



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده برق

پروژه کارشناسی

گرایش الکترونیک

طراحی و پیاده سازی بستر بدون سرور اینترنت اشیاء

نگارش

محمدحسن مجاب

استاد راهنما

دکتر طاهری

شهریور ۹۸

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

به نام خدا

## تعهدنامه اصالت اثر

تاریخ: شهریور ۹۸

اینجانب **محمدحسن مجاب** متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است. در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان‌نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

محمدحسن مجاب

امضا

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر طاهری که بنده را یاری نمودند و جناب آقای دکتر شریفیان بابت راهنمایی‌های  
ارزنده ایشان کمال تشکر را دارم.

محمد حسن مجاب  
شهریور ۹۸

## چکیده

با توجه به گسترش اینترنت اشیاء در زمینه های تحقیقاتی و کاربردی احساس نیاز به سرویس های ابری اینترنت اشیاء بیشتر شده است. بیشتر شرکت ها و استارت آپ هایی که در این حوزه فعال هستند نیز تنها در سطح سخت افزار و توسعه نرم افزار فعالیت می کنند و برای ذخیره سازی داده ها و پردازش ها از ارائه دهنده های ابری استفاده می کنند. همزمان با اینترنت اشیاء، معماری بدون سرور نیز در زمینه رایانش ابری در حال رشد است که تمامی هزینه و تقاضای سرورها به عهده ی ارائه دهنده ی سرویس است و تنها مدت زمان اجرای توابع معیار قرار می گیرد. همچنین توسعه دهنده ها نیازی به در نظر گرفتن شرایط زیرساخت و سرورها ندارند. هدف این پروژه راه اندازی یک بستر بدون سرور برای اجرای توابع و پردازش های شبکه های اینترنت اشیاء شامل دریافت و تحلیل داده های حسگرها و اجرای سناریوهای مشخص است. این بستر می تواند مورد استفاده استارت آپ ها، دانشگاه ها و مراکزهای تحقیقاتی اینترنت اشیاء قرار گیرد.

## واژه های کلیدی:

اینترنت اشیاء، بدون سرور، تابع به عنوان سرویس

# فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	معرفی	۱
۲	۱-۱ مقدمه	۲
۳	۲-۱ تعریف مسأله	۳
۳	۳-۱ اهداف	۳
۴	۴-۱ ساختار	۴
۵	۲ مفاهیم اولیه	۵
۶	۱-۲ اینترنت اشیاء	۶
۸	۲-۲ مدل‌های رایانش ابری	۸
۱۰	۳-۲ رایانش بدون سرور	۱۰
۱۰	۱-۳-۲ Backend به عنوان سرویس (BaaS)	۱۰
۱۱	۲-۳-۲ تابع به عنوان سرویس (FaaS)	۱۱
۱۳	۳-۳-۲ راه حل‌ها و بسترهای ابری موجود	۱۳
۱۶	۴-۲ کانتینرها و هماهنگ کننده‌ی کانتینری	۱۶
۱۶	۱-۴-۲ کانتینرها	۱۶
۱۷	۲-۴-۲ داکر	۱۷
۲۳	۳-۴-۲ کورنتیز	۲۳
۳۶	۵-۲ OpenWhisk	۳۶
۳۶	۱-۵-۲ معماری OpenWhisk	۳۶
۳۷	۲-۵-۲ تابع‌ها و رویدادها	۳۷
۳۷	۳-۵-۲ زبان‌های برنامه نویسی OpenWhisk	۳۷
۳۸	۴-۵-۲ Action ها	۳۸
۳۸	۵-۵-۲ زنجیر کردن Action ها	۳۸
۳۹	۶-۵-۲ نحوه عملکرد OpenWhisk	۳۹
۴۴	۳ طراحی و پیاده سازی	۴۴
۴۵	۱-۳ دید کلی	۴۵
۴۶	۲-۳ طراحی	۴۶

۴۷	.....	میکروسرویس‌ها	۱-۲-۳
۴۷	.....	MQTT trigger provider	۲-۲-۳
۴۷	.....	مدیریت داده‌های سری زمانی	۳-۲-۳
۴۷	.....	برنامه کاربردی	۴-۲-۳
۴۹	.....	تکنولوژی‌های استفاده شده	۳-۳
۴۹	.....	MicroK8s	۱-۳-۳
۴۹	.....	Helm	۲-۳-۳
۴۹	.....	EMQx	۳-۳-۳
۴۹	.....	CouchDB	۴-۳-۳
۵۰	.....	InfluxDB	۵-۳-۳
۵۱	.....	پیاده سازی	۴-۳
۵۱	.....	OpenWhisk	۱-۴-۳
۵۱	.....	MQTT trigger provider	۲-۴-۳
۵۲	.....	سرویس‌های کوبرنتیز	۳-۴-۳
۵۲	.....	action ها و trigger ها	۴-۴-۳
۵۲	.....	سرویس گیرنده	۵-۴-۳
۵۳	.....	جمع بندی و نتیجه گیری و کارهای آینده	۴
۵۴	.....	جمع بندی و نتیجه گیری	۱-۴
۵۵	.....	کارهای آینده	۲-۴
۵۶	.....	منابع و مراجع	

# فهرست شکل‌ها

صفحه

شکل

۱-۲	ساختار شبکه‌ی اینترنت اشیا	۶
۲-۲	مدل‌های رایانش ابری	۹
۳-۲	مثال ابتدایی از معماری یک بستر بدون سرور	۱۲
۴-۲	افزایش محبوبیت کلمه serverless در Google Trends طی سه سال اخیر	۱۳
۵-۲	معماری بستر بدون سرور OpenWhisk	۱۵
۶-۲	نمایش یک کانتینر	۱۶
۷-۲	مقایسه سائز نمونه‌ها در محیط کانتینری و محیط مجازی	۱۹
۸-۲	مقایسه زمان راه‌اندازی نمونه‌ها در محیط کانتینری و محیط مجازی	۱۹
۹-۲	مقایسه قابلیت ادغام نمونه‌ها در محیط کانتینری و محیط مجازی	۲۰
۱۰-۲	ساختار داکر اینجین	۲۱
۱۱-۲	رابطه‌ی بین داکر ایمیج و داکر کانتینر	۲۲
۱۲-۲	معماری داکر	۲۲
۱۳-۲	به سوی کورنتیز	۲۳
۱۴-۲	رابطه‌ی نود و خوشه در کورنتیز	۲۶
۱۵-۲	معماری خوشه کورنتیز	۲۷
۱۶-۲	معماری خوشه کورنتیز با جزییات هر بخش	۲۸
۱۷-۲	معماری گره کارگر	۲۹
۱۸-۲	نمونه‌ای از اشیا موجود در کورنتیز	۳۱
۱۹-۲	طرحی از یک پاد	۳۲
۲۰-۲	نحوه کارکرد replica set	۳۳
۲۱-۲	طرحی از یک deployment	۳۴
۲۲-۲	روش اعلامی ایجاد شده توسط deployment	۳۴
۲۳-۲	طرحی از Persistent Volume	۳۵
۲۴-۲	طرحی از Ingress	۳۵
۲۵-۲	نحوه‌ی عملکرد رویداد محور OpenWhisk	۳۶
۲۶-۲	نمای کلی ساختار action های OpenWhisk	۳۹
۲۷-۲	ساختار OpenWhisk	۴۰



۲۸-۲	چگونگی پردازش action در OpenWhisk	۴۱
۱-۳	نمای کلی معماری پروژه	۴۶

# فصل اول

## معرفی

## ۱-۱ مقدمه

وب جهان گستر<sup>۱</sup> که با نام اینترنت شناخته می شود طی ۲۰ سال گذشته بیش از ۷ میلیارد کاربر داشته و سرعت رشد آن بیش از ۱۰۰۰ درصد افزایش یافته است. این تکنولوژی در سیر تکامل سایر تکنولوژی هایی که روزانه با آنها سر و کار داریم، تحول اساسی ایجاد کرده است. از تلفن های هوشمند و ساعت های هوشمند گرفته تا هواشناسی، کشاورزی، خانه های هوشمند و ماشین های هوشمند همگی تحت تأثیر این تحول قرار گرفته اند، به صورتی که می توان گفت اینترنت، شیوه زندگی کردن انسان ها را عوض کرده است.

علاوه بر کاربران عادی، دسترسی به اینترنت برای اکثر دستگاه ها و وسایل ممکن است که با پیشرفت های اخیر در زمینه الکترونیک دیجیتال و ارتباط بی سیم می توان گفت برای تمامی اشیاء این قابلیت به وجود آمده است که با اینترنت به راحتی به یکدیگر متصل شوند، با هم ارتباط داشته باشند و توسط کاربران یا اشیاء دیگر نظارت یا حتی کنترل شوند. این مفهوم به اینترنت اشیاء<sup>۲</sup> معروف شده است و در دهه اخیر رشد چشمگیری داشته است. در حال حاضر تعداد دستگاه هایی که به اینترنت متصل هستند از تعداد انسان ها پیشی گرفته است و پیش بینی می شود تا ۱۰ سال آینده به ۵۰۰ میلیارد برسد. دستگاه های اینترنت اشیاء در معماری، میزان حافظه و توان با یکدیگر تفاوت دارند. شبکه های اینترنت اشیاء نیز همانند دستگاه ها و بسته به محیط متنوع هستند. همچنین این دستگاه ها در منابع محدودیت دارند که این محدودیت می تواند شامل حافظه، منبع انرژی یا توان پردازشی باشد.

دسترسی به اینترنت همچنین باعث تغییر شگرفی در حوزه خدمات فناوری اطلاعات شده است. از جمله این تغییرات می توان به پدیدار شدن رایانش ابری<sup>۳</sup> و افزایش محبوبیت آن اشاره کرد. رایانش ابری مدلی از ارائه سرویس است که در آن ارائه دهندگان ابری، سرویس های پردازشی را از جمله فضای ذخیره سازی، سرور رایانشی و پایگاه داده را از طریق اینترنت برای کاربرها فراهم می کنند. هزینه متناسب با استفاده کاربران از این سرویس ها حساب می شود. رایانش ابری نه تنها باعث پایین آمدن هزینه های ساخت برنامه های کاربردی شده است، بلکه زمان دسترسی کاربران به زیرساخت ها و سرویس ها را کاهش داده است. در نتیجه بسیاری از شرکت ها به جای مراکز داده خصوصی خودشان به استفاده از سرویس های ابری روی آورده اند. [۱]

<sup>1</sup> Wolrd Wide Web

<sup>2</sup> Internet of Things

<sup>3</sup> cloud computing

## ۲-۱ تعریف مسأله

با توجه به گسترش اینترنت اشیاء در زمینه‌های تحقیقاتی و کاربردی و همچنین محدودیت‌های دستگاه‌های اینترنت اشیاء، احساس نیاز به سرویس‌های ابری بیشتر شده است. رایانش ابری، منابع مورد نیاز شبکه‌های اینترنت اشیاء را فراهم می‌کند. بنابراین بیشتر شرکت‌ها و استارت آپ‌هایی که در این حوزه هستند تنها در سطح سخت‌افزار و توسعه نرم‌افزار فعالیت می‌کنند و برای ذخیره سازی داده‌ها و پردازش‌ها از ارائه دهنده‌های ابری استفاده می‌کنند. شرکت‌های بزرگی همچون آمازون و گوگل که در زمینه رایانش ابری پیشرو هستند و سرویس‌های متنوعی در زمینه زیرساخت به عنوان سرویس تا نرم‌افزار به عنوان سرویس ارائه می‌کنند، نمونه‌ای از ارائه دهنده‌های ابری هستند که شرکت‌های زیادی در سرتاسر جهان از سرویس‌هایشان استفاده می‌کنند. متأسفانه امکان دسترسی به این سرویس‌ها توسط شرکت‌های ایرانی یا اساساً وجود ندارد یا با هزینه‌های گزاف امکان پذیر است. در داخل کشور نیز روند ارائه چنین سرویس‌هایی در حال آغاز شدن است. بنابراین در بازار داخل عرضه بسیار کمتر از تقاضا است، بنابراین نیاز به ارائه سرویس‌های نوین ابری به شدت احساس می‌شود.

از جهتی استفاده از سرویس‌های ابری برای تأمین منابع دستگاه‌های اینترنت اشیاء در سطح‌های مختلفی (زیرساخت، بستر نرم‌افزاری، نرم‌افزار و تابع) امکان‌پذیر است که هر کدام مزیت‌ها و معایب خاص خود را دارند. باید با بررسی دقیق‌تر و نیازسنجی، سرویس مناسب برای این حوزه مشخص گردد.

