهایی را ایجاد می‌کنند که هم می‌تواند در اختیار اساتید قرار گیرد و هم می‌تواند به عنوان مبنایی برای کمک به دانشجویان برای یادگیری موثرتر آن‌ها قرار گیرد.
- قابلیت‌هایی که برای محیط یادگیری الکترونیکی به آن‌ها اشاره شد را می‌توان به شیوه‌های مختلفی با بکارگیری سرویس‌های رایانش ابری (سرویس زیرساخت، بستر و نرم‌افزار) پیاده‌سازی نمود که نمونه‌ای از آن در شکل ۷-۱ نشان داده شده است. در شیوه‌ی طراحی شده، برای پیاده‌سازی هر یک از قابلیت‌های اشاره شده، با توجه به نیازمندی‌های آن‌ها، بکارگیری سرویس مشخصی از سرویس‌های رایانش ابری پیشنهاد گردیده است. به عنوان یک نمونه، به منظور ارایه‌ی ابزارهای شبیه‌سازی در محیط یادگیری الکترونیکی، ممکن است بنابر نیازمندی‌های آزمایش علمی موردنظر، نیاز به بکارگیری هر سه نوع سرویس زیرساخت، بستر و نرم‌افزار باشد. برای مثال دانشجویان مهندسی کامپیوتر برای انجام آزمایش‌هایی بر روی مسیریابی در شبکه‌های کامپیوتری و یا نحوه‌ی پیکربندی فایروال در شبکه نیاز به چندین دستگاه کامپیوتری دارند. بنابراین برای انجام چنین آزمایش‌هایی ایجاد ماشین‌های مجازی (به ازای دستگاه‌های کامپیوتری مورد نیاز) با بکارگیری سرویس زیرساخت‌های رایانش ابری می‌تواند چاره‌ساز باشد. در انجام آزمایش‌های مربوط به بسیاری دیگر از دروس، دانشجویان نیاز به محیط برنامه‌نویسی خاص با پیکربندی‌های مشخصی دارند. در چنین مواردی می‌توان با بکارگیری سرویس بسترهای رایانش ابری، بستر مناسب را به صورت آماده در اختیار دانشجویان قرار داد تا به سادگی کاربردهای موردنظر خود را بر روی آن توسعه و مورد آزمایش قرار دهند. در نهایت در برخی دیگر از دروس مانند آنالیز گراف، ممکن

¹⁰⁷ documents

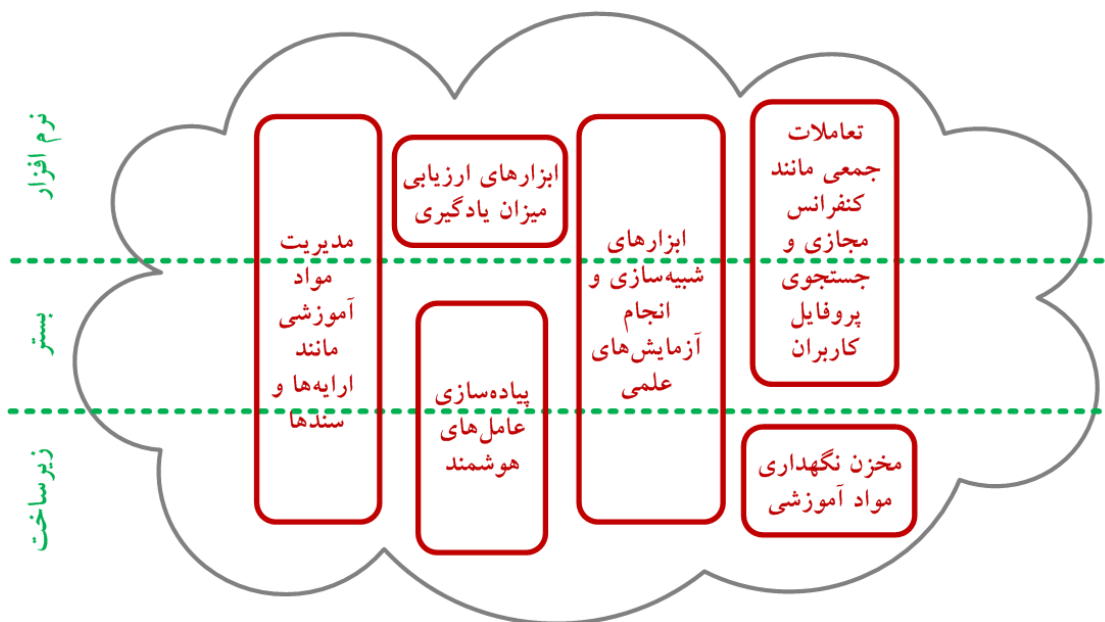
¹⁰⁸ chat

¹⁰⁹ forum

¹¹⁰ repository

¹¹¹ Smart agents

است تنها اجرای یک مدل شبیه‌سازی شده در قالب یک آپلت برای پیشبرد روند آموزش و یادگیری کافی باشد، که در این صورت با بکارگیری سرویس نرم‌افزارهای رایانش ابری می‌توان به این منظور دست یافت.

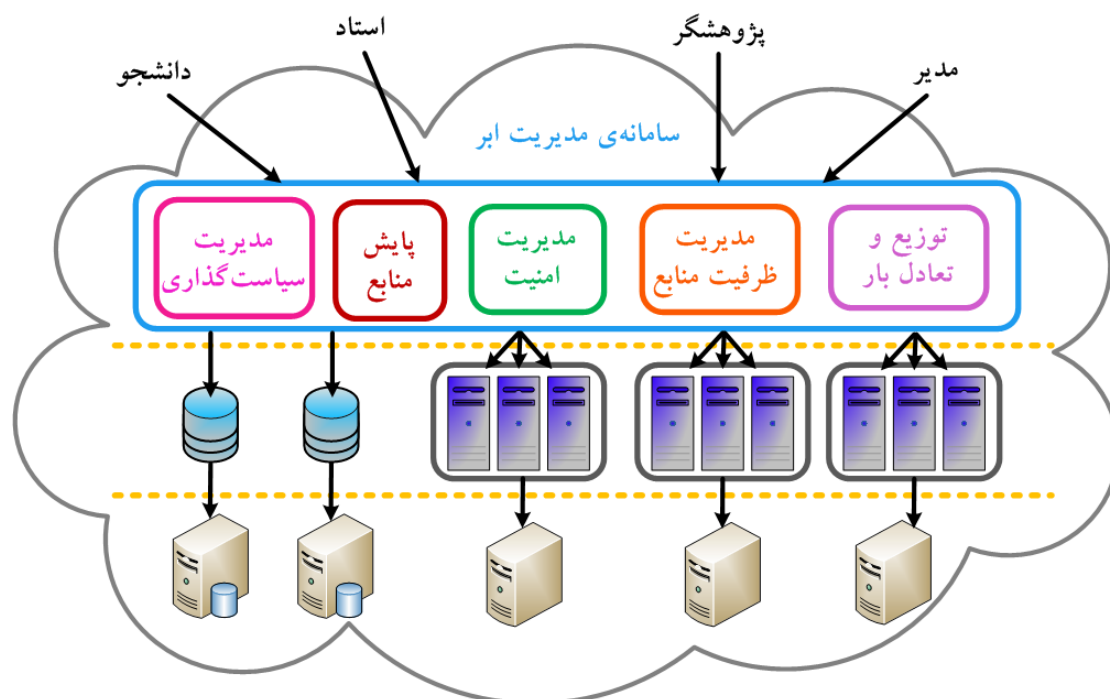


شکل ۷-۱ نمونه‌ای از پیاده‌سازی قابلیت‌های محیط یادگیری الکترونیکی با بکارگیری سرویس‌های رایانش ابری

نحوه طراحی یک محیط رایج یادگیری الکترونیکی بر پایه معماری رایانش ابری در شکل ۷-۲ نشان داده شده است. در این معماری، نخستین لایه مربوط به سامانه مدیریت ابر است که از یک سو با کاربران انتهایی و از سوی دیگر با منابع مجازی موجود در ابر در ارتباط است. این سامانه وظیفه دارد، با بررسی تقاضاهای دریافتی از سوی کاربران، نیازمندی‌های محاسباتی آن‌ها را استخراج کرده و متناسب با این نیازمندی‌ها، سرویس رایانش ابری مناسبی که در پاسخ به این تقاضاها باید آرایه گردد را تعیین نماید. برای دستیابی به این منظور، این سامانه خود از زیرسامانه‌های گوناگونی تشکیل یافته است که عبارتند از:

- بخش پایش و نظارت بر نحوه اجرای تقاضاهای دریافتی، نحوه پیکربندی و بکارگیری منابع و سلامت یا از کارافتادگی آن‌ها (این بخش بازخوردهای مورد نیاز برای عملکرد مناسب سایر بخش‌ها مانند بخش توزیع بار و یا مدیریت ظرفیت منابع را تامین می‌نماید).
- بخش توزیع بار محاسباتی بر روی منابع فیزیکی به منظور ایجاد تعادل بار حاصل از ماشین‌های مجازی مورد نیاز

- بخش مدیریت ظرفیت منابع محاسباتی و ذخیره‌سازی و مقیاس‌پذیری آن‌ها (افزایش و یا کاهش میزان منابع) در صورت نیاز
 - بخش مدیریت امنیت به منظور نظارت بر ورود کاربران به محیط، نحوه‌ی دسترسی و سایر فعالیت‌های آن‌ها، و اطمینان از حفظ محرمانگی و یکپارچگی اطلاعات و داده‌ها و امنیت تراکنش‌های کاربران
 - بخش مدیریت سیاست‌گذاری به منظور پایه‌گذاری و حفظ سیاست‌های آموزش و یادگیری موردنظر، و همچنین سیاست‌های زمان‌بندی و نحوه‌ی تخصیص منابع با توجه به اولویت نیازمندی‌های محیط یادگیری الکترونیکی
- لایه‌ی دوم در معماری طراحی شده، دربرگیرنده‌ی فضای ذخیره‌سازی و ماشین‌های مجازی پیاده‌سازی شده، به منظور ایجاد محیط یادگیری الکترونیکی بر مبنای رایانش ابری است. در نهایت پایین‌ترین لایه‌ی معماری، از منابع فیزیکی و سخت‌افزارهایی تشکیل یافته است که منابع مجازی مورد نیاز در لایه‌ی بالاتر برای راه‌اندازی محیط یادگیری الکترونیکی، در عمل بر روی آن‌ها اجرا و پیاده‌سازی می‌شوند.



شکل ۷-۲ - نحوه‌ی طراحی یک محیط رایج یادگیری الکترونیکی بر پایه‌ی معماری رایانش ابری

سامانه‌ی مدیریت ابر نقش مهمی بر عهده دارد و سطوح مختلف «زیرساختی»، «محتوایی» و «کاربردی» محیط یادگیری الکترونیکی را مدیریت می‌کند. در سطح زیرساخت، این سامانه با

بکارگیری فناوری‌های مجازی‌سازی سخت‌افزار و نرم‌افزار، از پایداری و در دسترس بودن منابع زیرساختی محیط یادگیری الکترونیکی اطمینان حاصل می‌کند و ظرفیت محاسباتی و ذخیره‌سازی مورد نیاز در سطوح دیگر (محتوایی و کاربردی) را تامین می‌نماید. مدیریت سطح محتوایی محیط یادگیری الکترونیکی، به طور عمده دربرگیرنده‌ی مدیریت پایگاه‌های داده و فایل‌ها و سرویس‌های وب مورد نیاز برای ارائه‌ی محتوا است. در این سطح، علاوه بر حفظ و نگهداری محتوا، باید به مسایل مربوط به تامین واسط‌های استاندارد برنامه‌نویسی کاربردها برای استفاده از محتوا نیز پرداخته شود. در نهایت در سطح کاربرد، این سامانه به مدیریت ابزارها و سرویس‌های کاربردی محیط یادگیری الکترونیکی می‌پردازد و واسط‌های تعامل با کاربران و دیگر برنامه‌های کاربردی را تامین می‌نماید. به این ترتیب بر اساس طرح معماری پیشنهادی، متناسب با نیازمندی‌های هر یک از کاربران در محیط یادگیری الکترونیکی، سرویس‌های نرم‌افزار، بستر و یا زیرساخت رایانش ابری در اختیار آن‌ها قرار خواهد گرفت.

معماری طراحی شده برای یک سیستم یادگیری و آموزش الکترونیکی (شکل ۷-۳) محدود به سرویس‌های قابل ارائه‌ی یک «ابر خصوصی»^{۱۱۲} نیست. به بیان دیگر، در این معماری الزامی نیست که تمام منابع رایانشی و سرویس‌های مختلف مبتنی بر آن‌ها (در سطوح زیرساخت، بستر و نرم‌افزار) تحت مالکیت و مدیریت سازمان ارائه‌دهنده‌ی سرویس یادگیری و آموزش الکترونیکی قرار داشته باشند. هر موسسه‌ی آموزشی و یا پژوهشی که بر اساس این معماری به ارائه‌ی سرویس بپردازد، می‌تواند علاوه بر منابع اختصاصی خود، از سرویس‌های رایانش ابری که فراهم‌کنندگان «ابر عمومی»^{۱۱۳} در اختیار کاربران عمومی قرار می‌دهند نیز استفاده نماید. برای نمونه می‌توان به آمازون به عنوان یکی از فراهم‌کنندگان مطرح سرویس‌های ابر عمومی اشاره کرد. «ابر محاسباتی کشسان»^{۱۱۴} و «سرویس ذخیره‌سازی ساده»^{۱۱۵} از جمله «سرویس‌های وب آمازون»^{۱۱۶} هستند که قابلیت بکارگیری در ایجاد محیط یادگیری الکترونیکی را دارند. در شکل ۷-۴ چگونگی پیاده‌سازی معماری پیشنهادی برای سیستم یادگیری و آموزش الکترونیکی بر اساس مدل ترکیبی سرویس‌های وب آمازون و منابع اختصاصی موسسه‌ی آموزشی و یا پژوهشی ارائه‌دهنده‌ی سرویس یادگیری و آموزش الکترونیکی (مانند پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران) نمایش داده شده است. سرویس ذخیره‌سازی ساده و ابر محاسباتی کشسان (که به طور مخفف اس‌۳ و ای‌سی‌۲ نامیده می‌-

^{۱۱۲} private cloud

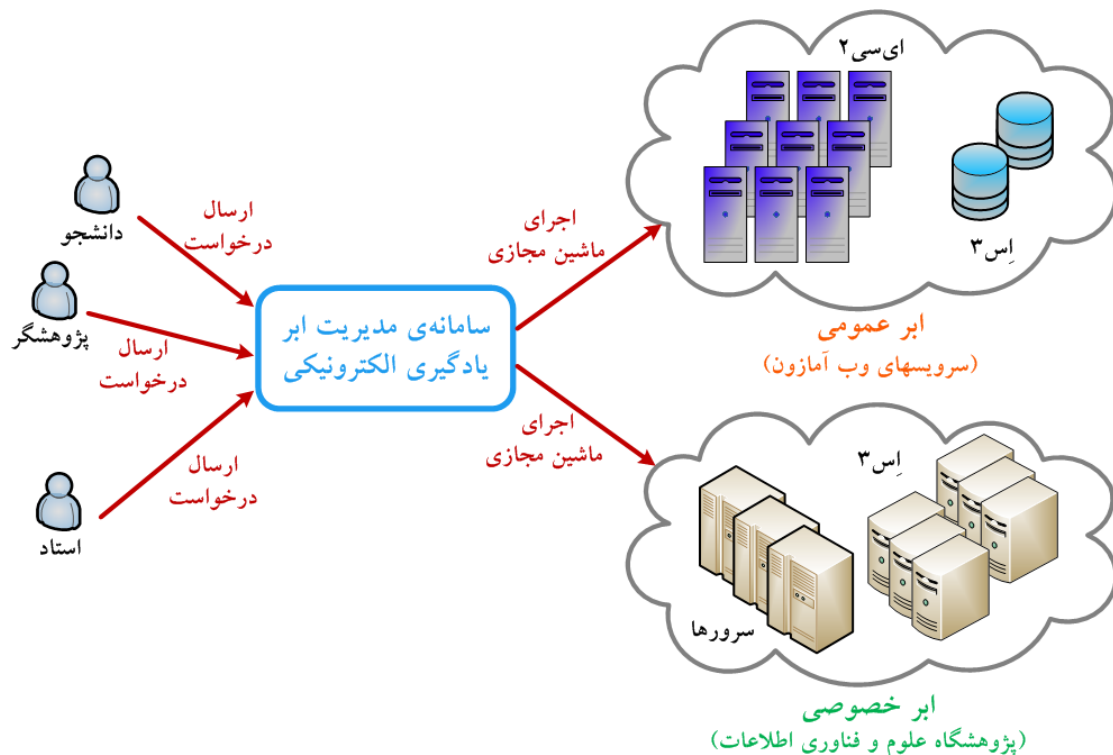
^{۱۱۳} public cloud

^{۱۱۴} Elastic Compute Cloud (EC2)

Simple Storage Service (S3)^{۱۱۵}

^{۱۱۶} Amazon Web Services (AWS)

شوند) به کاربران این امکان را می‌دهند که ظرفیت ذخیره‌سازی و محاسباتی سیستم یادگیری الکترونیکی را مطابق نیاز خود، به سادگی افزایش یا کاهش دهند و تنها به میزان منابع مصرفی خود هزینه پردازند.



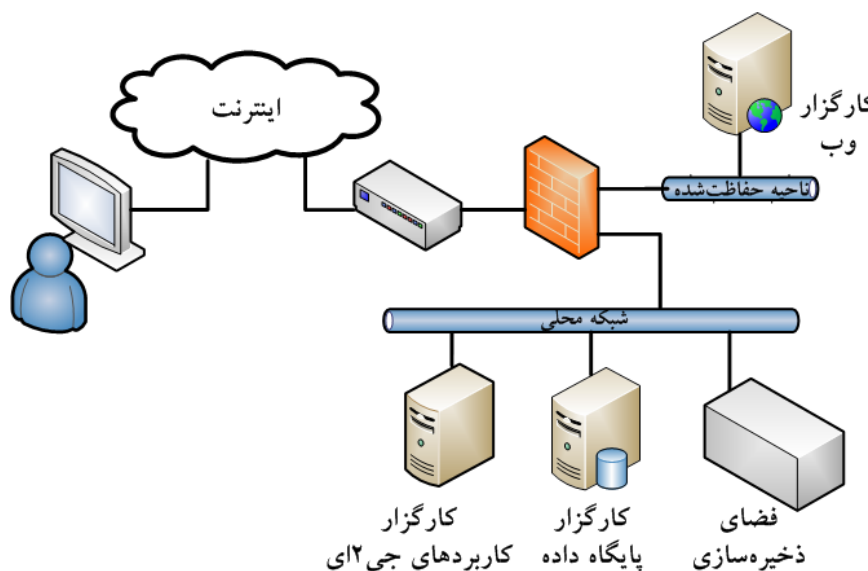
شکل ۵-۷ چگونگی پیاده‌سازی معماری پیشنهادی برای سیستم یادگیری و آموزش الکترونیکی بر اساس مدل ترکیبی

به این ترتیب در هر زمان که منابع خصوصی موسسه‌ی آموزشی یا پژوهشی موردنظر برای راه-اندازی و نگهداری سیستم یادگیری و آموزش الکترونیکی کافی نباشد، می‌توان ماشین‌های مجازی مورد نیاز سیستم را بر روی ابر عمومی به اجرا درآورد. بنابراین سرویس یادگیری و آموزش الکترونیکی در یک «ابر هایبرید»^{۱۱۷} ارائه می‌شود که با ترکیب سرویس‌های ابر خصوصی و عمومی در سطوح مختلف زیرساخت، بستر و نرم‌افزار، از مزایای هر دو برخوردار خواهد بود. به این ترتیب که ضمن ساده‌تر شدن امکان مقیاس‌پذیری سیستم، امکان بکارگیری کارا و بر حسب نیاز منابع فراهم می‌شود و هزینه‌های مدیریت منابع، راه‌اندازی و نگهداری سیستم ارائه‌دهنده‌ی سرویس یادگیری و آموزش الکترونیکی کاهش می‌یابد.

^{۱۱۷} hybrid cloud

۷-۲- ارایه‌ی طرح‌ها و پایان‌نامه‌های الکترونیکی

در راه‌کارهای متداول راه‌اندازی سیستم‌های ارایه‌ی طرح‌ها و پایان‌نامه‌های الکترونیکی، سازمان‌هایی که به پشتیبانی این کاربردها می‌پردازند، برای کارا بودن سیستم از فناوری‌های روز مانند جی‌آی‌ا^{۱۱۸}، هابرنیت^{۱۱۹}، جی‌پی‌ای^{۱۲۰} و آیس‌فیس^{۱۲۱} استفاده می‌کنند [51]. معماری سیستم‌ای-تی‌دی برای پیاده‌سازی چنین راه‌کارهای متداولی، به طور محلی در سازمان پشتیبان، در شکل ۷-۶ نمایش داده شده است.



شکل ۷-۶- پیاده‌سازی محلی راه‌کارهای متداول ای‌تی‌دی

در ادامه قصد داریم، به نحوه‌ی بکارگیری سرویس‌های رایانش ابری به منظور دستیابی به مقیاس‌پذیری و دسترس‌پذیری بالاتر در سیستم بپردازیم. به این منظور، در طرحی که ارایه خواهد شد، از سرویس‌های عمومی و متداول آمازون، به عنوان نمونه‌ای از سرویس‌های رایانش ابری که در سطح بسیار گسترده‌ای مورد پذیرش قرار گرفته‌اند، استفاده خواهد شد. از جمله سرویس‌هایی که بکار گرفته می‌شوند، عبارتند از:

¹¹⁸ J2EE

¹¹⁹ Hibernate (www.hibernate.org)

¹²⁰ Java Persistence API

¹²¹ ICEfaces (www.icesoft.org/projects/ICEfaces/overview.jsf)

- سرویس ذخیره‌سازی ساده (اس ۳) که از طریق یک واسط سرویس وب، امکان ذخیره‌سازی و بازیابی اطلاعات را فراهم می‌کند.
 - سیمپل‌دی‌بی^{۱۲۲} که یک سرویس ذخیره‌ساز داده‌ی بسیار مقیاس‌پذیر و انعطاف‌پذیر است که اغلب برای نگهداری اطلاعات بدون ساختار مانند صفحه‌های وب، فایل‌های ثبت^{۱۲۳} بکار می‌رود.
 - «بین‌استاک کشسان»^{۱۲۴} (ای‌بی‌اس) که راهی ساده و سریع برای راه‌اندازی کاربردهای وب جاوایی در ابر است. این سرویس با اعمال سیاست‌های مقیاس‌پذیری خودکار بر اساس معیارهایی مانند تعداد تقاضاها و یا میزان بهره‌وری سی‌پی‌یو، امکان دستیابی به قابلیت دسترس‌پذیری و مقیاس‌پذیری بالا را فراهم می‌کند.
- در ادامه چگونگی طراحی معماری سیستم‌های ای‌تی‌دی بر مبنای بکارگیری این سرویس‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- همان‌طور که در شکل ۷-۷ نشان داده شده است، برای راه‌اندازی ای‌تی‌دی بر اساس مدل‌های رایانش ابری باید یک تصویر ماشین مجازی (ای‌ام‌آی) ایجاد و به یک «بلوک کشسان»^{۱۲۵} (یا ای-بی‌اس) پیوند بخورد (ای‌بی‌اس مانند یک قطعه‌ی خارجی، بر روی ای‌سی ۲ قابل نصب است). ای-ام‌آی باید روی اس ۳ آپلود شود تا به این ترتیب با استفاده از ای‌سی ۲ بتوان در هر زمان که نیاز است آن را راه‌اندازی کرد. چگونگی پیکربندی پایگاه داده که فایل‌های داده را ذخیره‌سازی می‌کند، مشابه پیکربندی مورد استفاده در راه‌کارهای متداول است. پشتیبان‌گیری از تصویر ماشین مجازی در اس ۳ به صورت خودکار و پشتیبان‌گیری از فایل‌های داده بر روی «ظرفیت نصب‌شده»^{۱۲۶} از طریق «تصویربرداری لحظه‌ای»^{۱۲۷} (که می‌تواند مبتنی بر واسط‌های برنامه‌نویسی سرویس بلوک ذخیره‌سازی کشسان توسعه داده شود) انجام می‌گیرد.