## ۳-۱ اهداف

همزمان با اینترنت اشیاء، معماری بدون سرور<sup>۴</sup> نیز در زمینه رایانش ابری در حال رشد است که هزینه و تقاضای سرورها به عهده‌ی ارائه دهنده سرویس است و تنها مدت زمان اجرای توابع تعریف شده توسط کاربر معیار قرار می‌گیرد. همچنین توسعه دهنده‌ها نیازی به در نظر گرفتن شرایط زیرساخت و سرورها ندارند و تنها بدون نیاز به داشتن هیچ گونه اطلاعات فنی در این حوزه به توسعه‌ی برنامه کاربردی خود با استفاده از تابع‌ها می‌پردازند.

هدف این پروژه طراحی و راه اندازی یک بستر بدون سرور برای اجرای توابع و پردازش‌های شبکه‌های اینترنت اشیاء شامل دریافت و تحلیل داده‌های حسگرها و اجرای سناریوهای مشخص است. این بستر می‌تواند مورد استفاده استارت آپ‌ها، دانشگاه‌ها و مراکزهای تحقیقاتی اینترنت اشیاء قرار گیرد.

<sup>۴</sup>serverless

## ۴-۱ ساختار

این پایان نامه به جز فصل معرفی از سه فصل دیگر تشکیل شده است. در فصل **دوم** به تعریف مفاهیم اولیه مورد نیاز و بررسی تکنولوژی ها و راه حل های موجود پرداخته شده است. پس از یادگیری مفاهیم و در نظر گرفتن اهداف پروژه، در فصل **سوم**، ابتدا ساختار کلی و طراحی پروژه توضیح داده شده، سپس نحوه پیاده سازی آن گام به گام مورد بررسی قرار گرفته است. نهایتاً در فصل **چهارم**، کارهای انجام شده در پروژه جمع بندی و نتیجه گیری می شود، سپس کارهای احتمالی آینده توضیح داده خواهد شد.

# فصل دوم

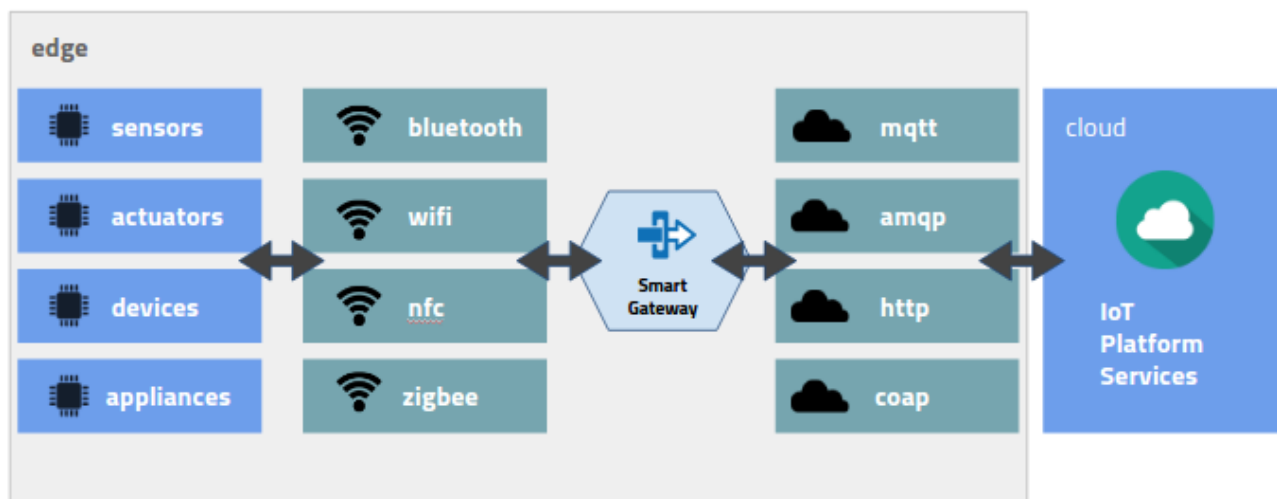
## مفاهیم اولیه

در این بخش به توضیح بیشتر مفاهیم معرفی شده (اینترنت اشیاء، رایانش ابری و بدون سرور) پرداخته شده، سپس پروژه‌ها و راه حل های موجود برای توسعه هر کدام از این محیط‌ها بررسی می‌شود.

## ۱-۲ اینترنت اشیاء

اینترنت اشیاء شبکه‌ای از دستگاه‌های هوشمند، فیزیکی مانند لوازم خانگی، وسایل نقلیه، دستگاه های پوشیدنی و حسگرها است. این دستگاه‌ها Things نامیده می‌شوند و از اینترنت برای برقراری ارتباط با یکدیگر استفاده می‌کنند. دستگاه‌های اینترنت اشیاء از نظر ماهیتی هوشمند، به هم پیوسته و محدود به منابع هستند. خانه هوشمند، کشاورزی، مراقبت‌های پزشکی و سیستم حمل و نقل هوشمند برخی از زمینه‌هایی هستند که در آینده نه چندان دور به دستگاه‌های اینترنت اشیاء متکی خواهند بود. به عنوان مثال، خودروی هوشمند از طریق ارتباط با خودروهای دیگر اطلاعات ترافیک را تجزیه و تحلیل می‌کند. در مثال دیگر پزشکان از طریق دستگاه‌های اینترنت اشیاء بر سلامتی بیماران نظارت می‌کنند. ارتباطات ذکر شده در بالا نیاز به اتصال بین دستگاه‌ها دارد و منجر به تولید حجم زیادی از داده‌ها می‌شود. با رشد اینترنت اشیاء، دنیایی در حال ایجاد است که میلیاردها دستگاه همه‌ی داده‌ها را جمع می‌کنند و از این داده‌ها می‌توان برای دستیابی به چیزی استفاده کرد که اگر همه این دستگاه‌ها به یکدیگر و اینترنت متصل نبودند، هیچگاه امکان پذیر نبود.

شکل ۱.۲ ارتباط بین انواع دستگاه‌های اینترنت اشیاء و gateway، پروتکل‌های ارتباطی و ارتباط با بستر خدمات ابری را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲: ساختار شبکه‌ی اینترنت اشیاء

دستگاه‌های اینترنت اشیاء ویژگی‌های بسیاری دارند که آن‌ها را از دستگاه‌های رایانشی قدیمی متمایز می‌کند. در ادامه این خصوصیات بررسی می‌شوند.

- **تنوع زیاد:** دستگاه‌های اینترنت اشیاء در سخت‌افزار و قابلیت‌های مختلف متفاوت هستند. در نتیجه، یک شبکه اینترنت اشیاء شامل دستگاه‌های مختلف برای تعامل با یکدیگر است.
- **محدودیت منابع:** دستگاه‌های اینترنت اشیاء قدرت پردازش و حافظه محدود دارند. آن‌ها برای انجام محاسبات محدود طراحی شده‌اند.
- **محدودیت انرژی:** دستگاه‌های اینترنت اشیاء می‌توانند دارای منبع انرژی مداوم یا محدود باشند. در صورت وجود انرژی مداوم، یک دستگاه به طور مداوم به منبع انرژی وصل می‌شود. از طرف دیگر، در محیط سیار، دستگاه‌های اینترنت اشیاء غیر ثابت هستند و از باتری به عنوان منبع انرژی خود استفاده می‌کنند.
- **شبکه پویا:** اکثر دستگاه‌های اینترنت اشیاء سیار هستند که باعث می‌شود شبکه‌ی اینترنت اشیاء پویا و مرتباً در حال تغییر باشد.



## ۲-۲ مدل‌های رایانش ابری

رایانش ابری یک الگو است که در آن خدمات رایانشی مانند حافظه ذخیره سازی، سرورهای رایانشی و پایگاه داده ها از طریق اینترنت توسط ارائه‌دهندگان ابری<sup>۱</sup> به کاربران ارائه می‌شود. ارائه دهندگان برای استفاده از خدمات، هزینه را به ازای هر بار استفاده، محاسبه می‌کنند. این مدل صورتحساب شبیه به خدمات روزانه مانند برق، گاز و آب است. محیط رایانش ابری از یک ارائه دهنده ابر تشکیل شده است که منابع بر اساس تقاضا و بسیار مقیاس پذیر را از طریق اینترنت برای مشتریان فراهم می‌کند. این منابع می‌توانند یک برنامه، یک پایگاه داده یا یک ماشین مجازی<sup>۲</sup> ساده و بدون سیستم عامل باشند. ارائه دهنده مسئولیت بیشتر مدیریت زیرساخت ها را بر عهده دارد. با این حال، کاربر هنوز وظیفه محدود کارهایی مانند انتخاب سیستم عامل، ظرفیت و اجرای برنامه را بر عهده دارد. ارائه دهنده می‌تواند ضمن دستیابی به چند اجازه، سریعاً منابع را مستقر و مقیاس کند. در حالی که، هزینه و زحمت های مدیریتی سمت کاربر به شدت کاهش می‌یابد.

تحولات رایانش ابری را می‌توان به مدل‌های زیر تقسیم کرد:

- **زیرساخت به عنوان سرویس<sup>۳</sup> (IaaS)** یک مدل رایانش ابری است، که در آن ارائه دهندگان، زیرساخت را مانند سرورها، پایگاه داده و فضای مرکز داده ها ارائه می‌دهند. با استفاده از این مدل، کاربر نیازی به نگرانی در مورد راه اندازی، تعمیر، نگهداری و مقیاس پذیری زیرساخت‌ها ندارد.
- **بستر نرم‌افزاری به عنوان سرویس<sup>۴</sup> (PaaS)** متشکل از ارائه دهنده خدماتی است که بستر رایانشی آماده به همراه راه حل های کاربردی را به کاربر ارائه می‌دهد و باعث صرفه جویی در زمان راه اندازی می‌شود. مشتری می‌تواند با تعامل کمتر با واسطه برنامه های کاربردی را توسعه دهد و به سرعت پیاده‌سازی کند. مشتری همچنین نیازی به نگرانی در مورد نرم افزار، پیکربندی شبکه (provisioning) و میزبانی (hosting) ندارد.
- **نرم‌افزار به عنوان سرویس<sup>۵</sup> (SaaS)** یک مدل رایانش ابری است که در آن کاربران بدون هیچ گونه نگرانی در مورد پیاده‌سازی و مدیریت از برنامه های مبتنی بر وب مستقر در سرورهای ابری بهره مند می‌شوند. با استفاده از یک مرورگر وب به این برنامه های میزبان ابری دسترسی پیدا می‌کنند. در این مدل کاربران از خدماتی با شروع سریع، تقاضا محور، موقعیت مکانی مستقل و

<sup>1</sup>cloud providers

<sup>2</sup>virtual machine

<sup>3</sup>Infrastructure as a Service

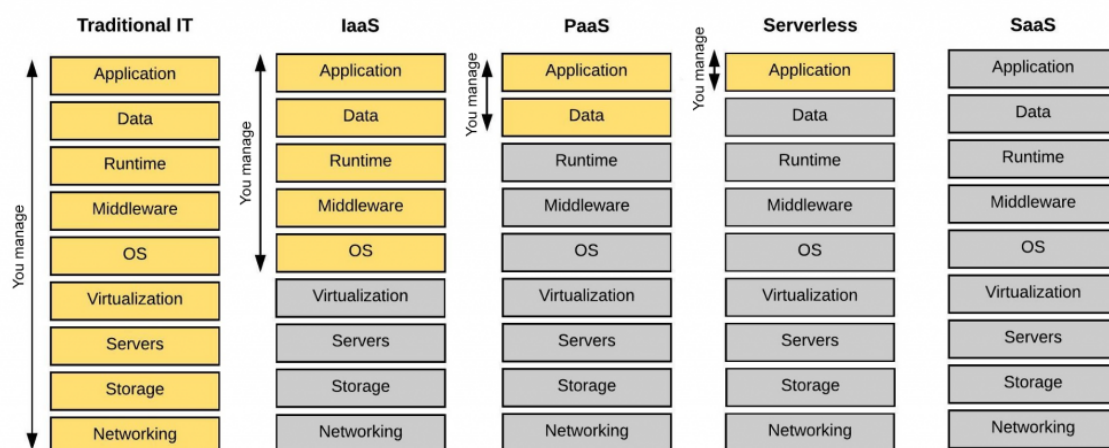
<sup>4</sup>Platform as a Service

<sup>5</sup>Software as a Service

مقیاس پذیری پویا بهره‌مند می‌شوند. با این حال، این رویکرد این مشکل را دارد که کاربر کنترل بسیار کمتری روی آن دارد.