¹²² SimpleDB

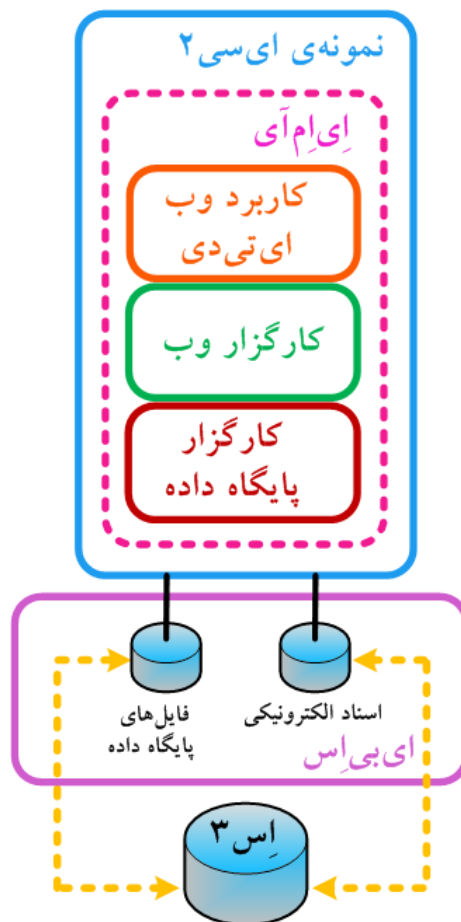
¹²³ log

¹²⁴ Elastic BeanStalk (EBS)

¹²⁵ Elastic Block Service (EBS)

¹²⁶ mounted volume

¹²⁷ Snapshot



شکل ۷-۷ - طرح معماری ای تی دی بر اساس مدل های رایانش ابری

راه کار پیشنهادی مشابه با راه کارهای متداول است با این تفاوت که امکان می دهد میزان منابع بر حسب نیاز افزایش یابد. همچنین این راه کار مقیاس پذیرتر است، زیرا با بکارگیری فناوری مجازی سازی، افزودن تعداد نمونه ماشین های مجازی تنها چند دقیقه به طول می انجامد (بر خلاف راه کارهای متداول که کاری زمان بر است).

از نظر فضای ذخیره سازی، سرویس های آمازون برای تثبیت داده ی کاربران، دو امکان انتخاب را در اختیار آن ها قرار می دهند که عبارتند از سرویس ذخیره سازی ساده (اس ۳) و سرویس بلوک کشسان (ای بی اس). بنابراین برای پیاده سازی راه کار فوق، چند روش برای توزیع داده ها وجود خواهد داشت:

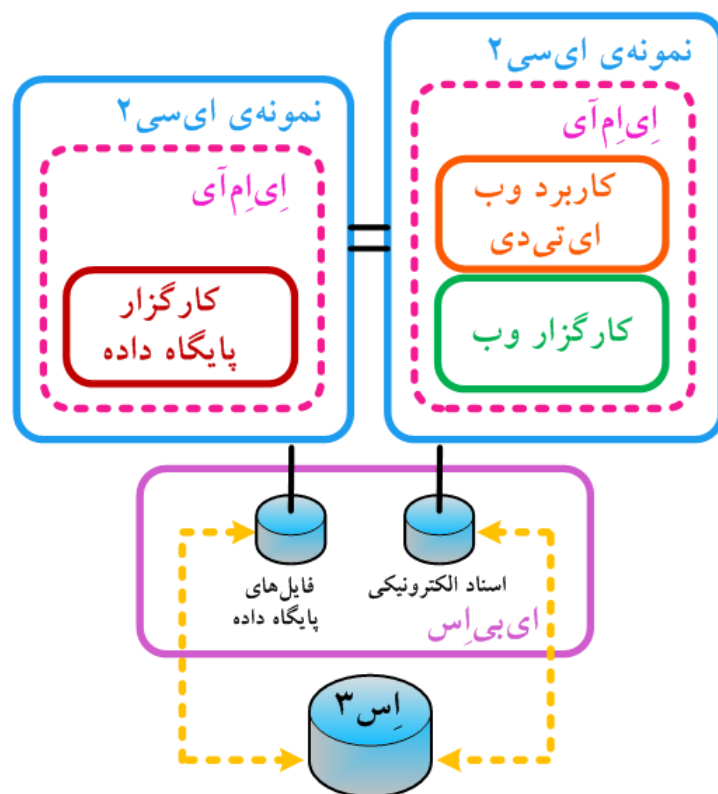
- پایگاه داده و فایل های الکترونیکی روی اس ۳ ذخیره شوند.
- پایگاه داده روی ای بی اس و فایل های الکترونیکی روی اس ۳ ذخیره شوند.
- پایگاه داده و فایل های الکترونیکی روی ای بی اس ذخیره شوند و پشتیبان گیری از تصویربرداری لحظه ای بر روی اس ۳ انجام شود.

بررسی روش‌های فوق نشان می‌دهد که روش اول چندان عملی نیست. زیرا برای ذخیره‌ی فایل‌های پایگاه داده بر روی اس ۳، باید نرم‌افزار پایگاه داده به‌گونه‌ای تغییر داده شود که از وب سرویس‌های اس ۳ استفاده کند و فایل‌های خود را از طریق آن‌ها ذخیره و بازیابی کند. از نقطه نظر کارایی نیز، این روش کارایی کاربردها را به شدت کاهش می‌دهد، علاوه بر این که ممکن است در نتیجه‌ی تاخیر بسیار بالا در ارتباطات بین ای‌سی ۲ و اس ۳، این روش منجر به وقفه‌های زمانی غیرقابل قبولی شود.

در روش دوم، با ذخیره‌ی فایل‌های پایگاه داده روی ای‌بی‌اس می‌توان این فایل‌ها را تثبیت کرد، ضمن این که کارایی دسترسی پایگاه داده نیز در حد قابل قبولی خواهد بود. ذخیره‌ی فایل‌های الکترونیکی روی اس ۳ بر روی کارایی افزودن و بازیابی فایل‌ها تاثیرگذار است و آن را کاهش می‌دهد، اما از سوی دیگر ماندگاری و دسترس‌پذیری بالای داده‌ها را تضمین می‌کند. بنابراین بسته به نیاز کاربرد می‌توان از ای‌بی‌اس و یا اس ۳ برای ذخیره‌سازی فایل استفاده کرد. اغلب میانگین پهنای باند بین نمونه‌ی ای‌سی ۲ و ای‌بی‌اس بسیار بیشتر از میانگین پهنای باند بین نمونه‌ی ای‌سی ۲ و اس ۳ و تاخیر ارتباطات کمتر است [65].

تجربه‌های موفق نشان داده است که بهترین روش از نقطه نظر کارایی این است که فایل‌های پایگاه داده، همراه با فایل‌های الکترونیکی روی ای‌بی‌اس نگهداری شوند. اما اگر بخواهیم ماندگاری و دسترس‌پذیری داده‌ها نیز در سطح مناسبی باشد، باید با استفاده از سرویس اس ۳، تصویربرداری‌های لحظه‌ای انجام گرفته (با برنامه‌نویسی دستی) از ای‌بی‌اس را ذخیره‌سازی کنیم. به این ترتیب همان‌طور که در روش سوم نیز بیان شده است، اس ۳ وظیفه‌ی پشتیبان‌گیری از ای‌بی‌اس را بر عهده خواهد داشت.

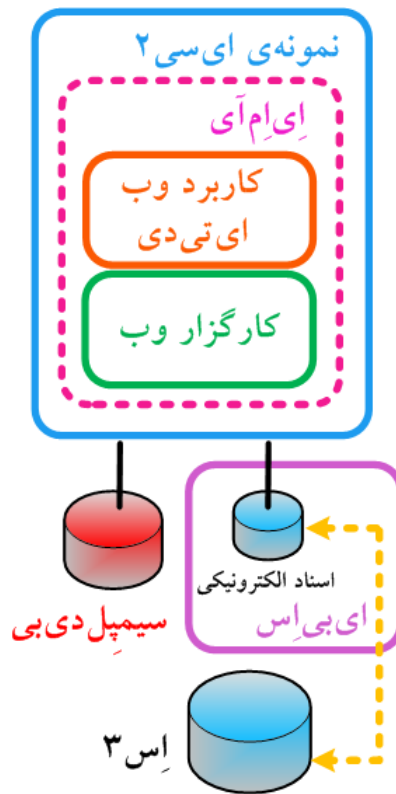
از آنجایی که سیستم ای‌تی‌دی دارای معماری چند لایه است، بسته به لایه‌ی گلوگاهی سیستم، می‌توان مقیاس‌پذیری هر یک از لایه‌های کاربرد و یا پایگاه داده را افزایش داد. برای افزایش مقیاس‌پذیری در لایه‌ی پایگاه داده، می‌توان ای‌ام‌آی را با نرم‌افزار پایگاه داده بارگذاری کرد و کارگزار پایگاه داده را روی نمونه‌ی ای‌سی ۲ مجزایی اجرا نمود. همان‌طور که در شکل ۷-۸ نشان داده شده است، اختصاص نمونه ای‌سی ۲ مجزا برای سرویس‌دهی پایگاه داده منجر به جدایی لایه‌ی کاربرد و لایه‌ی پایگاه داده می‌شود. نمونه‌ها می‌توانند بر اساس نرم‌افزار پایگاه داده‌ای که بر روی تصویر ماشین (ای‌ام‌آی) نصب شده است، از طریق کانال تی‌سی‌پی^{۱۲۸} با یکدیگر ارتباط برقرار کنند.



شکل ۷-۸ - افزایش مقیاس‌پذیری در طراحی

از آنجایی که ای‌تی‌دی یک کاربرد مبتنی بر سند (داده‌های بدون ساختار) است، استفاده از «سرویس پایگاه داده‌ی نسبی»^{۱۲۹} یا آردی‌اس برای پیاده‌سازی آن مناسب نیست. اما سیمپل‌دی‌بی، جایگزین مناسبی برای ارضای این نیازمندی است. در شکل ۷-۹ چگونگی ارایه‌ی ای‌تی‌دی با استفاده از سیمپل‌دی‌بی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، این مدل، مفهوم جداسازی پایگاه داده را هم‌چنان پیاده‌سازی می‌کند و می‌تواند برای افزایش گذرده‌ی بارکاری مورد استفاده قرار گیرد.

¹²⁹ Relational Database Service (RDS)



شکل ۷-۹ - رایحه‌ی ای‌تی‌دی با استفاده از سیمپل دی‌بی

برای دستیابی به مقیاس‌پذیری در لایه‌ی کاربرد، می‌توان از سرویس مقیاس‌دهی خودکار استفاده کرد. این سرویس بر اساس سیاست‌های تعریف‌شده‌ی کاربر (برای مثال بر حسب میزان استفاده از سی‌پی‌یو و یا حافظه) در صورت نیاز به ایجاد نمونه‌های جدید ای‌سی ۲ می‌پردازد. همچنین می‌توان از سرویس بین‌استاک کشسان (که پیش‌تر توضیح داده شد)، برای تامین محیط‌های توسعه‌ی کاربردهای جاوایی استفاده نمود. در نهایت می‌توان از سرویس «تعادل بار کشسان»^{۱۳۰} برای توزیع متعادل بار بین نمونه‌های ای‌سی ۲ استفاده نمود. ایجاد تعادل بار خودکار، در راه‌کارهای پیشین رایحه‌ی ای‌تی‌دی نیازمند ابزارهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری خاص است، در حالی که مدل‌های رایانش ابری این مساله را به گونه‌ای ساده‌تر حل می‌کند.

۷-۳- انجام محاسبات علمی و پربازده

انجام محاسبات علمی و پربازده بر اساس هر سه مدل سرویس‌های رایانش ابری امکان‌پذیر است. به عنوان نمونه، برای انجام محاسبات پربازده مبتنی بر مدل سرویس سس، دو مدل سرویس دیگر

¹³⁰ Elastic Load Balancing

که در سطوح پایین‌تر قرار گرفته‌اند نیز (مدل یَس با ارایه‌ی سرویس‌های ذخیره‌سازی و پردازشی، و مدل پَس با ارایه‌ی سرویس‌های به اشتراک‌گذاری کاربردها و محیط‌های توسعه^{۱۳۱}) بکار گرفته می‌شوند، تا این امکان فراهم شود که کاربردهای پربازده در قالب سرویس‌های نرم‌افزاری (که در حال اجرا بر روی زیرساخت فراهم‌کنندگان سرویس‌های رایانش ابری هستند) در اختیار کاربران انتهایی قرار بگیرند.

برای انجام محاسبات پربازده بر اساس مدل‌های رایانش ابری و ارایه‌ی آن به عنوان یک سرویس، باید ابتدا کاربردهای اِچ‌پی‌سی بر روی ابر قرار بگیرند، سپس سرویس‌های کاربردهای اِچ‌پی‌سی ایجاد شوند و در نهایت این سرویس‌ها انتشار یابند. برای استقرار (گسترش)^{۱۳۲} کاربردها بر روی ابر سه مدل کلی شناسایی شده است [66]:

- ساده‌سازی استقرار، با فراهم کردن میان‌افزاری بر روی سرویس‌های یَس
- ساده‌سازی استقرار، با فراهم کردن مدل انتزاعی سطح بالایی از سرویس‌ها بر روی سرویس‌های یَس
- ساده‌سازی استقرار، با فراهم کردن مدل انتزاعی سطح بالایی از سرویس‌ها مستقیماً بر روی خوشه‌های سخت‌افزاری

در ادامه‌ی این بخش در مورد جزئیات این مدل‌ها بحث خواهد شد.

پس از استقرار کاربرد روی ابر، باید سرویس‌های کاربرد اِچ‌پی‌سی ایجاد و از طریق واسط‌های کاربرپسندی^{۱۳۳} قابل ارایه شوند. به این منظور می‌توان سرویس‌ها را در یک رجیستری منتشر کرد و از مزایای واسط‌های کاربرپسند مدل رایانش ابری سَس بهره‌گیری نمود. به این ترتیب که هر سرویس توسط مجموعه‌ای از مشخصات توصیف می‌شود و این اطلاعات در رجیستری سرویس-های کاربرد اِچ‌پی‌سی منتشر می‌شود. برای ارایه‌ی سرویس مورد نظر کاربر، پارامترهای تعریف شده توسط کاربر با مشخصات ثبت‌شده‌ی سرویس‌ها در رجیستری تطبیق داده می‌شوند. چگونگی بکارگیری واسط‌های کاربرپسند نیز در ادامه‌ی این بخش، با بحث بر روی هر یک از مدل‌های استقرار کاربردها بر روی ابر، مشخص خواهد شد.

هنگامی که کاربری برای انجام پژوهش خود نیاز به اجرا کردن کاربردهای اِچ‌پی‌سی بر روی ابر داشته باشد، ابتدا با رجیستری سرویس کاربردهای اِچ‌پی‌سی ارتباط برقرار می‌کند. با توجه به اولویت‌های کاربر در مورد سرویس کاربرد اِچ‌پی‌سی مورد نظرش، و نتیجه‌ی فرآیند شناسایی سرویس در رجیستری، چند سناریوی مختلف می‌توان در نظر گرفت.

¹³¹ development

¹³² deployment

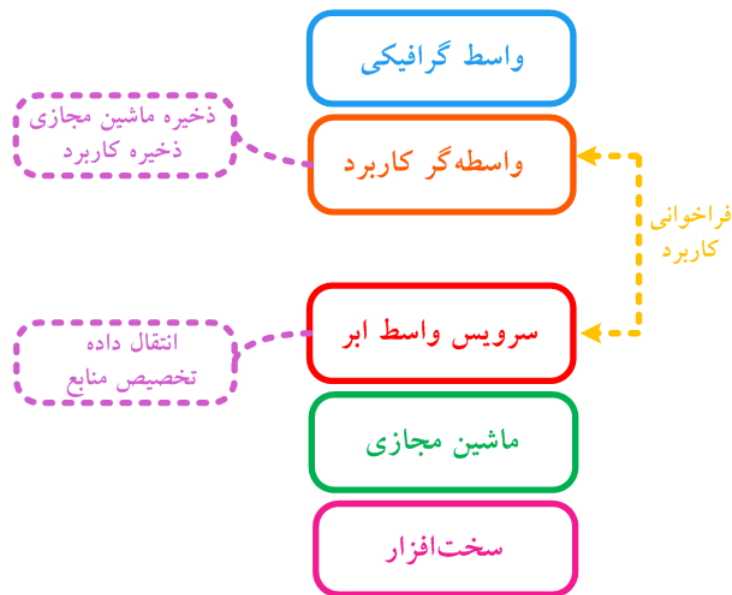
¹³³ user friendly

در سناریوی نخست، سرویس کاربرد اچ‌پی‌سی مورد نظر کاربر یافته نمی‌شود. در این صورت کاربر باید کاربرد اچ‌پی‌سی مورد نظرش را بر روی ابر پَس یا ابر یَس قرار دهد. در این مرحله، تصویر ماشین مجازی، به طور آماده، بر روی ابر پَس یا ابر یَس در دسترس قرار خواهد گرفت. سپس، سرویس کاربرد اچ‌پی‌سی به صورت انتزاعی، از طریق یک واسط کاربرپسند و تصویر ماشین مجازی ارایه می‌شود و به کاربر امکان می‌دهد به کاربرد اچ‌پی‌سی مورد نظرش در قالب یک ابر سَس دسترسی پیدا کند. در نهایت سرویس کاربرد اچ‌پی‌سی ایجاد شده در رجیستری سرویس کاربردهای اچ‌پی‌سی ثبت و منتشر می‌شود.

در سناریوی دوم، سرویس کاربرد اچ‌پی‌سی مورد نظر کاربر یافته می‌شود. در این صورت کاربر به واسط کاربرپسند سرویس کاربرد اچ‌پی‌سی مورد درخواستش هدایت شده و به آن دسترسی می‌یابد. در این مرحله، با توجه به به میزان رضایت کاربر از واسط، کیفیت استقرار (گسترش) کاربرد اچ‌پی‌سی و میزان سادگی ارایه‌ی آن به کاربر، دو حالت ممکن است پیش آید. در حالتی که واسط مورد رضایت کاربر واقع شود، سرویس کاربرد اچ‌پی‌سی بلافاصله در قالب یک ابر سَس ارایه شده و کاربرد اچ‌پی‌سی قابل استفاده‌ی کاربر خواهد بود. در حالت دوم، ارایه‌ی سرویس به کاربر بر طبق سناریوی نخست صورت خواهد گرفت.

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، مدل‌های استقرار (گسترش) کاربردهای اچ‌پی‌سی بر روی ابر، انواع مختلفی دارد که باید با جزییات بیشتری مورد بررسی قرار گیرد. یکی از انواع این مدل‌ها، گسترش کاربردهای اچ‌پی‌سی با فراهم کردن میان‌افزاری بر روی سرویس‌های یَس است. در صورت استفاده از سرویس‌های زیرساخت رایانش ابری (یَس)، کاربردها باید بر روی ماشین‌های مجازی نصب شده و سپس از طریق واسط‌های گرافیکی ارایه شوند. در طول این فرآیند، سایر عملیات عمومی نیز (مانند تخصیص منابع و انتقال داده)، باید توسط فراهم‌کننده‌ی سرویس کاربرد انجام گیرد. قرار گرفتن کاربردها بر روی ابرهای یَس را می‌توان با ایجاد یک محیط استقرار (که می‌توان آن را به عنوان یک میان‌افزار در نظر گرفت)، ساده‌تر نمود. همان‌طور که در شکل ۷-۱۰ نشان داده شده است، چنین محیطی بر روی ابر یَس قرار می‌گیرد و لایه‌ی سرویس‌دهی واسط ابر، سرویس واسطه‌گر^{۱۳۴} کاربرد و لایه‌ی واسط گرافیکی را در بر می‌گیرد.

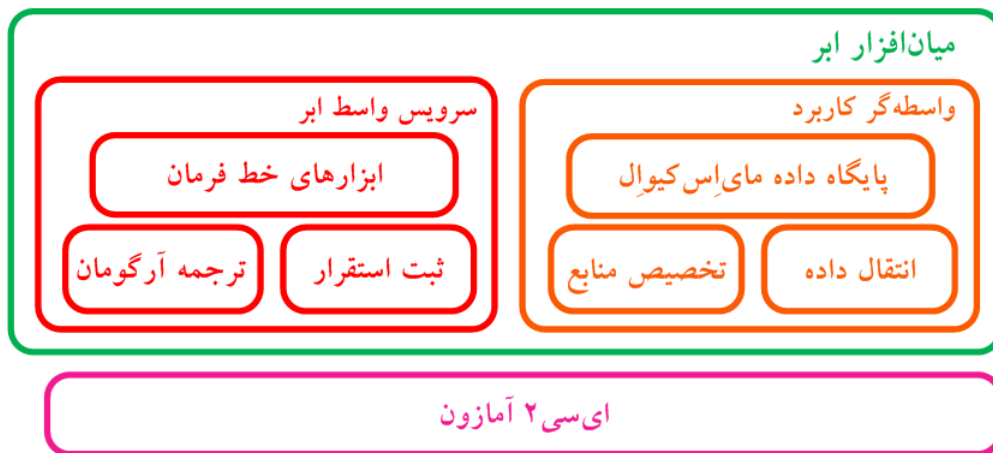
¹³⁴ broker



شکل ۷-۱۰ - مدل معماری کاربردهای اچ پی سی با فراهم کردن میان افزاری بر روی سرویس های یس

لایه ی سرویس دهی واسط ابر مستقیماً بر روی ابر یس قرار می گیرد. این لایه به تسهیل ارتباطات میان کاربر و ابر می پردازد و امکان درخواست منابع محاسباتی از ابر و انتقال مطمئن داده بین ماشین محلی و ابر را فراهم می سازد. واسطه گر کاربرد بر روی لایه ی سرویس دهی واسط ابر قرار می گیرد و اطلاعات منتشر شده توسط فراهم کننده ی سرویس را ذخیره می کند. از طریق این لایه، فراهم کنندگان سرویس کاربرد، اطلاعات مربوط به نحوه ی دسترسی به ماشین های مجازی و گسترش کاربرد را منتشر می کنند. در نهایت، از طریق لایه ی واسط گرافیکی، واسطه گر کاربرد، سرویس های منتشر شده را به کاربران نهایی نمایش و ارائه می دهد.