• **رایانش بدون سرور** آخرین مدل رایانش ابری است که به طور خاص برای برنامه‌های گذرا (ephemeral)، فاقد وضعیت (stateless) و رویداد محور (event based) ساخته شده است. مدل رایانش بدون سرور مبتنی بر مقیاس پذیری افقی براساس تقاضا است زیرا برنامه‌های میزبانی شده نیاز به مقیاس شدن با سرعت بالا دارند. این مدل همچنین از رویکرد "pay as you go" رایانش ابری استفاده می‌کند و صورتحساب کاربران بر اساس استفاده با دقت میلی‌ثانیه حساب می‌شود. تعریف رسمی‌تر از رایانش بدون سرور این است: معماری‌های بدون سرور به برنامه‌هایی اطلاق می‌شوند که به خدمات شخص ثالث بستگی دارد (Backend به عنوان سرویس یا BaaS) یا به کدی که در کانتینرهای گذرا اجرا می‌شود (تابع به عنوان سرویس یا FaaS).

در شکل مدل‌های رایانش ابری نشان داده شده و همچنین بخش‌های مدیریت شده توسط ارائه دهنده مشخص شده است.



شکل ۲-۲: مدل‌های رایانش ابری

## ۳-۲ رایانش بدون سرور

تعریف اصطلاح بدون سرور دشوار است، زیرا این اصطلاح گمراه کننده است و تعریف آن هم بر مفاهیم دیگر مانند بستر نرم افزاری به عنوان سرویس (PaaS) و نرم افزار به عنوان سرویس (SaaS) همپوشانی دارد. بدون سرور بین این دو مفهوم قرار دارد، جایی که توسعه دهنده کنترل برخی زیرساخت های ابر را از دست می دهد، اما همانطور که در شکل توضیح داده شده است، بر روی کد برنامه کنترل دارد. مفاهیم بدون سرور به دو دسته تقسیم می شوند:

### ۱-۳-۲ Backend به عنوان سرویس (BaaS)

در مدل BaaS<sup>۶</sup> منطق سمت سرور دیگر توسط کاربر پیاده سازی و مدیریت نشده و در عوض از سرویس های ارائه دهنده استفاده می شود. این مدل بسیار نزدیک به مفهوم نرم افزار به عنوان سرویس (SaaS) است تا سر و کار داشتن با ماشین های مجازی و کانتینرها. در این مدل، برنامه ها به اجزای کوچک تر تقسیم می شوند و تعدادی از این اجزاء کاملاً با محصولات برون سپاری شده پیاده سازی می شوند. سرویس های BaaS دارای دامنه های عمومی هستند و از راه دور و از طریق API<sup>۷</sup> مورد استفاده قرار می گیرند. این سرویس ها بیشتر مورد توجه توسعه دهندگان برنامه تلفن همراه و صفحات وب ثابت قرار گرفته است زیرا به راحتی می توانند برای انجام کارهای مورد نیازشان از این سرویس ها استفاده کنند. برای مثال Firebase گوگل یک پایگاه داده است که کاملاً توسط خود گوگل مدیریت می شود و از آن مستقیماً می توان در هر برنامه کاربردی و بدون نیاز به هیچ سروری استفاده کرد.

نمونه دیگر سرویس های BaaS استفاده از منطق برنامه ای است که توسط تیم های دیگر پیاده سازی شده. به عنوان مثال سرویس هایی مانند Auth0 و Cognito برای احراز هویت کاربران و مدیریت آن ها وجود دارند که برنامه های وب و تلفن همراه می توانند از آن استفاده کنند بدون این که نیاز داشته باشند تیم توسعه آن ها حتی قسمتی از این منطق را خودشان پیاده سازی کنند.

BaaS به خاطر رشد در زمینه توسعه برنامه های کاربردی تلفن همراه معروف شد و گاهی اوقات به MBaaS<sup>۸</sup> یا Backend تلفن همراه به عنوان سرویس شناخته می شد. اما این مفهوم به backend برای برنامه های کاربردی تحت وب و موبایل محدود نمی شود و به عنوان مثال می توان از سرویس هایی برای مدیریت سیستم فایل و ذخیره سازی داده و حتی آنالیز گفتار استفاده کرد که کاملاً توسط شرکت دیگری ارائه و مدیریت می شوند. همچنین از این سرویس ها در سمت سرور نیز می توان بهره برد.

<sup>۶</sup>Backend as a Service

<sup>۷</sup>Application Programming Interface

<sup>۸</sup>Mobile Backend as a Service

## ۲-۳-۲ تابع به عنوان سرویس (FaaS)

در مدل سرویس دهی FaaS<sup>۹</sup>، منطق سمت سرور همچنان توسط خود برنامه نویسان نوشته شده و کنترل می‌شود. اما برنامه ها در کانتینرهای فاقد وضعیت و گذرایی اجرا می‌شوند و که به وسیله رویدادها ایجاد شده اند.

این مفهوم در بسیاری از موارد برای تعریف کردن مفهوم بدون سرور استفاده می‌شود و بسیاری از افراد آن دو را به اشتباه به جای یکدیگر به کار می‌برند. اگرچه FaaS به نسبت بقیه مفاهیم بدون سرور جدیدتر است و برای پیاده‌سازی پروژه تمرکز ما بر روی این مدل سرویس بیشتر خواهد بود، بنابراین بیشتر به توضیح کارکرد آن خواهیم پرداخت. هنگامی که ما می‌خواستیم برنامه سمت سرور را به روش های متداول قدیمی پیاده‌سازی کنیم، ابتدا با یک سرور میزبان، یک ماشین مجازی یا حتی یک کانتینر شروع به کار می‌کردیم. سپس برنامه خود را درون آن میزبان مستقر می‌کردیم. چنانچه میزبان یک ماشین مجازی یا کانتینر بود، برنامه ما به عنوان یک پردازش سیستم عامل اجرا می‌شد. معمولاً برنامه ما متشکل بود از کدهایی که برای انجام عملیات های مختلف و مرتبط با هم نوشته شده بودند.

FaaS این نوع پیاده‌سازی را تغییر داد. به این صورت که میزبان و پردازش ی برنامه از این مدل حذف شدند و تمرکز بر پیاده‌سازی منطق برنامه به صورت عملیات ها و تابع های جداگانه قرار گرفت. این تابع ها پس از توسعه به صورت جداگانه بر روی بستر FaaS قرار گرفته و اجرا می‌شوند. این تابع ها مانند یک پردازش سرور نیستند که پیوسته فعال باشند و همیشه در وضعیت idle قرار داشته باشند تا اینکه زمان اجرای آن ها برسد و به صورت قدیمی اجرا شوند. در عوض بستر بدون FaaS طوری ساخته شده که برای هر تابع منتظر رویداد مربوط به آن بماند. زمانی که آن رویداد رخ داد، بستر از تابع مربوط به آن یک نمونه می‌سازد، سپس آن نمونه را با پارامترهای رویداد اجرا می‌کند. هنگامی که اجرای تابع به اتمام رسید، بستر FaaS آزاد است که آن را حذف کند، اما ممکن است آن را برای بهینه سازی مدتی نگه دارد تا اگر رویداد جدیدی رخ داد نخواهد آن را از ابتدا بسازد.

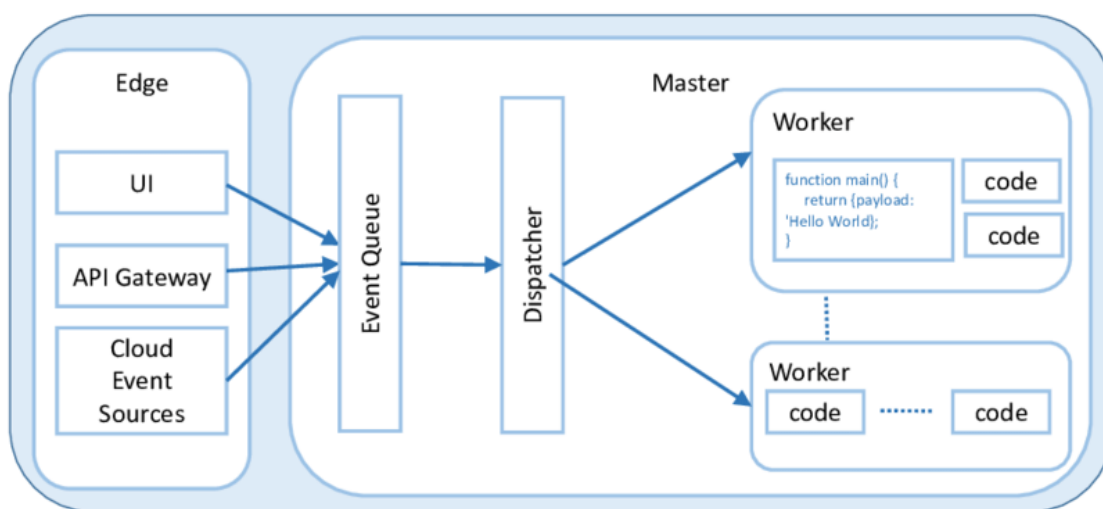
FaaS یک رویکرد رویداد محور<sup>۱۰</sup> است که علاوه بر ارائه یک بستر برای میزبانی و اجرای توابع با بسیاری از منابع رویدادی همگام و ناهمگام ادغام شده است. برای مثال HTTP API Gateway یک منبع رویداد همگام است و صف پیام، عملیات ذخیره سازی یا رویدادهای برنامه ریزی شده، از منابع رویداد ناهمگام هستند.

از نظر سطحی، BaaS و FaaS کاملاً متفاوت هستند. مورد اول برون‌سپاری کامل اجزای برنامه به صورت جداگانه است و مورد دوم یک محیط میزبانی جدید برای اجرای کد شخصی افراد است. پس چرا

<sup>۹</sup>Function as a Service

<sup>۱۰</sup>event-driven

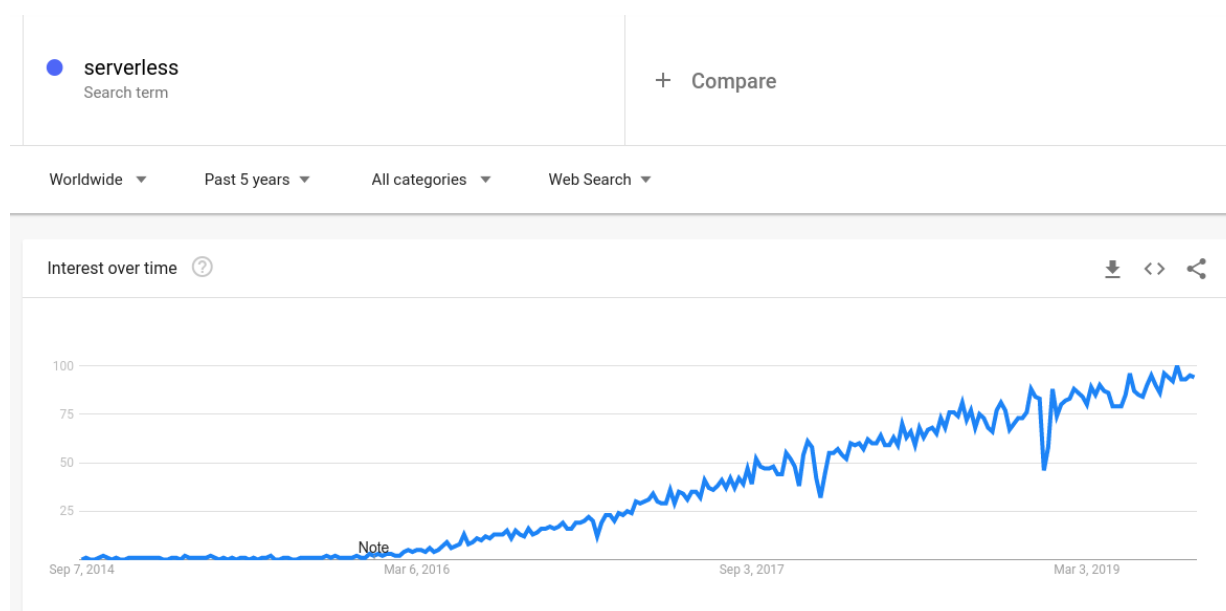
دلیل اصلی این است که در هر دو مورد توسعه دهنده نیاز نیست که مدیریت زیرساخت های سرور خودش و یا پردازش های سرور را در نظر بگیرد. بلکه تمامی منطق برنامه در یک محیط عملیاتی کاملاً elastic اجرا می شود و وضعیت برنامه نیز در محیطی متشابه ذخیره می گردد. با تغییر تقاضا روی سرور، بستر بدون سرور بر این اساس تعداد ظرفیت سرورها را افزایش داده و یا کاهش می دهد، بدون اینکه لازم باشد برنامه نویسی توسط توسعه دهنده انجام شود. هزینه میزبانی یک سرویس بدون سرور معمولاً متناسب با تعداد درخواست های اجرای تابع ها محاسبه می شود. به عبارت دیگر بدون سرور به این معنی نیست که واقعا سروری در کار نباشد بلکه بدین معنی است که دیگر نیازی نیست نگران سرور باشید!



مانند آنچه در شکل مشاهده می‌شود، عملکرد اصلی بستر بدون سرور به توانایی پردازش رویدادها بر اساس تقاضا، با استفاده از مجموعه ای از توابع متکی است. بستر بدون سرور باید به مدیریت بیش از یک مجموعه توابع، دریافت درخواست های □□□□ یا نوع دیگر درخواست مشابه، درخواست را با یکی از توابع مرتبط سازد، نمونه‌ای از عملکرد را ایجاد کند یا یک مورد موجود را پیدا کند، رویداد را ارسال کند. به عنوان مثال، منتظر پاسخی از نمونه عملکرد باشید ، با پاسخ از نمونه عملکرد به درخواست □□□□ پاسخ دهید و در صورت عدم نیاز نمونه عملکرد را خاموش کنید. لاگ‌های مربوط به کل فرآیند باید هنگام انجام تمام این کارها جمع آوری شود. چالش اصلی بستر بدون سرور ارائه همه این موارد است در حالی که باید با الزاماتی از قبیل هزینه، تحمل خطا و مقیاس پذیری کنترل شود. چالش هایی که یک بستر بدون سرور باید بر آن غلبه کند، عبارتند از: [۱۳] [۱۰]

- سرعت برای شروع اجرای یک تابع و پردازش رویداد.
- صف رویدادها و سازگاری متناسب با آن‌ها. با توجه به ورود رویدادها و وضعیت فعلی صف، باید برنامه زمانبندی اجرای تابع تنظیم و مدیریت شود تا منابع را از توابعی که در حال اجرا نیستند پس بگیرد.
- چگونگی مقیاس پذیری و مدیریت خطاها را با دقت در نظر بگیرد.

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، از زمان شکل‌گیری مفهوم بدون سرور، محبوبیت آن بسیار افزایش یافته است و انتظار می‌رود که این رشد همراه با رشد IoT (شکل ۱.۲) ادامه داشته باشد. رشد تخمین زده شده آینده بدون سرور در شکل ۷.۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲-۴: افزایش محبوبیت کلمه serverless در Google Trends طی سه سال اخیر

## ۳-۳-۲ راه حل‌ها و بسترهای ابری موجود

- **Amazon lambda** اولین بستری که مدل سرویس بدون سرور را پیاده‌سازی کرد و معیارهای آن از جمله قیمت گذاری، مدل برنامه نویسی، نحوه استقرار، محدودیت منابع، امنیت و مانیتورینگ را به بازار معرفی کرد. Lambda از زبان‌های برنامه نویسی Python، Node.js، Java و C# پشتیبانی می‌کند. با توجه به این که این بستر در این زمینه پیشگام بوده است به عنوان اولین و بهترین راه حل انتخاب می‌شود و تعداد زیادی از شرکت‌های بزرگ از سرویس‌های این بستر استفاده می‌کنند.

- **Google Cloud Functions** در حال حاضر این بستر بسیار محدود است و تنها از زبان JavaScript که در محیط استاندارد Node.js نوشته شده باشد پشتیبانی می‌کند و تنها به رویدادهای سرویس Google Cloud یا درخواست های HTTP پاسخ می‌دهد. همچنین این بستر هنوز در فاز بتا است و نسخه نهایی آن منتشر نشده است.

- **Microsoft Azure Functions** بستر بدون سرور متن بازی را ارائه می‌دهد که کد آن در Github موجود است. تابع های ارائه شده توسط توسعه دهنده با HTTP webhook که با سرویس های بستر ادغام شده است اجرا می‌شوند. این بستر نیز از زبان های محدودی پشتیبانی می‌کند.

- **OpenLambda** بستر بدون سرور و متن باز جدیدی است که کد آن در Github موجود است. این بستر در مواردی مشکل دارد که توسعه دهندگان آن در حال رفع آن هستند: [۸]

۱. راه اندازی بسیار آهسته runtime های زبان های برنامه نویسی

۲. استقرار حجم زیادی از کد

۳. پشتیبانی از حفظ وضعیت که با تابع های فاقد وضعیت پیاده شده باشد

۴. استفاده از پایگاه داده ها

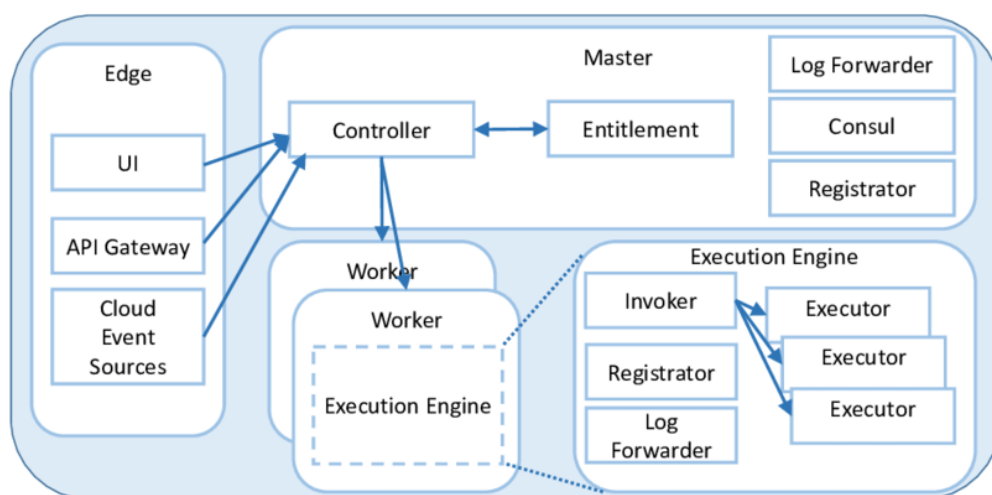
- **Kubeless** این بستر بدون سرور، با راه اندازی بر روی بستر کوبرنتیز، بدون نیاز به پیچیدگی های چارچوب بستر بدون سرور مانند سیستم صف پیام، آن را به یک بستر اجرا کننده ی تابع تبدیل می‌کند. اما این بستر هنوز به اندازه کافی بالغ نشده است که در مرحله تولید مورد استفاده قرار گیرد. همچنین جامعه ی آن به اندازه کافی بزرگ نیست، اسناد آن ناقص هستند و اشکالاتی در آن مشاهده شده است. این بستر نیز متن باز است. [۵]

- **OpenFaaS** یکی از بهترین و معروف ترین بستر بدون سرور متن باز با استفاده ی آسان است. تابع ها در بستر OpenFaaS باید از جنس کانترینر باشند. به همین دلیل این بستر از تمامی زبان های برنامه نویسی پشتیبانی می‌کند. معماری این بستر نسبتاً ساده است و بر روی هماهنگ کننده های ابری کوبرنتیز و Docker Swarm راه اندازی می‌شود. [۹]

- **OpenWhisk** کلیدی ترین ویژگی این بستر این است که می‌توان با اتصال تابع ها با یکدیگر ترکیبی از تابع ها را ساخت و آن را به عنوان تابع جدید ارائه داد. این بستر نیز به صورت متن باز در Github موجود است و از زبان های Node.js، Java، Swift و Python پشتیبانی می‌کند.

همچنین این قابلیت نیز وجود دارد که تابع ها به صورت بایرنری پیاده سازی شده و در یک کانترینر قرار گرفته باشند.

این بستر در مقایسه با معماری ساده بدون سرور که در شکل ، دارای اجزای مهمی است که امنیت، لاگ کردن و مانیتور کردن را کنترل می کنند. این معماری جدید در شکل قابل مشاهده است.



شکل ۲-۵: معماری بستر بدون سرور OpenWhisk

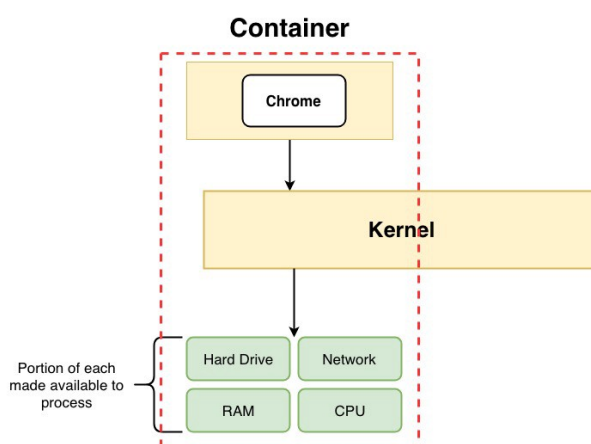
در انتها به این نتیجه می رسیم که بهترین و پایدارترین راه حل AWS Lambda است. پیشگام بودن در این زمینه باعث شده است تا وقت کافی برای رشد و پشتیبانی از زبان های معروف را داشته باشد. بعد از آن Microsoft Azure Functions برای انتخاب مناسب است. متأسفانه امکان دسترسی به این سرویسها توسط مشتریان ایرانی یا اساساً وجود ندارد یا با هزینه های گزاف امکان پذیر است. بنابراین در داخل کشور پیاده سازی این بستر با بهره گیری از پروژه های متن باز معقول به نظر می رسد و ارائه چنین سرویس هایی در حال آغاز شدن است. بهترین راه حل متن باز استفاده از بستر OpenWhisk است که ما در این پروژه نیز از این بستر استفاده کردیم و در ادامه بیشتر با نحوه کارکرد و اجزای مختلف آن آشنا خواهیم شد.



## ۴-۲ کانتینرها و هماهنگ کننده‌ی کانتینری

### ۱-۴-۲ کانتینرها

کانتینرها اجازه بسته‌بندی برنامه‌های کاربردی را به همراه تمام قسمت‌هایی که نیاز دارند شامل کتابخانه‌ها و دیگر وابستگی‌هایش، به توسعه‌دهنده‌ها می‌دهند. به عبارت دیگر می‌توانیم کانتینر را شامل پردازش<sup>۱۱</sup> در حال اجرا و منابع سخت‌افزاری اختصاص داده شده به آن پردازش تعریف کرد. (شکل ۱-۳) پس کانتینر به معنی یک قسمت سخت‌افزاری و قابل رویت نیست بلکه یک تعریف انتزاعی به معنای یک پردازش یا گروهی از پردازش‌ها به همراه منابع تخصیص داده شده به آن‌ها می‌باشد.



شکل ۲-۶: نمایش یک کانتینر

کانتینرها مکانیزم منطقی بسته‌بندی ارائه می‌دهند بدین معنا که برنامه‌های کاربردی می‌توانند از محیطی که در آن در حال اجرا هستند جدا شوند. این جداسازی باعث می‌شود تا برنامه‌های کاربردی مبتنی بر کانتینرها به راحتی و بدون در نظر گرفتن محیط هدف مستقر شوند. کانتینرایز کردن برنامه‌ها منجر به آن می‌شود که توسعه‌دهندگان تنها بر منطق برنامه فکر کنند و تیم‌های عملیات تکنولوژی اطلاعات بر روی پیاده‌سازی و مدیریت آن تمرکز کنند.

برخلاف یک ماشین مجازی، یک کانتینر دارای یک سیستم عامل مجزا نمی‌باشد. سیستم عامل‌ها kernel دارند که یک پروسه اجرایی نرم‌افزاری<sup>۱۲</sup> می‌باشد و وظیفه آن کنترل دسترسی بین برنامه‌های در حال اجرا به منابع سخت‌افزاری موجود در کامپیوتر است.

سیستم عامل‌ها ویژگی به نام name spacing دارند که به وسیله آن می‌شود قطعه‌هایی<sup>۱۳</sup> از منابع

<sup>۱۱</sup>process

<sup>۱۲</sup>running software process

<sup>۱۳</sup>segments

سخت‌افزاری موجود ساخت و آنها را به یک برنامه خاص اختصاص داد. در نتیجه به وسیله name spacing می‌شود منبع سخت‌افزاری را بر طبق پرده یا برنامه اجرایی جدا و ایزوله کرد. البته ویژگی name spacing فقط برای سخت‌افزار نمی‌باشد و برای نرم‌افزار هم تعریف می‌شود. یک ویژگی دیگر هم با نام control group وجود دارد که به وسیله آن می‌توان مقدار منابعی که یک پرده می‌تواند استفاده کند را محدود کرد. در نتیجه به وسیله این دو ویژگی می‌توان برای هر پرده منابعی را اختصاص داد و آن منابع را محدود کرد.

در این میان نیاز به تعریف مفهومی با عنوان ایمج<sup>۱۴</sup> داریم. ایمج فایل‌های سیستمی<sup>۱۵</sup> است که شامل همه‌ی وابستگی‌ها و تنظیمات موردنیاز برای اجرای یک برنامه خاص می‌باشد. ایمج را می‌توان به کانتینر تبدیل کرد. برای این کار ابتدا kernel منابع سخت‌افزاری لازم را جدا می‌کند به طوری که فقط پرده‌های کانتینر موردنظر می‌توانند به این منابع دسترسی داشته باشند. در ادامه فایل‌های موردنیاز آن کانتینر نیز جدا می‌شوند و بدین ترتیب یک کانتینر ساخته می‌شود.