این مدل ترکیب سرویس ها به گونه ای که بحث شد، حداقل نیازمندی هایی بود که برای قرار گرفتن کاربردها روی ابر یس لازم است. بدیهی است که برای افزایش خودکاری فرآیند استقرار، ممکن است سرویس های دیگری نیز در پیاده سازی چنین میان افزاری بکار گرفته شوند. به این ترتیب با ساختن یک لایه ی انتزاعی سطح بالاتر بر روی ابرهای یس، نحوه ی استفاده از ابر ساده تر می شود. کاربران نهایی به جای استفاده از خط فرمان از طریق یک محیط گرافیکی با ابر تعامل دارند. همچنین کاربران به جای کار کردن با ماشین های مجازی مجزا، می توانند کارهایی که هم سخت-افزار، هم نرم افزار و هم داده در آن ها درگیر هستند را آغاز کنند و به پایان رسانند. نمونه ای از معماری چنین مدلی در شکل ۷-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۷-۱۱ - معماری مدل استقرار میان‌افزار بر روی ابر یس

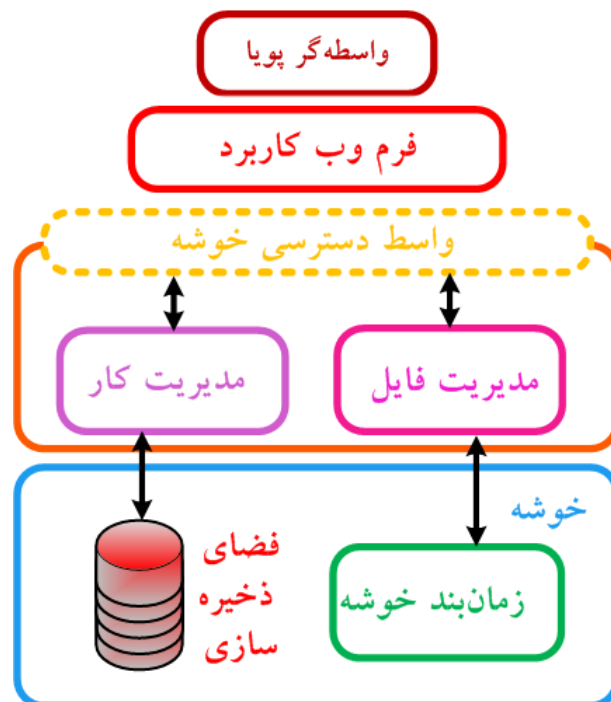
این مدل معماری از چندین مولفه ساخته شده است: پایگاه داده‌ی مای‌اس‌کیوال، میان‌افزار کاربرد ابر و ابزارهای خط فرمان ای‌سی ۲ که از طریق محیط وب ارایه می‌شوند. پایگاه داده برای نگهداری اطلاعات مربوط به کاربردهای استقرار یافته و گواهی‌های اعتبار کاربران مورد استفاده قرار می‌گیرد. میان‌افزار کاربرد اچ‌پی‌سی بر روی ای‌سی ۲ قرار می‌گیرد و همان‌طور که گفته شده امکان انتقال مطمئن داده و تخصیص منابع را فراهم می‌کند و روند استقرار کاربرد را ساده‌تر می‌نماید. به منظور ساده‌تر شدن روند استقرار، میان‌افزار، وظیفه‌ی ترجمه‌ی آرگومان‌هایی که برنامه‌های کاربردها پاس می‌دهند و ذخیره و ثبت دستورات نصب کاربردهایی که پیشتر استقرار یافته‌اند را نیز بر عهده دارد. ارتباط بین لایه‌ی میان‌افزار و ابر ای‌سی ۲ از طریق ابزار خط فرمان ای‌سی ۲ انجام می‌گیرد. هنگام استقرار کاربردها، واسطه‌هایی به کاربران ارایه می‌شود که از طریق آن‌ها سرویس‌های موردنظر خود را ایجاد کنند. این فرآیند با یک تصویر ماشین مجازی پایه به همراه چندین بسته‌ی نرم‌افزاری که به طور خودکار بر روی آن نصب می‌شوند، آغاز می‌شود و سپس هر کاربردی که (بسته به تخصص کاربر) بر روی ماشین مجازی نصب می‌شود از طریق کنترل‌های وب و یا خط فرمان قابل تنظیم و کنترل خواهد بود.

رایانش ابری با فراهم کردن خوشه‌های اچ‌پی‌سی بر حسب نیاز، مزایایی مانند انعطاف‌پذیری و هزینه‌های پایین‌تر را به کاربران ارایه می‌دهد. سرویس‌هایی که برای دسترسی به خوشه‌های اچ‌پی‌سی به کاربران ارایه می‌شوند، با استفاده از فنون انتزاعی‌سازی، بسیاری از پیچیدگی‌های زیرساخت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری زیرین را از دید کاربران می‌پوشانند. با این وجود کاربرانی که دانش کافی نسبت به محاسبات توزیع‌یافته ندارند، باید درگیر جزئیات مربوط به پیکربندی خوشه‌های اچ‌پی‌سی، نصب میان‌افزار و کاربردهای نرم‌افزاری شوند تا در نهایت سیستم آماده‌ی کار پژوهشی

آنها شود. از این رو یکی دیگر از انواع مدل‌های استقرار (گسترش) کاربردهای اچ‌پی‌سی بر روی ابر، فراهم کردن مدل انتزاعی سطح بالایی از سرویس‌های محاسباتی پربازده است. در این مدل فنون انتزاعی‌سازی بر روی ابرهای یس بکارگرفته می‌شوند و هم سخت‌افزار (شامل تجهیزات ذخیره‌سازی، شبکه و کارگزارهای فیزیکی/مجازی) و هم نرم‌افزار (شامل سیستم‌های عامل، میان-افزار و کاربردهای اچ‌پی‌سی در سطح کاربر) را زیر پوشش قرار می‌دهند.

به این ترتیب منابع مورد نیاز کاربردهای اچ‌پی‌سی می‌توانند به صورت مجموعه‌ای از تصویرهای ماشین‌های مجازی با کاربردهای اچ‌پی‌سی از پیش ایجادشده بر روی آنها، و یا به صورت مجموعه‌ای از اسکریپت‌هایی که می‌توانند برای ایجاد و مدیریت خوشه‌های کامپیوتری، دسترسی به کاربردهای اچ‌پی‌سی و انتقال داده بین کاربران و خوشه‌های کامپیوتری مورد استفاده قرار گیرند، به کاربران ارائه شوند. بر اساس چنین سرویسی که مستقیماً بر روی لایه‌ی یس قرار می‌گیرد، سرویس‌های کاربردهای اچ‌پی‌سی در سطوح بالاتر ساخته می‌شوند و در قالب سرویس‌های لایه‌ی یس در اختیار کاربران قرار می‌گیرند.

سومین مدل از انواع مدل‌های استقرار (گسترش) کاربردهای اچ‌پی‌سی بر روی ابر، فراهم کردن مدل انتزاعی سطح بالایی از سرویس‌ها مستقیماً بر روی خوشه‌های سخت‌افزاری است. لایه‌ی سرویسی که بر روی خوشه‌ها قرار می‌گیرد، امکان دسترسی به خوشه را فراهم می‌سازد به گونه‌ای که کاربران می‌توانند کاربردهای موجود را (همراه با داده‌ی موجود یا آپلود شده) فراخوانی کنند و یا کاربردهای موردنظر خود را (در صورت فراهم کردن «کد منبع»^{۱۳۵} و دستورات کامپایل آن) استقرار دهند. زیرساخت این مدل سرویس از سه مولفه‌ی اصلی تشکیل یافته است: سرویس انتشار که اطمینان حاصل می‌کند که آخرین اطلاعات مربوط به خوشه، به واسطه‌گر پویا انتقال داده شده است، واسطه‌ی اتصال که از توافق و هماهنگی وضعیت خوشه و سرویس انتشار اطمینان حاصل می‌نماید و سرویس دسترسی که امکان دسترسی یکسانی به تمام سرویس‌ها و خوشه فراهم می‌کند. از بین این مولفه‌ها، سرویس دسترسی پیچیده‌ترین مولفه است و خود از چندین مولفه تشکیل یافته که ساختار آن در شکل ۷-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۷-۱۲ - معاری مدل استقرار سرویس بر روی خوشه‌های سخت‌افزاری

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود یکی از این مولفه‌ها، واسطه دسترسی خوشه است که تنها نقطه دسترسی به خوشه به شمار می‌رود. مولفه مدیریت فایل برای انتقال تمام فایل‌های کاربرد (از جمله فایل‌های قابل اجرا، کد منبع، اسکریپت‌های فراخوانی و فایل‌های داده) از کاربران نهایی به خوشه و بر عکس بکار می‌رود. سرویس دیگر مولفه مدیریت کار است که تمام ارتباطات لازم با زمان‌بند خوشه را انجام می‌دهد. همچنین این مولفه با پاس دادن پارامترهای درست به زمان‌بند خوشه، مسوولیت اجرای کاربردها را (که اغلب از طریق اسکریپت‌های فراخوانی انجام می‌گیرد) بر عهده دارد. از جمله این پارامترها می‌توان به تعداد گره‌ها اشاره کرد (برای انتقال فایل‌های مورد نیاز از مولفه مدیریت فایل استفاده می‌شود).

در نهایت می‌توان با اضافه کردن لایه‌ی انتزاعی دیگری در سطح بالاتر، سرویس کاربردهای اچ‌پی-سی را از طریق درگاه وب به کاربران ارایه کرد. به این ترتیب که بر اساس پارامترهای موردنظر کاربران انتهایی که از طریق یک فرم وب دریافت می‌شود، اسکریپت فراخوانی مناسبی به صورت پویا ایجاد و برای اجرا به مولفه دسترسی فرستاده می‌شود. در نهایت لایه‌ی سرویس انتزاعی که بر روی خوشه‌ی سخت‌افزاری قرار گرفته از طریق زمان‌بند خوشه، اسکریپت و سایر پروسه‌های موردنیاز را اجرا می‌نماید.