## ۲-۴-۲ داکر

در قسمت قبل با مفهوم کانتینر آشنا شدیم. حال سوال این است که چگونه می‌توانیم کانتینر را بسازیم و سپس با آن کار کنیم؟ در این قسمت با ابزاری به نام داکر<sup>۱۶</sup> آشنا می‌شویم.

### مفاهیم اولیه

داکر یک پلتفرم ساخت و مدیریت کانتینر است که برنامه کاربردی شما را با تمام وابستگی‌هایش در داخل یک کانتینر داکر بسته‌بندی می‌کند و این اطمینان را به شما می‌دهد که برنامه شما در هر محیطی کار کند.

حال سؤال این است که این بسته‌بندی استاندارد چه مزایایی دارد؟ این سؤال را می‌توان با یک مثال ساده پاسخ داد: فرض کنید یک شرکت می‌خواهد یک برنامه کاربردی وب با زبان برنامه‌نویسی جاوااسکریپت و فریمورک react js را توسعه دهد. در نتیجه یک توسعه‌دهنده استخدام می‌کند که این کار را انجام دهد. توسعه‌دهنده برنامه‌های مورد نیاز برای اجرای یک پروژه مانند node js و پکیج منیجر<sup>۱۷</sup> npm را در سیستم خود نصب می‌کند و کار خود را شروع می‌کند. زمانی که توسعه دهنده محصول به پایان رسید، توسعه‌دهنده محصول را جهت تست به تست‌کننده‌ی<sup>۱۸</sup> شرکت می‌دهد. تست‌کننده نیز

<sup>۱۴</sup>image

<sup>۱۵</sup>file system

<sup>۱۶</sup>Docker

<sup>۱۷</sup>package manager

<sup>۱۸</sup>tester

لازم دارد برنامه‌های مورد نیاز جهت اجرای پروژه را بر روی سیستم خود نصب کند. همچنین بعد از تست محصول باید بر روی سرور قرار بگیرد در نتیجه بار دیگر لازم است این برنامه‌های راه‌انداز محصول بر روی سرور به صورت دستی نصب شود و خلاصه در هر سیستمی که می‌خواهید این محصول را اجرا کنید باید چندین برنامه نصب کنید. با توجه به این مثال به طور کلی به این مشکل پی می‌بریم که با توجه به گسترش ابزارهای نرم‌افزاری به استاندارد کلی برای برنامه‌های نرم‌افزاری موجود نمی‌باشد و برنامه‌های نرم‌افزاری از نظر نحوه اجرا بسیار متفاوت‌اند. برای جلوگیری از این مشکلات راه حل داکر بسیار مفید است. توسعه‌دهنده برای محصول خود یک ایمج داکر ایجاد می‌کند و هر کس که می‌خواهد برنامه کاربردی را اجرا کند تنها کافی است ایمج داکر را گرفته و با ابزار داکر که بر روی سیستم خود نصب کرده است آن را بر روی سیستم خود اجرا کند.

### تعاریف مورد استفاده

پس از آشنایی با ابزار داکر و قابلیت‌های آن و مقایسه عملکرد آن با ماشین‌های مجازی، در این قسمت به معرفی تعاریف تخصصی‌تری می‌پردازیم. شناخت این مفاهیم جهت کار کردن در محیط داکری لازم و ضروری است.

### داکر اینجین

داکر اینجین<sup>۱۹</sup> به عنوان قلب یک سیستم داکری شناخته می‌شود. یک تکنولوژی قدرتمند و سبک وزن کانترایز کردن<sup>۲۰</sup> می‌باشد که وظیفه‌ی ساخت و کانتینر کردن برنامه‌های کاربردی را بر عهده دارد. این تکنولوژی بر روی ماشین میزبان نصب می‌شود و همانند یک برنامه مشتری-سرویس‌دهنده<sup>۲۱</sup> عمل می‌کند. بدین منظور از ابزارهای زیر استفاده می‌کند:

۱. یک سرور از نوع برنامه طولانی مدت<sup>۲۲</sup> که daemon process نامیده می‌شود.

۲. یک رابط خط فرمان<sup>۲۳</sup> به عنوان مشتری<sup>۲۴</sup>

۳. REST API جهت ارتباط بین Docker Daemon و CLI client

همان‌طور که در تصویر (شکل ۲-۱۰) دیده می‌شود به عنوان نمونه در سیستم عامل linux ، Docker client از طریق ترمینال در دسترس است و Docker Daemon بر روی Docker Host اجرا می‌شود.

<sup>19</sup> docker engine

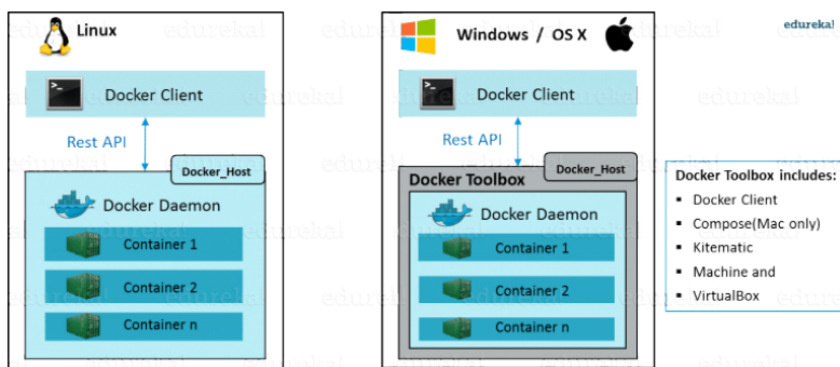
<sup>20</sup> containerization

<sup>21</sup> client-server

<sup>22</sup> long-running program

<sup>23</sup> CLI

<sup>24</sup> client

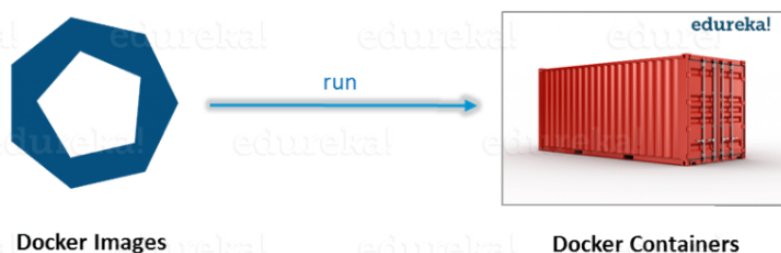


شکل ۲-۷: ساختار داکر اینجین

## داکر ایمج

داکر ایمج<sup>۲۵</sup> یک فایل است که از چندین لایه تشکیل شده است و برای اجرا کردن کد در کانتینر داکر استفاده می‌شود. اساساً ایمج از دستورالعمل‌هایی برای قابل اجرا کردن برنامه کاربردی ساخته می‌شود و جهت اجرا بر روی kernel های سیستم عامل قرار می‌گیرد. وقتی کاربر یک ایمج را اجرا می‌کند، این ایمج به یک و یا چندین نمونه کانتینر تبدیل می‌شود. (شکل ۲-۱۱) به زبان ساده می‌توان گفت کانتینر داکر نمونه‌ای در حال اجرای داکر ایمج است.

هر ایمج شامل کتابخانه‌های سیستمی، ابزارها، وابستگی‌ها و فایل‌های دیگر برای قابل اجرا شدن یک کد است. این ایمج ایستا برای استفاده در پروژه‌های مختلف قابل استفاده است. معمولاً ایمج‌ها شامل مجموعه‌ای از لایه‌های ایستا هستند که یک لایه قابل بازنویسی می‌تواند روی آن‌ها قرار بگیرد. این لایه قابل بازنویسی، ایمج را برای تبدیل شدن به کانتینر آماده می‌کند. لایه‌های ایمج به کمک ابزارهای داکر قابل رویت می‌باشند.



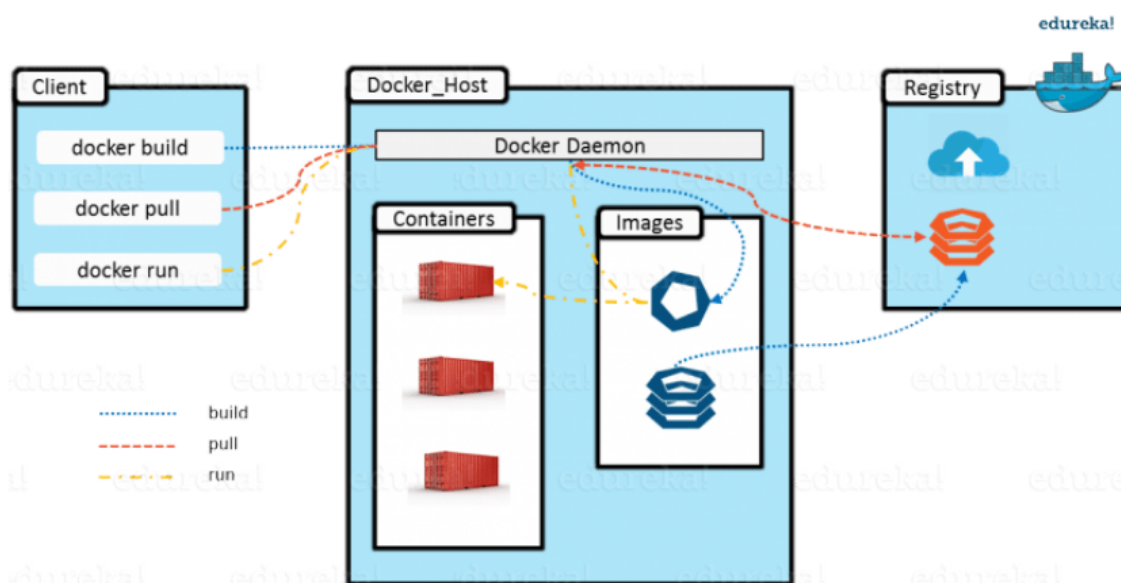
شکل ۲-۸: رابطه‌ی بین داکر ایمج و داکر کانتینر

<sup>25</sup>Docker Image

## داکر رجستری

داکر رجستری<sup>۲۶</sup> یک انبار ذخیره‌سازی اطلاعات و یک سیستم توزیع‌شده برای داکر ایمج‌های نام‌گذاری شده می‌باشد. ایمج‌ها با ورژن‌های مختلف به وسیله tag از یکدیگر تفکیک می‌شوند. داکر رجستری این قابلیت را دارد که ورژن‌های مختلف ایمج را pull کنید و بعد از اعمال تغییرات مناسب آن را push کنید. به عنوان نمونه Docker hub یک نمونه داکر رجستری است که این اجازه را به کاربران می‌دهد تا ایمج‌های خود را در فضای ابری مهیا شده، بارگذاری و استفاده کنند.

با توجه به تعاریف ذکر شده معماری داکر را می‌توان به شکل ۲-۱۲ تعریف کرد:



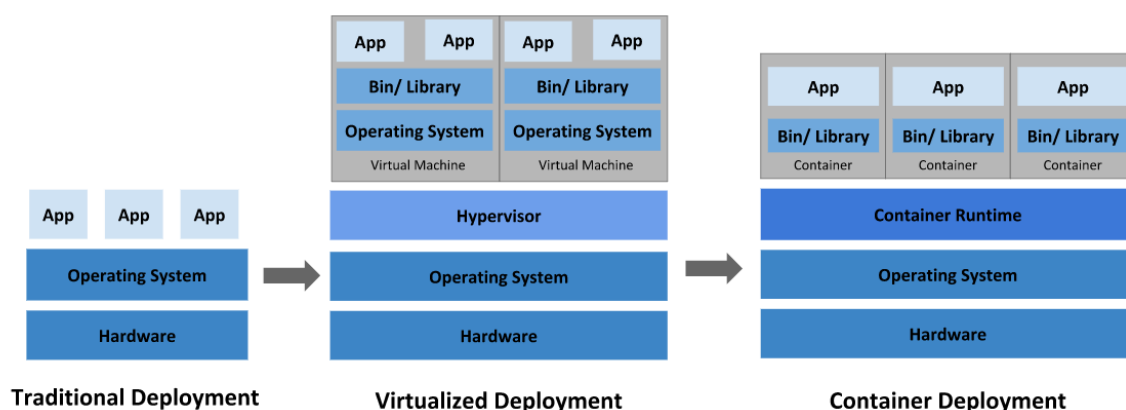
شکل ۲-۹: معماری داکر

## ۲-۴-۳ کوبرنتیز

## مفاهیم اولیه

کوبرنتیز یک هماهنگ‌کننده کانتینری متن‌باز، قابل حمل و قابل توسعه می‌باشد که برای اجرا و مدیریت کانتینرها و همچنین جهت تسهیل تنظیمات توسعه داده شده‌است. کوبرنتیز بر مبنای ۱۵ سال تجربه گوگل در ساختن کانتینرها بنا شده‌است. سؤال مهم این است که چه نیازی به استفاده از کوبرنتیز داریم؟ برای پاسخ به این سؤال بهتر است نگاهی به گذشته داشته باشیم و مسیر پیموده شده تا رسیدن به کوبرنتیز را دنبال کنیم. (شکل ۲-۱۳)

<sup>26</sup>Docker Registry



شکل ۲-۱۰: به سوی کوبرنتیز

**عصر استقرار سنتی<sup>۲۷</sup>:** در آن دوره شرکت‌ها برنامه‌های کاربردی خود را بر روی سرورهای فیزیکی اجرا می‌کردند. در این حالت راه‌حلی برای تعیین حدود مرز برای استفاده از منابع توسط برنامه‌های کاربردی نبود و به همین دلیل مشکلات اختصاص منبع به وجود می‌آمد. به عنوان مثال اگر چند برنامه کاربردی بر روی سرور اجرا می‌شد ممکن بود یکی از برنامه‌ها بیشتر منابع را استفاده کند، در نتیجه برنامه‌های دیگر منبعی برای استفاده نداشتند. راه‌حل این مشکل اجرای یک برنامه کاربردی بر روی یک سرور فیزیکی بود. اما این روش باعث هدر دادن منابع زیادی می‌شود. همچنین قابلیت توسعه‌پذیری را سلب می‌کند. از طرفی نگهداری سرورهای فیزیکی برای شرکت‌ها بسیار دشوار است.

**عصر استقرار مجازی<sup>۲۸</sup>:** به عنوان یک راه‌حل مجازی‌سازی معرفی شد. این راه‌حل اجازه می‌داد چندین ماشین مجازی را بر روی یک پردازنده سرور فیزیکی اجرا کنیم. همچنین مجازی‌سازی اجازه ایزوله‌سازی بین برنامه‌های کاربردی را ایجاد می‌کرد و سطحی از امنیت اطلاعات را بین برنامه‌های کاربردی مختلف مهیا می‌کرد، به طوری که اجازه نمی‌داد یک برنامه کاربردی به اطلاعات برنامه کاربردی دیگر دسترسی داشته باشد. از فواید دیگر مجازی‌سازی می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود و مقیاس‌پذیری بهتر و همچنین کاهش هزینه‌های سخت‌افزار اشاره کرد. هر ماشین مجازی یک ماشین کامل است که همه اجزا لازم را بر روی سخت‌افزار مجازی‌سازی شده‌اش اجرا می‌کند.

**عصر استقرار کانتینری<sup>۲۹</sup>:** کانتینرها شبیه ماشین‌های مجازی هستند با این تفاوت که آن خاصیت به اشتراک گذاری سیستم عامل را بین برنامه‌های کاربردی دارند. از این رو کانتینرها سبک وزن‌تر هستند.

در نتیجه کانتینرها جهت اجرای برنامه‌های کاربردی بسیار مناسب هستند. در محیط تولید نیاز به

<sup>27</sup>Traditional deployment era

<sup>28</sup>Virtualized deployment era

<sup>29</sup>Container deployment era

مدیریت کانتینر در حال اجرا می‌باشد. همچنین نیاز داریم تا همواره از سلامتی کانتینر اطمینان حاصل کنیم. به عنوان نمونه اگر کانتینری از اجرا بایستد هر چه سریع‌تر کانتینر دیگر اجرا شود. چه بهتر است که این مدیریت توسط یک سیستم انجام گیرد. کوبرنتیز به همین دلیل به وجود آمده‌است. کوبرنتیز یک چارچوب را برای اجرای سیستم‌های توزیع‌شده و انعطاف‌پذیر اجرا می‌کند. همچنین نیازمندی‌های مقیاس‌پذیری، شکست کانتینر، الگوهای استقرار و بسیاری مسائل دیگر را مدیریت می‌کند.

از ویژگی‌های کوبرنتیز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. کشف سرویس و توزیع بار<sup>۳۰</sup>:  
کوبرنتیز بدون احتیاج به تغییر برنامه کاربردی این امکان را می‌دهد تا سرویس خود را ثبت نام کنید و اجازه دهید تا بقیه سرویس‌ها از وجود آن خبردار شوند. کوبرنتیز به هر کانتینر یک آدرس آی‌پی اختصاصی می‌دهد و برای هر گروه از کانتینرها یک نام دی‌ان‌اس اختصاص می‌دهد که امکان توزیع بار بین آن‌ها را فراهم می‌کند.
۲. هدایت کردن انبارهای ذخیره اطلاعات<sup>۳۱</sup>:  
کوبرنتیز این اجازه را می‌دهد تا به صورت خودکار انبارهای ذخیره اطلاعات سیستم را مقداردهی کنید.
۳. تطبیق خودکار<sup>۳۲</sup>:  
بدین معنی که حالت مورد انتظار خود را به کوبرنتیز معرفی می‌کنید و کوبرنتیز حالت فعلی را به حالت مورد انتظار تبدیل می‌کند.
۴. بسته‌بندی خودکار<sup>۳۳</sup>:  
با توجه به نیازمندی و منابع موردنیاز هر کانتینر، کوبرنتیز به صورت اتوماتیک کانتینرها را بر روی گره‌ها قرار می‌دهد.
۵. ترمیم خودکار<sup>۳۴</sup>:  
کوبرنتیز به صورت خودکار تمامی کانتینرهایی که موفق به اجرا نشوند را بازنشانی می‌کند.

<sup>30</sup>Service discovery and load balancing

<sup>31</sup>Storage orchestration

<sup>32</sup>Automated rollouts and rollbacks

<sup>33</sup>Automatic bin packing

<sup>34</sup>Self-healing

همچنین در صورتی که گره‌ای که کانتینر بر روی آن در حال اجرا است، دچار مشکل شود، کوبرنتیز تمامی کانتینرهای در حال اجرا بر روی آن را مجدداً روی گره‌های باقی‌مانده قرار می‌دهد.

۶. توسعه‌پذیری افقی:

کوبرنتیز این امکان را می‌دهد تا برنامه کاربردی خود را به صورت اتوماتیک کوچک یا بزرگ کنید. همچنین این امکان را می‌دهد تا این کار را بر عهده‌ی خود کوبرنتیز قرار دهید و این کار به صورت خودکار انجام گیرد.

۷. مدیریت secret ها و تنظیمات<sup>۳۵</sup>:

کوبرنتیز امکان ذخیره و مدیریت اطلاعات حساس مانند رمزعبورها، OAuth tokens ، ssh keys را می‌دهد. می‌توانید بدون بازسازی کانتینرها، secrets و تنظیمات، محصول کاربردی را پیاده‌سازی و یا به‌روز کنید. این کار بدون نمایش دادن secret در فایل‌های تنظیمات انجام می‌گیرد.

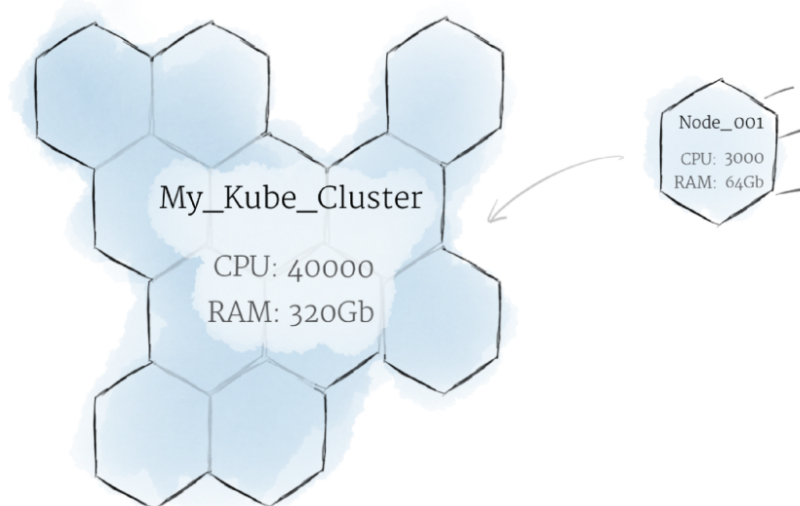
---

<sup>35</sup>Secret and configuration management



## معماری کوبرنتیز

اولین مرحله جهت کار کردن با کوبرنتیز شناخت معماری و اجزای آن است. یک نود کوچک‌ترین جزء سخت‌افزارهای محاسباتی در کوبرنتیز است. نود نماینده یک ماشین در خوشه است. در بیشتر سیستم‌های تولید، به احتمال زیاد نود یک ماشین فیزیکی در مرکز داده (دیتاسنتر) و یا یک ماشین مجازی بر روی ارائه‌دهندگان ابر<sup>۳۶</sup> می‌باشد. تعریف یک نود به عنوان یک ماشین، این اجازه را می‌دهد که یک لایه از مفاهیم را استفاده کنیم. بدین معنا که نیاز نیست نگران مشخصات یکتا ماشین باشیم بلکه هر ماشین را مجموعه‌ای منابع مانند cpu و gpu در نظر می‌گیریم که می‌توانند استفاده شوند. بدین ترتیب هر ماشین می‌تواند جایگزین ماشینی دیگر در دنیای کوبرنتیز شود. اگرچه کار کردن با تانودها می‌تواند مفید باشد اما این روش کوبرنتیز نیست. به طور کلی در کوبرنتیز ما یک خوشه<sup>۳۷</sup> را به جای حالت‌های تانودها در نظر می‌گیریم (شکل ۲-۱۴). در کوبرنتیز نودها منابع خود را به اشتراک می‌گذارند تا یک ماشین قدرتمندتر شکل گیرد. وقتی برنامه‌های خود را بر روی خوشه مستقر می‌کنید، کارهای اجرایی برنامه به صورت هوشمندانه بر روی تانودها توزیع می‌شود. اگر نودی اضافه یا حذف شود، خوشه کارها را بر روی نودها جابه‌جا می‌کند. لازم به ذکر است برنامه و برنامه‌نویس با نحوه اجرای برنامه و توزیع آن بر روی نودها درگیر نیستند.

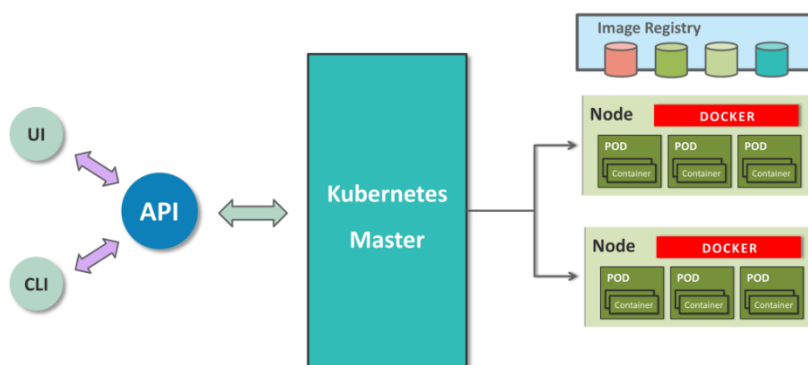


شکل ۲-۱۱: رابطه‌ی نود و خوشه در کوبرنتیز

تصویر (شکل ۲-۱۵) معماری یک خوشه کوبرنتیز<sup>۳۸</sup> می‌باشد. از آن جایی که کوبرنتیز یک خوشه محاسباتی را پیاده می‌کند، همه چیز در داخل این خوشه کوبرنتیز اتفاق می‌افتد. این خوشه میزبانی

<sup>۳۶</sup>cloud provider<sup>۳۷</sup>cluster<sup>۳۸</sup>Kubernetes Cluster

یک نود با نام مستر<sup>۳۹</sup> و نودهای دیگر با نام نود کارگر<sup>۴۰</sup> را بر عهده دارد. همچنین خارج خوشه یک متعادل کننده بار<sup>۴۱</sup> وجود دارد که ترافیک خارجی را کنترل و بین نودها پخش می کند. مستر کنترل خوشه و نودهای داخل آن را برعهده دارد. هر نود میزبان یک یا تعدادی پاد<sup>۴۲</sup> می باشد و هر پاد شامل گروهی از کانتینرها می باشد که برای یک هدف با یکدیگر در تعامل هستند.