در میان انواع روش‌هایی که برای استقرار و گسترش کاربردهای پربازده بر روی ابر مورد بررسی قرار گرفتند، مدل نخست که مبتنی بر ایجاد میان‌افزاری بر روی ابرهای یس است، از کارایی بالایی

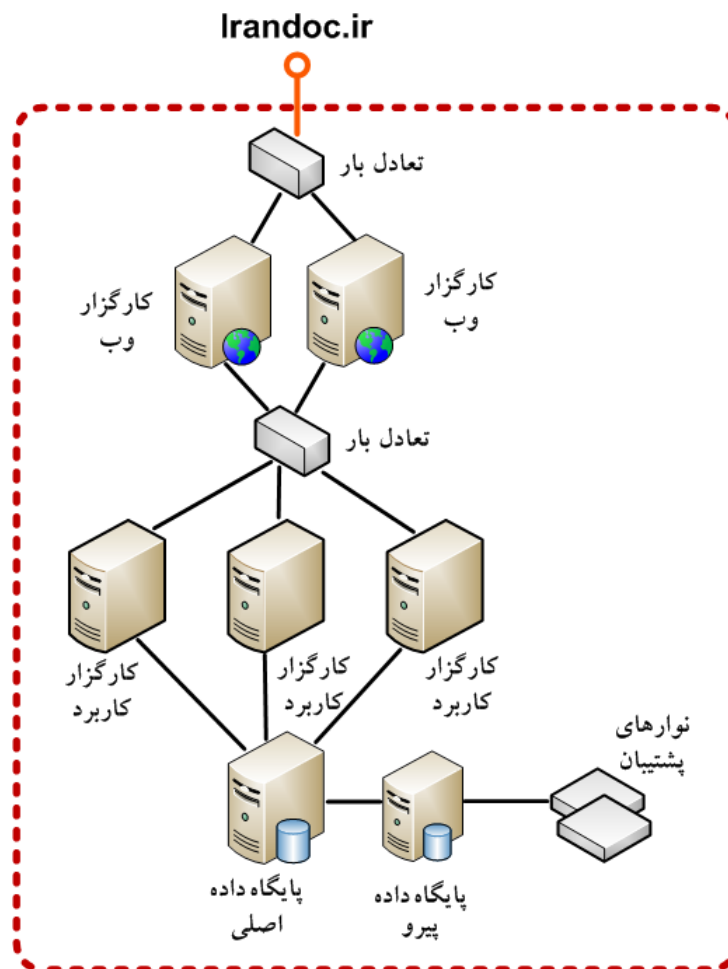
برخوردار است اما به دلیل امکان ایجاد وابستگی به فراهم‌کننده‌ی میان‌افزار، ممکن است انعطاف‌پذیری پایینی داشته باشد. از این رو در روش دوم، با انتزاعی‌سازی منابع محاسباتی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، لایه‌ی جدیدی از سرویس‌ارایه می‌شود که بر روی لایه‌ی یَس قرار می‌گیرد و بر اساس آن سرویس‌های کاربردهای اِچ‌پی‌سی در سطوح بالاتر ساخته شده و به کاربران ارایه می‌شوند. در نهایت روش سوم نشان می‌دهد که چگونه می‌توان با استفاده از خوشه‌ی کامپیوتری کوچک (که نمونه‌ی آن‌ها بسیاری از ابرهای خصوصی هستند که در مالکیت گروه‌های پژوهشی قرار دارند) به ارایه‌ی سرویس کاربردهای اِچ‌پی‌سی پرداخت.

۷-۴- سایر پتانسیل‌های رایانشی

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، درگاه وب یکی از مهم‌ترین کاربردهای جانبی در پژوهشگاه است که پتانسیل بالایی برای ارایه بر روی سرویس‌های رایانش ابری را دارد. مدل استاندارد معماری چنین کاربردی از سه لایه تشکیل یافته است. در لایه‌ی رویین با استفاده از یک تجهیز تعادل بار، هدایت ترافیک به طور متعادل بین دو کارگزار وب (برای مثال کارگزار آپاچی) که هر یک بر روی تجهیز فیزیکی جداگانه‌ای در حال اجرا و سرویس‌دهی هستند انجام می‌گیرد (این سرورها در ناحیه‌ی حفاظتی دی‌ام‌زد^{۱۳۶} قرار گرفته و کاربرد پشت فایروال اجرا می‌شود). لایه‌ی دوم معماری شامل کانتینر و کارگزار کاربرد (برای مثال تام‌کت) است که اغلب برای حفظ افزونگی در بالا نگه داشتن وب‌سایت، چند کارگزار وب در این لایه قرار می‌گیرند. در نهایت با توجه به نیاز کاربرد به پایگاه داده، یک کارگزار پایگاه داده‌ی اصلی (برای مثال مای‌اس‌کیوال) و چند کارگزار پیرو^{۱۳۷} (برای افزایش کارایی کلی) در لایه‌ی سوم قرار می‌گیرند. نمونه‌ای از این معماری در شکل ۷-۱۳ نشان داده شده است.

¹³⁶ DMZ

¹³⁷ slave

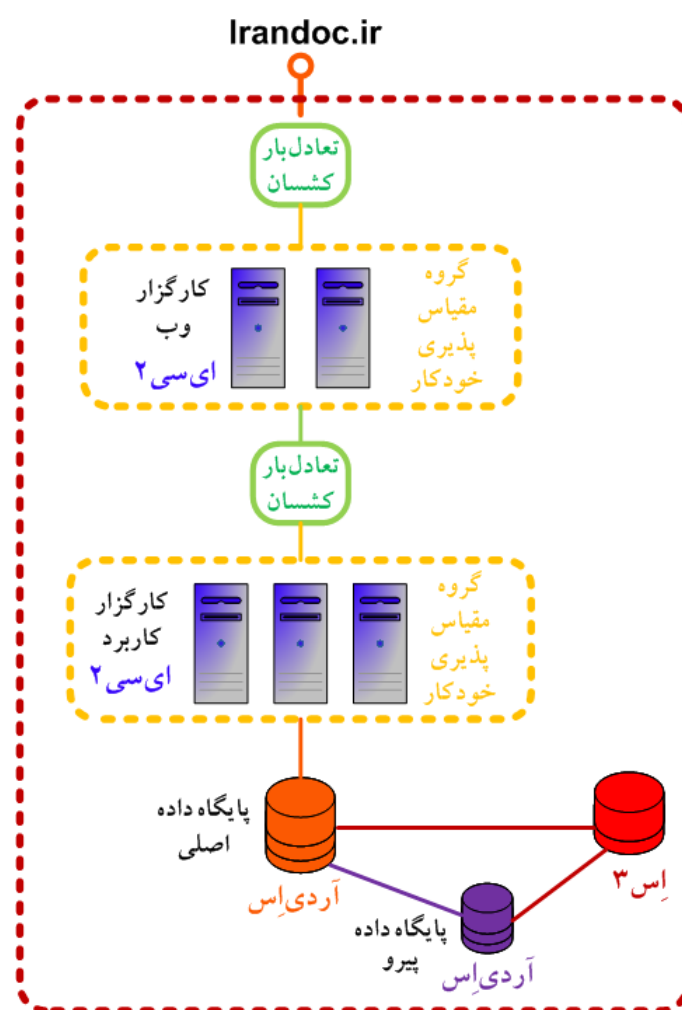


شکل ۷-۱۳ - مدل استاندارد معماری کاربرد وب

در معماری مبتنی بر مدل‌های رایانش ابری، در مرحله‌ی اول می‌توان عملیات تعدادل بار را با لحاظ قابلیت کشسانی راه‌اندازی نمود. به این منظور می‌توان برای مثال از کنسول مدیریت سرویس‌های وب آمازون استفاده نمود. در مرحله‌ی بعد، تمام فایل‌های ایستای کاربردها (مانند تصاویر و یا محتوای ایستای اچ‌تی‌ام‌ال) با استفاده از سرویس‌های لایه‌ی یس مانند سرویس ذخیره‌سازی اس‌۳ آمازون بر روی ابر قرار می‌گیرد (با استفاده از چند اسکرپت می‌توان تمام داده‌ها را از روی تجهیزات ذخیره‌سازی به اس‌۳ آمازون آپلود کرد). به این ترتیب با تعریف و ایجاد نقطه‌ی ارجاعی در صفحات وب، می‌توان کاربر را به محتوای ذخیره‌شده هدایت کرد تا آن را به طور مستقیم از اس‌۳ دریافت کند.

برای ارایه‌ی کاربردها بر روی ابر نیز تصاویر ماشین‌های مجازی (ای‌ام‌آی) متناظر با کارگزار وب و کارگزار کاربرد ایجاد می‌شود. در صورت استفاده از سرویس‌های وب آمازون، می‌توان ای‌ام‌آی‌ها را به گونه‌ای طراحی کرد که مستقیماً از روی ای‌بی‌اس بالا بیایند و در طول اجرا، آخرین نسخه‌ی

فایل ور^{۱۳۸} مربوط به خود را از مخزن کد منبع بگیرند. همچنین گروه‌های امنیتی تعریف و ایجاد می‌شوند تا کارگزارهای وب را از کارگزارهای کاربرد و پایگاه داده جدا نمایند (یادآوری می‌شود که در مدل معماری محلی، کارگزارهای وب در ناحیه‌ی دی‌ام‌زد فایروال قرار می‌گیرند و بنابراین در معماری مبتنی بر مدل رایانش ابری نیز، تعریف گروه‌های امنیتی در راستای همین سیاست امنیتی صورت می‌گیرد). معماری درگاه وب مبتنی بر مدل‌های رایانش ابری در شکل ۷-۱۴ نشان داده شده است.

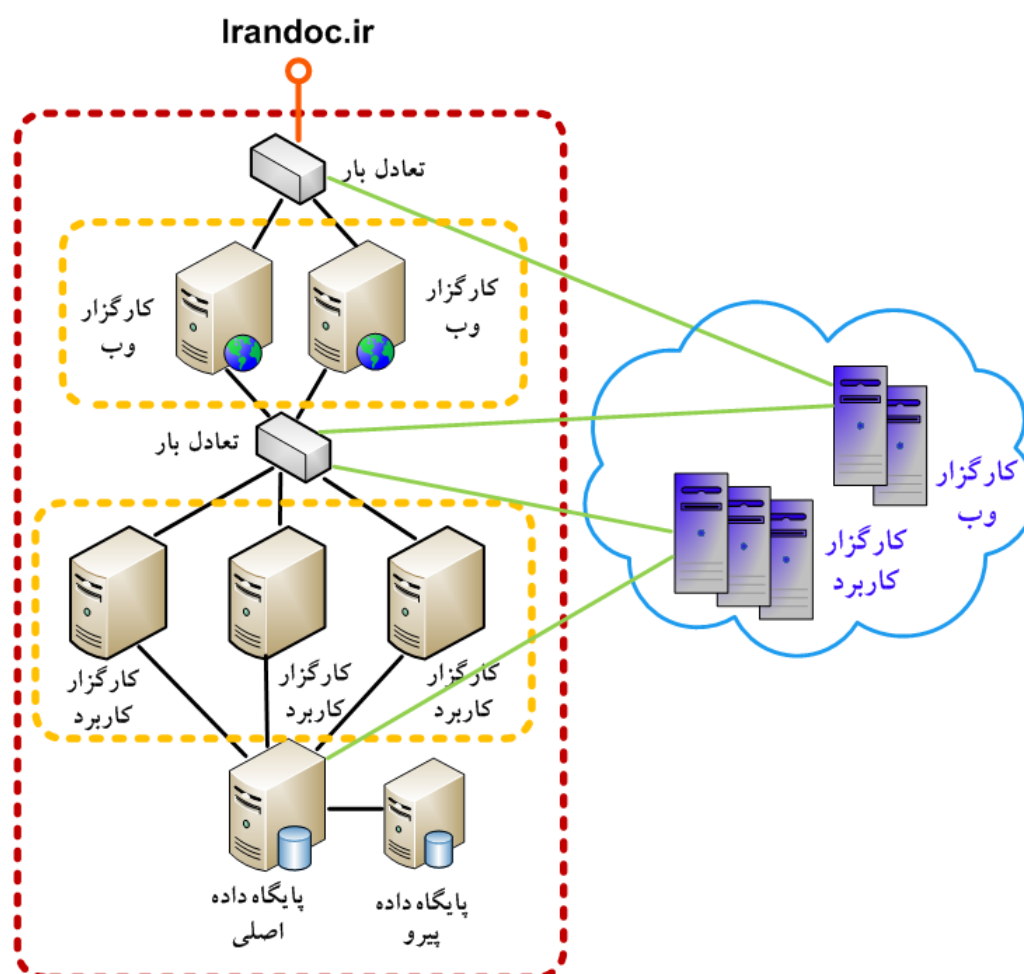


شکل ۷-۱۴ - معماری درگاه وب مبتنی بر مدل‌های رایانش ابری

همچنین می‌توان کاربرد وب را مبتنی بر مدل معماری ترکیبی (هایبرید) ارایه نمود که تلفیقی از دو مدل معماری بحث شده است. به بیان دقیق‌تر در مدل هایبرید، پیکربندی تجهیزاتی (احتمالاً سخت-