شکل ۲-۱۲: معماری خوشه کوبرنتیز

در نتیجه به طور کلی معماری خوشه‌ی کوبرنتیز (شکل ۲-۱۶) دارای اجزا اصلی زیر می باشد:

۱. نودهای مستر

۲. نودهای کارگر

۳. مراکز ذخیره اطلاعات توزیع شده به صورت key-value<sup>۴۳</sup>

## گره مستر

گره مستر را می توان یک نقطه شروع برای همه کارهای اجرایی که قرار است آن خوشه کوبرنتیز بر عهده داشته باشد، دانست. می توان برای چک کردن تحمل خطا بیش از یک نود مستر را در خوشه قرار داد. در این حالت نیز یکی از نودهای مستر به عنوان نود اصلی شناخته می شود و ما دستورات لازم را به آن اعمال می کنیم. تنها گره های مستر توانایی اجرای عملیات زمان بندی کانتینرها بر روی گره های کارگر یا خودشان را دارا می باشند. هر گره مستر یک رابط برنامه نویسی دارد که از طریق آن با رابط کنسولی و یا رابط تحت وب می توان با گره مستر ارتباط برقرار نمود.

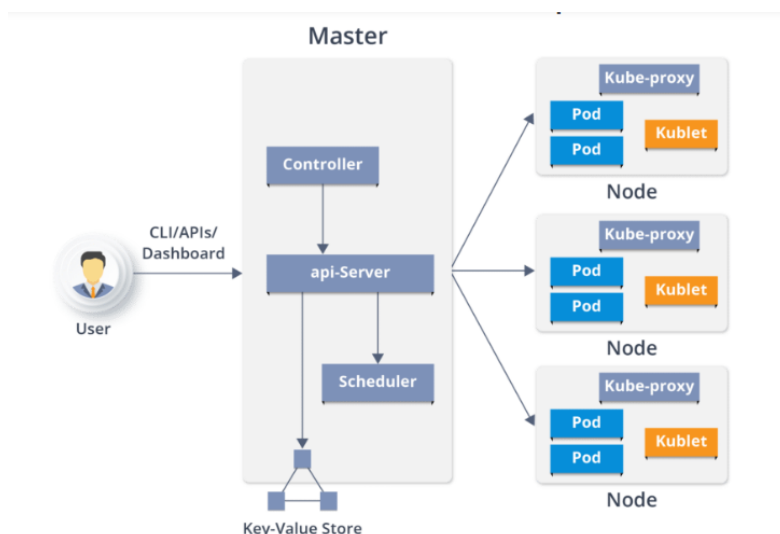
<sup>۳۹</sup>master

<sup>۴۰</sup>worker node

<sup>۴۱</sup>load balancer

<sup>۴۲</sup>pod

<sup>۴۳</sup> Distributed key-value store(etcd)



شکل ۲-۱۳: معماری خوشه کوبرنتیز با جزئیات هر بخش

در کوبرنتیز نودها به وسیله مستر ساخته و مدیریت می‌شوند. در واقع در مستر برنامه‌هایی اجرا می‌شوند، که این برنامه‌ها ساخت و اجرای نودها را کنترل می‌کنند. توسعه‌دهندگان برنامه‌های خود را در قالب فایل تنظیمات<sup>۴۴</sup> به مستر می‌دهند و مستر برنامه خواسته‌شده را در نودها پخش می‌کند.

گره مستر دارای چهار جز اصلی است که به تشریح آن‌ها می‌پردازیم:

#### ۱. Api server:

تمام کارهای مدیریتی از طریق api server در گره مستر انجام می‌شود. تمام دستورات REST که به api server فرستاده می‌شوند در این قسمت اعتبارسنجی و پردازش می‌شوند. پس از اجرای درخواست، نتیجه به‌دست‌آمده در مراکز ذخیره اطلاعات توزیع شده ذخیره می‌شوند.

#### ۲. زمان‌بند<sup>۴۵</sup>:

این قسمت وظیفه زمان‌بندی کارها را برای گره‌های کارگر بر عهده دارد. همچنین اطلاعات مصرف منابع هر نود کارگر را در خود نگه می‌دارد.

#### ۳. مدیر کنترل<sup>۴۶</sup>:

یک daemon<sup>۴۷</sup> است که وظیفه کنترل حلقه‌های بدون انتها را بر عهده دارد. همچنین وظیفه

<sup>۴۴</sup>config file

<sup>۴۵</sup>scheduler

<sup>۴۶</sup>controller manager

<sup>۴۷</sup>در سیستم عامل‌ها، یک برنامه کامپیوتری است که به جای آن که تحت کنترل مستقیم یک کاربر باشد، به عنوان یک پردازنده در پس‌زمینه اجرا می‌شود.

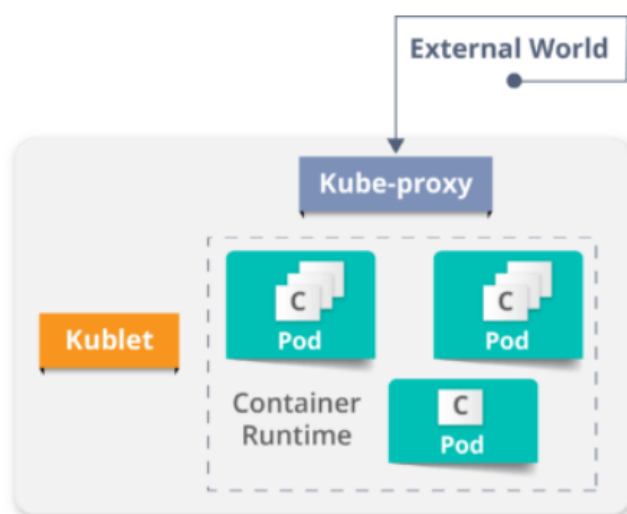
اجرای توابع چرخه زندگی<sup>۴۸</sup> مانند ساخت namespace و lifecycle، جمع‌آوری زباله (باقی‌مانده) event ها، جمع‌آوری زباله (باقی‌مانده) پادهای خاتمه‌یافته، جمع‌آوری زباله (باقی‌مانده) پاک‌کردن‌های آبشاری، جمع‌آوری زباله (باقی‌مانده) نودها و ... را بر عهده دارد. از وظایف دیگر این قسمت تماشا کردن و دنبال کردن وضعیت موردانتظار اشیا و وضعیت فعلی اشیا می‌باشد و زمانی که این دو وضعیت در شرایط برابر نباشند، حلقه اصلاحی را به سیستم اعمال می‌کند تا این دو وضعیت برابر شوند.

#### ۴. ETCD:

یک مرکز ذخیره‌سازی توزیع‌شده به صورت key-value می‌باشد که حالت خوشه را در خود نگه می‌دارد. هم می‌تواند قسمتی از نود مستر باشد و هم می‌تواند یک تنظیمات خارجی باشد. علاوه بر حالت خوشه جزییات تنظیمات خوشه را نیز در خود نگه‌داری می‌کند.

### گره کارگر

یک سرور فیزیکی و یا یک ماشین مجازی می‌باشد که به وسیله پاد برنامه‌های کاربردی را اجرا می‌کند و به وسیله گره مستر کنترل می‌شود.



شکل ۲-۱۴: معماری گره کارگر

گره کارگر دارای قسمت‌های زیر می‌باشد: (شکل ۲-۱۷)

#### ۱. Container runtime:

جهت اجرای چرخه زمان کانتینرها، گره کارگر به این قسمت نیازمند است. گاهی اوقات داکر به

<sup>48</sup>lifecycle

عنوان یک Container runtime معرفی می‌شود اما در واقع داکر پلتفرمی می‌باشد که از کانتینرها به عنوان یک Container runtime استفاده می‌کند.

## ۲. Kubelet:

یک عامل است که با گره مستر ارتباط برقرار می‌کند و بر روی نودهای کارگر اجرا می‌شود. همچنین مشخصات فنی پادها را دریافت می‌کند و کانتینرهایی که به پادها مرتبط هستند را اجرا می‌کند. سپس از اجرا و سلامتی کانتینرها اطمینان حاصل می‌کند.

## ۳. Kube-proxy:

جهت ارتباط با شبکه (host sub-netting) بر روی هر نود اجرا می‌شود و اطمینان حاصل می‌کند که سرویس‌ها برای قسمت‌های خارجی در دسترس هستند. همچنین به عنوان یک پروکسی شبکه و یک متعادل کننده بار برای سرویس عمل می‌کند و مسیریابی شبکه را برای بسته‌های tcp و udp انجام می‌دهد. این پروکسی شبکه دائماً به api server گوش می‌دهد. برای هر سرویس یک مسیریابی انجام می‌دهد تا بتوان به آن دسترسی داشت.

## ۴. Pod:

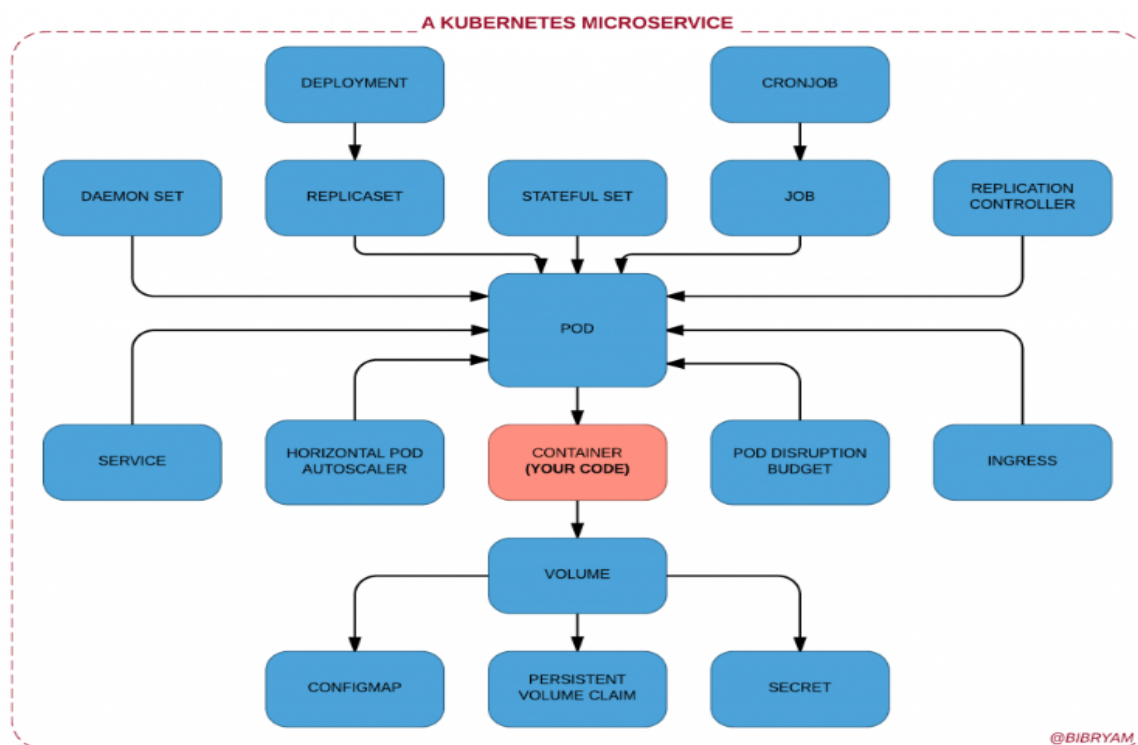
شامل یک یا چند کانتینر است که کانتینرها از لحاظ منطقی با هم برابرند. پادها به عنوان یک واحد منطقی اجرا می‌شوند. پادها نیاز ندارند که بر روی یک ماشین مجازی اجرا شوند بلکه می‌توان هر کدام را بر روی یک ماشین مجازی متفاوت اجرا کرد.

## اشیا کوبرنتیز

در فضای یک نود کارگر می‌توان از اشیا<sup>۴۹</sup> مختلفی استفاده کرد. اشیا در کوبرنتیز موجودیت‌های ماندگار هستند. کوبرنتیز از این موجودیت‌ها برای نشان دادن حالت و وضعیت خوشه استفاده می‌کند. مهم‌ترین مواردی که این موجودیت‌ها توصیف می‌کنند شامل مشخص کردن برنامه‌های کاربردی کانتینرایز شده در حال اجرا، منابع در دسترس برای برنامه‌های در حال اجرا، سیاست‌هایی که مشخص می‌کند این برنامه‌ها چگونه رفتار کنند و ... می‌باشد. اشیا کوبرنتیز یک بار توسط توسعه‌دهنده ایجاد می‌شوند و سیستم کوبرنتیز دائماً این اشیا را زیر نظر می‌گیرد و از وجود آن‌ها اطمینان حاصل می‌کند. به این خاصیت اصطلاحاً record of intent می‌گویند. با ایجاد یک شی، به سیستم کوبرنتیز می‌گویید که می‌خواهید خوشه چگونه کار کند. بدین ترتیب حالت مورد انتظار خوشه را مشخص می‌کنید. جهت ساخت، اصلاح و یا حذف اشیا نیازمند kubernetes API هستید.

<sup>49</sup>object

هر شی کوبرنتیز شامل دو قسمت تودرتو می‌باشد و هر قسمت خود یک شی است. این دو قسمت تنظیمات شی را اداره می‌کنند. این دو قسمت spec و status نام دارند. قسمت spec که توسعه‌دهنده باید آن را مهیا کند، حالت مورد انتظار شی را توصیف می‌کند. قسمت status حالت حقیقی و فعلی شی را توصیف می‌کند که به وسیله سیستم کوبرنتیز تهیه و به‌روز می‌شود.