¹³⁸ WAR (Web application ARchive)

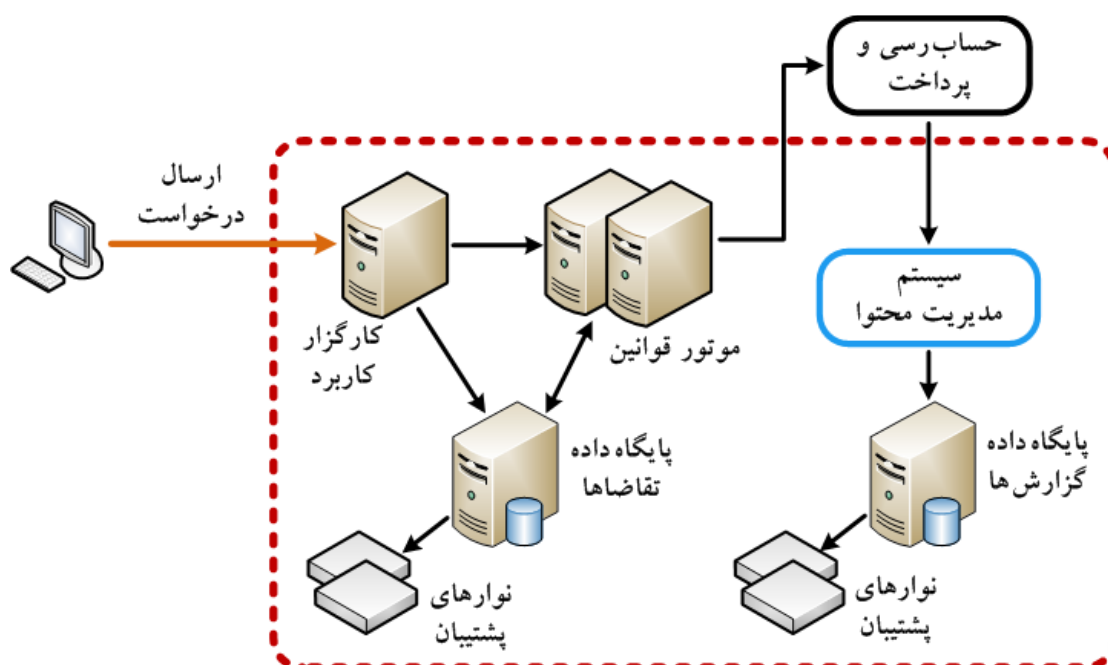
افزایی) که به صورت محلی برای ایجاد تعادل بار مورد استفاده قرار می‌گیرد به گونه‌ای تغییر داده می‌شود که به طور هم‌زمان بار ترافیکی را هم به کارگزارهای فیزیکی محلی و هم به کارگزارهای واقع در ابر هدایت کند. این مدل معماری که در شکل ۷-۱۵ نشان داده شده است علاوه بر این که می‌تواند به عنوان مدل پایدار معماری کاربرد وب انتخاب شود، ممکن است به صورت گذرا و تنها برای گذار از معماری لایه‌ای متداول (به شکل ۷-۱۳ رجوع شود) به معماری مبتنی بر رایانش ابری (به شکل ۷-۱۴ رجوع شود) نیز انتخاب شود.



شکل ۷-۱۵ - کاربرد وب مبتنی بر مدل معماری ترکیبی (هایبرید)

یکی دیگر از پتانسیل‌های رایانشی پژوهشگاه در بکارگیری مدل‌های رایانش ابری، انجام عملیات پردازشی پس‌زمینه‌ای فرآیندهای مختلف در ابر است. به عنوان نمونه‌ای ساده‌ای از فرآیندهایی که به صورت پس‌زمینه‌ای نیاز به عملیات پردازشی دارند، می‌توان به فرآیند پردازش تقاضاهای اشتراک کاربران و حساب‌رسی استفاده‌ی آن‌ها از سرویس‌های مختلف آموزشی و پژوهشی اشاره

نمود. مدل معماری متداول برای انجام عملیات پردازشی چنین فرآیندی در شکل ۷-۱۶ نشان داده شده است. ابتدا کارگزارهای کاربرد، تقاضاهای دریافتی را در «پایگاه داده‌ی رابطه‌ای»^{۱۳۹} (آردی‌بی) قرار می‌دهند. این تقاضاها با استفاده از موتور قوانین اعتبارسنجی می‌شوند. سپس داده‌های معتبر دوباره بر روی همان پایگاه داده ذخیره می‌شوند. این داده‌ها به طور متناوب بر روی نوارهای ذخیره‌سازی، پشتیبان‌گیری می‌شوند. تمام تقاضاهای معتبر به سیستم حسابرسی و پرداخت هدایت می‌شوند. کل گردش کاری مربوط به پردازش تقاضاها، پایش شده و در پایگاه داده‌ی مخصوص گزارش‌ها (برای مثال کارگزارِ اس‌کیوال) ثبت می‌شود. سیستم مدیریت محتوا (سی‌ام‌اس)، اسناد مربوط به تقاضاها و گزارش‌ها و سایر اسناد پشتیبان را نیز مدیریت می‌کند. کل این فرآیند توسط مسوولان اینترنت نیز ردیابی است و در صورت لزوم مورد تنظیم قرار می‌گیرد.

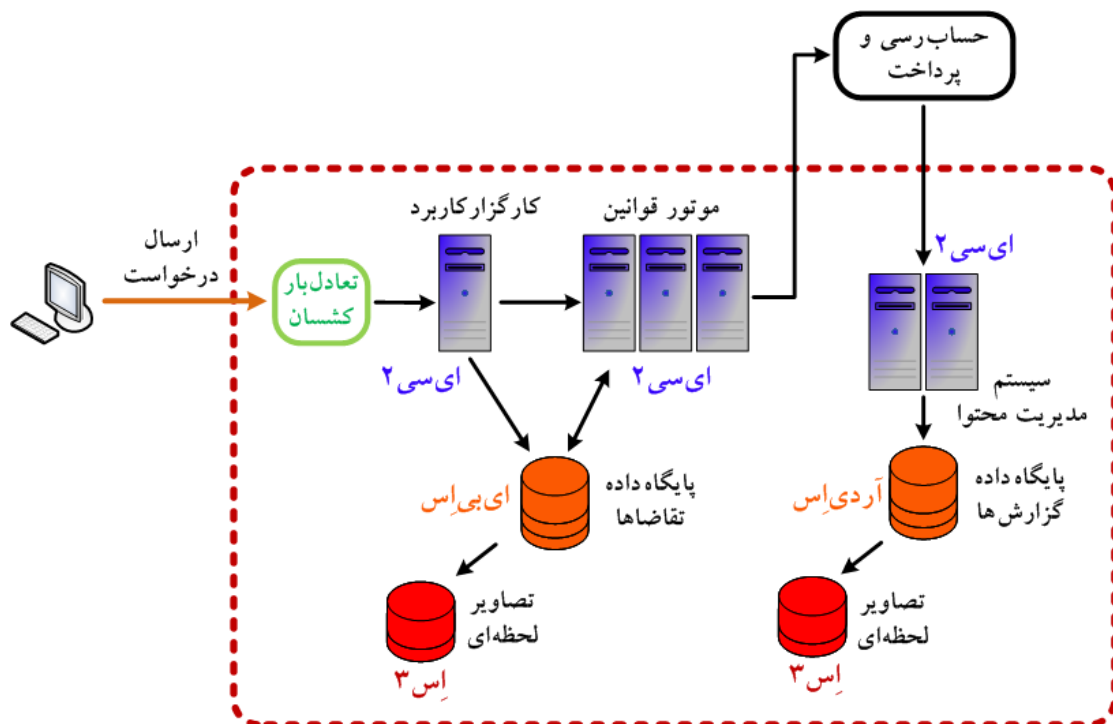


شکل ۷-۱۶ - معماری سیستم برای انجام عملیات پردازشی پس‌زمینه‌ای فرآیند حسابرسی اشتراک کاربران

با توجه به این که یکی از انگیزه‌های اصلی بکارگیری رایانش ابری در این دسته از کاربردها، ایجاد افزونگی و کاهش امکان ازکارافتادگی سیستم است، معماری مبتنی بر مدل ترکیبی (هایبرید) و به صورت نشان داده شده در شکل ۷-۱۷ خواهد بود. برای اشاره به نام سرویس‌های رایانش ابری به طور مشخص، در این مدل معماری فرض بر این است که از سرویس‌های وب آمازون استفاده می‌شود. در این معماری ابتدا توسط راه‌کار کشسانی برای ایجاد تعادل بار، ترافیک کاربران با توجه به

¹³⁹ Relational DataBase (RDB)

میزان بهره‌وری تجهیزات سخت‌افزاری موجود محلی، به سیستم محلی مبتنی بر این تجهیزات و یا سیستم افزونه‌ی معماری شده مبتنی بر ابر، مسیریابی و هدایت می‌شود.



شکل ۷-۱۷ - معماری سیستم برای انجام عملیات پردازشی پس‌زمینه‌ای فرآیند حساب‌رسی اشتراک کاربران، مبتنی بر مدل‌های رایانش ابری

همان‌طور که در شکل ۷-۱۷ نشان داده شده است، کارگزار کاربرد و موتور جستجو هر کدام به صورت جداگانه بر روی یک نمونه‌ی ای‌سی ۲ اجرا می‌شوند. برای ایجاد قابلیت کشسانی، علاوه بر این که از سرویس بلوک کشسان (ای‌بی‌اس) برای تغییر ظرفیت نصب شده‌ی^{۱۴۰} نمونه‌های ای-سی ۲ استفاده می‌شود، یک تصویر ماشین آمازون (ای‌ام‌آی) پیکربندی شده ساخته می‌شود تا در صورت نیاز مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال ممکن است نیاز به اجرای چندین نمونه از موتور جستجو باشد تا عملیات پردازش سریع‌تر انجام گیرد. کارگزار کاربرد و پایگاه داده‌ی سیستم مدیریت محتوا نیز می‌توانند بر روی ابر راه‌اندازی می‌شوند. به این ترتیب که کارگزار کاربرد بر روی یک نمونه ای‌سی ۲ استقرار می‌یابد و برای ذخیره و نگهداری گزارش‌ها (پایگاه داده‌ی گزارش‌ها) و فایل‌های پشتیبان (مخزن پشتیبان‌گیری) نیز به ترتیب از سرویس‌های «آردی‌اس»^{۱۴۱}

¹⁴⁰ mounted EBS volume

¹⁴¹ RDS (Relational Database Service)

(سرویس پایگاه داده‌ی رابطه‌ای) و اس ۳ استفاده می‌شود. بدیهی است که علت استفاده از آردی‌اس در معماری مبتنی بر ابر این است که، برای نگهداری گزارش‌ها در معماری محلی از پایگاه‌های داده‌ی رابطه‌ای (کارگزار اس کیوال) استفاده شده است.

پایان

1. THE AMAZON S3 TEAM. Amazon S3 Availability Event: July 20, 2008 [online]. July 2008. Available from: <http://status.aws.amazon.com/s3-20080720.html>.
2. M. Armbrust, A. Fox, R. Griffith, A.D. Joseph, R.H. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D.A. Patterson, A. Rabkin, I.Stoica, M.Zaharia, "Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing", Technical Report No.UCB/EECS-2009-28, University of California at Berkeley, 2009.
3. D. Parkhill, "The Challenge of the Computer Utility", Addison-Wesley Educational Publishers Inc., US, 1966.
4. J. Dean, S. Ghemawat, "Mapreduce: simplified data processing on large clusters", In OSDI'04: Proceedings of the 6th conference on Symposium on Operating Systems Design & Implementation (Berkeley, CA, USA, 2004), USENIX Association, pp. 1–10.
5. S. Ghemawat, H. Gobioff, and S.T. Leung, "The google file system", In SOSP '03: Proceedings of the nineteenth ACM symposium on Operating systems principles (New York, NY, USA, 2003), ACM, pp. 29–43.
6. F. Chang, J. Dean, S. Ghemawat, W. Hsieh, D. Wallach, M. Burrows, T. Chandra, A. Fikes, and R. Gruber, "Bigtable: A distributed storage system for structured data", In Proceedings of the 7th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI'06) (2006).
7. J. Hamilton, Cost of Power in Large-Scale Data Centers [online]. November 2008. <http://perspectives.mvdirona.com/2008/11/28/CostOfPowerInLargeScaleDataCenters.aspx>.
8. K. Rangan, "The Cloud Wars: \$100+ billion at stake", Tech. rep., Merrill Lynch, May 2008.
9. A. Bechtolsheim, "Cloud Computing and Cloud Networkin", Talk at UC Berkeley, December 2008.
10. J. Hamilton, "Internet-Scale Service Efficiency", In Large-Scale Distributed Systems and Middleware (LADIS) Workshop (September 2008).
11. W. Vogels, "A Head in the Clouds—The Power of Infrastructure as a Service", In First workshop on Cloud Computing and in Applications (CCA '08) (October 2008).
12. <http://www.gartner.com/technology/research/cloud-computing/>
13. L. Siegele, "Let It Rise: A Special Report on Corporate IT. The Economist (October 2008).
14. A. Bialecki, M. Cafarella, D. Cutting, and, O. O'malley, "Hadoop: a framework for running applications on large clusters built of commodity hardware", <http://lucene.apache.org/hadoop>.
15. Gartner Outlines Five Cloud Computing Trends That Will Affect Cloud Strategy Through 2015, April 2, 2012
<http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1971515>
16. Amazon.com CEO Jeff Bezos on Animoto [online]. April 2008.
17. J. Gray, "Distributed Computing Economics", Queue 6, 3 (2008), 63–68.
18. J. Hamilton, "Cooperative Expendable Micro-Slice Servers (CEMS): Low Cost, Low Power Servers for Internet-Scale Services", In Conference on Innovative Data Systems Research (CIDR '09), January 2009.
19. A. Stren, Update From Amazon Regarding Friday's S3 Downtime. CenterNetworks (February 2008). Available from:
<http://www.centrernetworks.com/amazon-s3-downtime-update>

20. S. Wilson, *AppEngine Outage*. CIO Weblog (June 2008). Available from: http://www.cio-weblog.com/50226711/appengine_outage.php.
21. T. Jackson, *We feel your pain, and we're sorry* [online]. August 2008. Available from: <http://gmailblog.blogspot.com/2008/08/we-feel-your-pain-and-were-sorry.html>.
22. V. Paxson, "Private Communication", December 2008.
23. H.E. Schaffer et al., *NCSUs Virtual Computing Lab: A Cloud Computing Solution*, *Computer* vol. 42, pp. 94-97, 2009.
24. 3ter Inc., *aPPLOGIC – Grid Operating System for Web Applications*, 2010, Available from: <http://www.3tera.com/AppLogic>
25. Citrix System Inc., <http://www.citrix.com>
26. Nimbus Project, <http://workspace.globus.org/clouds/nimbus.html/>, access on Apr 2012.
27. OpenNEBula Project, <http://www.opennebula.org/>, access on Apr 2012.
28. S. Venugopal, J. Broberg, and R. Buyya, *OpenPEX: An open provisioning and EXecution system for virtual machines*, in *Proceedings of the 17th International Conference on Advanced Computing and Communications (ADCOM 2009)*, Bengaluru, India, 2009.
29. VMWare Inc., *VMware vSphere*, <http://www.vmware.com/products/vsphere/>, access on Aug 2012.
30. D. Nurmi et al., "The Eucalyptus open-source cloud computing system", in *Proc. of IEEE/ACM Symp. on Cluster Computing and the Grid*, pp. 124-131, 2009, China.
31. Red Hat's Emerging Technology group, *oVirt*, <http://ovirt.org>, access on Aug 2012.
32. Platform Computing Corporation, *Platform ISF*. <http://www.platform.com/Products/platform-isf>, access on Aug 2012.
33. Amazon EC2, <http://aws.amazon.com/ec2/>
34. Flxyscale, <http://www.flxyscale.com/>
35. Joyent, joyent.com.
36. GoGrid, <http://www.gogrid.com/>
37. Rackspace, <http://www.rackspace.com/>
38. Aneka, <http://www.manjrasoft.com/products.html>
39. AppEngin, <http://code.google.com/appengine/>
40. Azure, <https://www.widowsazure.com/>
41. Salesforce, <http://www.salesforce.com/>
42. Heroku, <http://www.heroku.com/>
43. Paul Taylor, "Cloud computing investment accelerates," *Financial Times*, November 4, 2011, New York.
44. L. Vaquero, L. Rodero-Merino, J. Caceres, and M. Lindner, "A Break in the Clouds: Towards a Cloud Definition", *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Volume 39, Issue 1, pages 50-55, January 2009.
45. A.E. Youssef, "Exploring Cloud Computing Services and Applications," *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, vol. 3, no. 6, July 2012.
46. A. Fern'andez, D. Peralta, F. Herrera, and J.M. Ben'itez, "An Overview of E-Learning in Cloud Computing," *Workshop on Learning Technology for Education in Cloud*, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 173, 2012, pp 35-46.
47. T. Dillon, C. Wu and E. Chang, "Cloud Computing: Issues and Challenges", *24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, 2010.

48. Kwan, R., Fox, R., Chan, F., Tsang, P.: "Enhancing Learning Through Technology: Research on Emerging Technologies and Pedagogies", World Scientific, 2008.
49. M. Nasr, S. Ouf, "An Ecosystem in e-Learning Using Cloud Computing as platform and Web2.0," *The Research Bulletin of Jordan ACM*, vol.II(IV).
50. H. Collins. *Enterprise Knowledge Portals: Next Generation Portal Solutions for Dynamic Information Access, Better Decision Marketing, and Maximum Results*. Am. Management Assoc., 2003.
51. J. Xue¹ and A. Yahya, "CRITICAL ANALYSIS OF ECM APPLICATIONS IN THE CLOUDS: A CASE STUDY", *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)* Vol 4, No 3, June 2012.
52. P.J Nurenberg, "Cloud Infrastructure at the Texas Digital Library", *Journal of Digital Information*, Vol. 13, No. 1, 2012.
53. D. Thain, T. Tannenbaum, and M. Livny, "Distributed computing in practice: The condor experience," *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 17, pp. 323–356, February, 2005.
54. Foster and C. Kesselman, *The Grid: blueprint for a new computing infrastructure*, I.Foster and C. Kesselman, Eds. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., November 1998.
55. R. Pordes, D. Petravick, B. Kramer, D. Olson, M. Livny, A. Roy, P. Avery, K. Blackburn, T. Wenaus, F. Wurthwein, I. Foster, R. Gardner, M. Wilde, A. Blatecky, J. McGee, and R. Quick, "The open science Grid," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 78, no.1, 2007, pp. 012–057.
56. F. Gagliardi, M.E. Begin, "EGEE - Providing a Production Quality Grid for e-science," *Local to Global Data Interoperability - Challenges and Technologies*, Sardinia, Italy, June, 2005.
57. C. E. Catlett, "TeraGrid: A Foundation for US Cyberinfrastructure," in *Network and Parallel Computing*, LCNS vol. 3779, H. Jin, D. Reed, and W. Jiang Eds., Springer Berlin / Heidelberg, 2005.
58. Christian Vecchiola, Suraj Pandey, and Rajkumar Buyya, "High-Performance Cloud Computing: A View of Scientific Applications", *International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks*, Vol. abs/0910.1, pp. 4-16, Taiwan, 2009.
59. Sanjay P. Ahuja, Sindhu M., "The State of High Performance Computing in the Cloud", *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, VOL. 3, NO. 2, February 2012.
60. Ye Xiaotao, Lv Aili, Zhao Lin, "Research of High Performance Computing With Clouds", *Proceedings of the Third International Symposium on Computer Science and Computational Technology (ISCST '10)*, pp. 289-293, China, 2010.
61. S. Ostermann, A. Iosup, M. N. Yigitbasi, R. Prodan, T. Fahringer, and D. Epema, "An early performance analysis of cloud computing services for scientific computing," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Nov 2010, pp 1-10.
62. Vouk, M., Averitt, S., Bugaev, M., Kurth, A., Peeler, A., Shaffer, H., Sills, E., Stein, S., Thompson, J., "Powered by VCL - using virtual computing laboratory (VCL) technology to power cloud computing" In: *2nd Intl. Conference on the Virtual Computing Initiative (ICVCI)*, Research Triangle Park, North Carolina, USA, 2008

63. Dong, B., Zheng, Q., Qiao, M., Shu, J., Yang, J.: *BlueSky Cloud Framework: An ELearning Framework Embracing Cloud Computing*. In: Jaatun, M.G., Zhao, G., Rong, C. (eds.) *Cloud Computing*. LNCS, vol. 5931, pp. 577–582. Springer, Heidelberg (2009).
64. Sulistio, A., Reich, C., Doelitzscher, F.: *Cloud Infrastructure & Applications – CloudIA*. In: Jaatun, M.G., Zhao, G., Rong, C. (eds.) *Cloud Computing*. LNCS, vol. 5931, pp. 583–588. Springer, Heidelberg (2009)
65. S.Nodgowda, " Cloud Benchmarks: Amazon Storage Services", *Cloud Performance Benchmark series*, Cloud Computing Center(NSAC), 2011.
66. P. Church, A. Wong, M. Brock, A.M. Goscinski, "Deploying, Publishing and Accessing High Performance Computing Applications in a SaaS Cloud", *Technical Report Computing Series, TR C12/1*, Deakin University, Australia, 2012.