شکل ۲-۱۵: نمونه‌ای از اشیاء موجود در کوبرنتیز

تعدادی از اشیاء کوبرنتیز را معرفی می‌کنیم: [۹]

#### ۱. Pod:

پاد گروهی از یک یا چند کانتینر با انبار ذخیره‌سازی<sup>۵۰</sup> و شبکه به‌اشتراک گذاشته شده می‌باشد. (شکل ۲-۱۹) کوبرنتیز به طور مستقیم کانتینرها را اجرا نمی‌کند، بلکه یک یا چند کانتینر را در ساختاری با نام پاد بسته‌بندی می‌کند. کانتینرهای داخل یک پاد دارای منابع یکسان به همراه شبکه محلی یکسان هستند. کانتینرها به آسانی با دیگر کانتینرهای داخل پاد ارتباط برقرار می‌کنند. این امر به این دلیل است که بر روی یک ماشین قرار دارند. البته همواره درجه‌ای از استقلال را نیز رعایت می‌کنند. پاد به عنوان واحدی برای تکثیر در کوبرنتیز شناخته می‌شود. اگر استفاده از برنامه کاربردی به اندازه‌ای شود که یک پاد توانایی تحمل بار آن را نداشته باشد،

<sup>50</sup>storage

کوبرنتیز می‌تواند به گونه‌ای تنظیم شده باشد که در این حالت پاد موردنظر را تکثیر کند. حتی اگر برنامه زیر بار سنگین نباشد، حالت استاندارد این است که چند کپی از پاد در یک لحظه در حال اجرا باشد تا تعادل بار و کنترل شکست آسان‌تر شود. پادها توانایی نگهداری چندین کانتینر را دارند اما ترجیح بر آن است که در هر پاد یک کانتینر نگهداری شود. چرا که پادها واحدی برای مقیاس‌پذیری هستند در نتیجه در صورت زیاد و یا کم شدن تعداد پادها، همه کانتینرهای داخل پاد با هم زیاد و کم می‌شوند درحالی که ممکن است تنها لازم باشد مقیاس یکی از کانتینرها تغییر کند. در نتیجه این امر باعث هدر رفتن منابع و افزایش هزینه‌ها می‌شود.



شکل ۲-۱۶: طرحی از یک پاد

## ۲. Replica set:

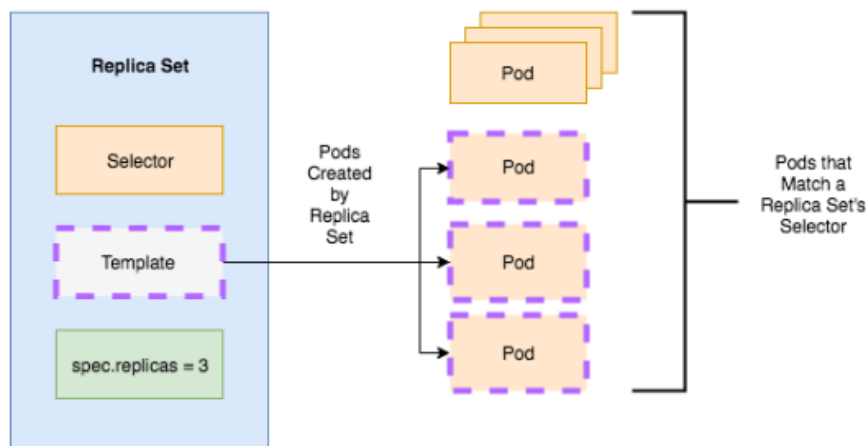
یکی از مزایای کلیدی پادها این است که به توسعه‌دهندگان این اجازه را می‌دهند تا مجموعه‌ای از کانتینرها را به عنوان یک برنامه واحد گروه‌بندی و دسته‌بندی کنند و به آسانی با آن‌ها به عنوان یک حجم کار <sup>۵۱</sup> کار کنند. پس از ساخت پادها، نمونه‌هایی از پادهای ساخته‌شده می‌توانند به صورت افقی مقیاس‌بندی <sup>۵۲</sup> شوند تا برنامه‌های چند کانتینری در دسترس باشند. برای مدیریت مقیاس‌پذیری پادها، کوبرنتیز از یک API object استفاده می‌کند که replica set نام دارد. بر طبق مستندات کوبرنتیز، replica set ها این اطمینان را می‌دهند که تعداد مشخصی از کپی‌های پادها در هر زمان در حال اجرا باشند. در replica set سه قسمت اصلی وجود دارد. (شکل ۲-۲۰)

( قسمت اول selector نام دارد. وظیفه این قسمت انتخاب پاد موردنظر جهت مدیریت آن است. قسمت دوم template نام دارد. replica set با توجه به این قسمت پاد خواسته‌شده ساخته می‌شود. قسمت سوم replicas نام دارد که تعداد پادهای خواسته‌شده در این قسمت قرار می‌گیرد. با این

<sup>51</sup>workloads

<sup>52</sup>scale

که replica set ها توانایی مدیریت پادها را دارند اما قادر به به‌روزرسانی متحرک<sup>۵۳</sup> نیستند. به همین دلیل از تعریف جدیدی به نام deployment استفاده می‌شود. [؟]



شکل ۲-۱۷: نحوه کارکرد replica set

### ۳. Deployment:

با اینکه پادها اساسی‌ترین واحد محاسباتی در کوبرنتیز می‌باشند، اما به صورت مستقیم بر روی خوشه کوبرنتیز راه‌اندازی نمی‌شوند. در عوض پادها به وسیله‌ی یک لایه انتزاعی به نام deployment مدیریت می‌شوند. هدف اولیه deployment ها این است که مشخص کنند چند کپی از پاد در یک زمان باید در حال اجرا باشند. (شکل ۲-۲۱) وقتی یک deployment به خوشه اضافه می‌شود، به صورت اتوماتیک ابتدا تعداد پادهای درخواست شده را راه‌اندازی می‌کند سپس بر آن‌ها نظارت می‌کند. اگر یک پاد بمیرد، deployment به صورت اتوماتیک دوباره آن را می‌سازد.

از نگاهی دیگر deployment ، پادها و replica set ها را بسته‌بندی می‌کند و روشی اعلامی<sup>۵۴</sup> برای به‌روزرسانی حالات آن‌ها مهیا می‌کند. (شکل ۲-۲۲)

### ۴. Service:

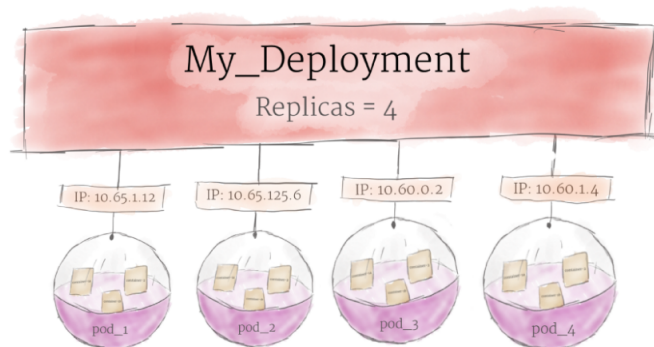
یک مفهوم است که مجموعه‌ی منطقی از پادها و سیاست‌های دسترسی به آن‌ها را تعریف می‌کند. Service ها یک نقطه پایان<sup>۵۵</sup> برای پادها مشخص می‌کنند تا بتوانیم به آن‌ها دسترسی داشته باشیم و بدانیم در چه وضعیتی هستند.

<sup>53</sup>rolling update

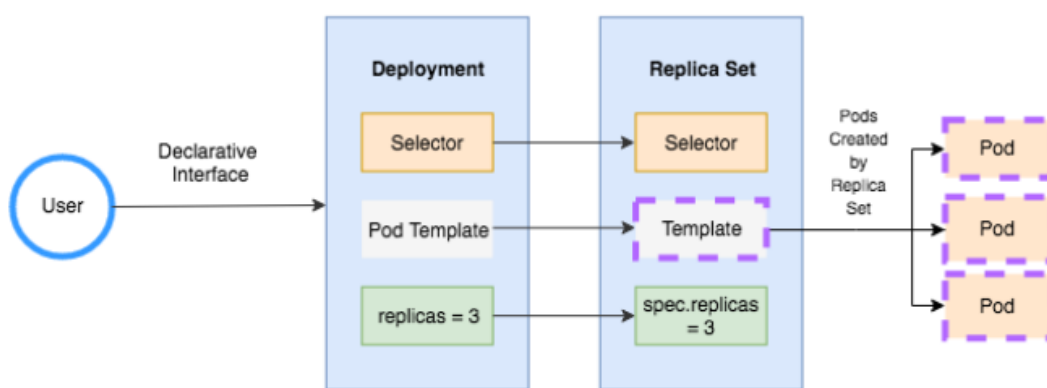
<sup>54</sup>declarative method

<sup>55</sup>endpoint





شکل ۲-۱۸: طرحی از یک deployment



شکل ۲-۱۹: روش اعلامی ایجاد شده توسط deployment

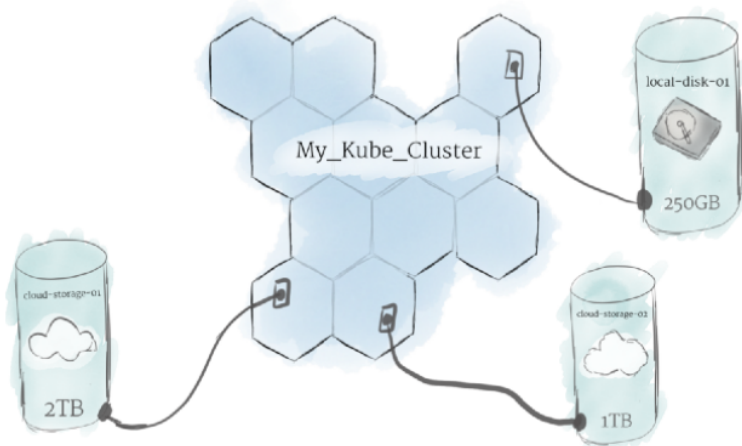
۵. Storage class

راهی برای توصیف کلاس‌های انبار ذخیره توسط مدیران تهیه می‌کند.

۶. Persistent Volumes

اگر یک برنامه اطلاعات خود را در یک فایل محلی در نود ذخیره کند، زمانی که برنامه به هر دلیلی به نود دیگر انتقال پیدا می‌کند، تضمینی وجود ندارد که اطلاعات در دسترس باشند. به همین علت می‌توان گفت انبارهای ذخیره‌سازی که در نودها وجود دارند به عنوان حافظه‌های موقت عمل می‌کنند و داده‌هایی در آن‌ها جا می‌گیرند پایدار نیستند. برای ذخیره اطلاعات به صورت دائمی کوبرنتیز از Persistent Volumes استفاده می‌کند. در نتیجه جهت مدیریت مصرف منابع، Persistent Volume ها را به خوشه‌ها اضافه می‌کنیم. Persistent Volume ها چرخه حیات دارند و مستقل از پادهایی هستند که به آن‌ها متصل می‌شوند. (شکل ۲-۲۳)

۷. Persistent Volume Claim

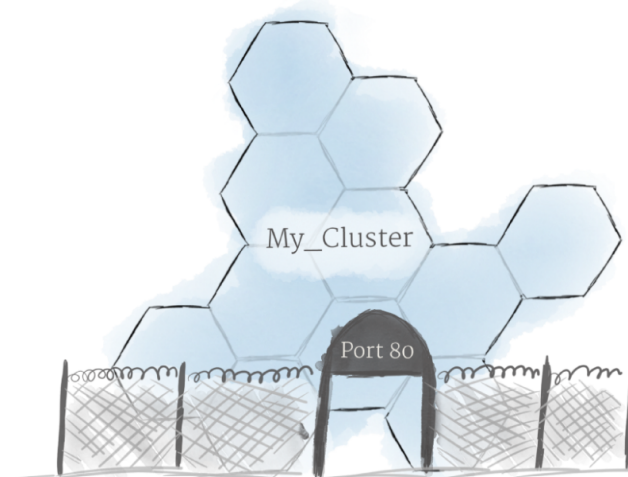


شکل ۲-۲۰: طرحی از Persistent Volume

یک تعریف انتزاعی از Persistent Volume می‌باشد. Persistent Volume ها منابع فیزیکی زیرساخت‌ها می‌باشند. کوبرنتیز جهت پنهان کردن جزئیات از توسعه‌دهندگان این مفهوم را استفاده می‌کند. با استفاده از این مفهوم می‌توان تعاریف فیزیکی تعریف‌شده توسط Persistent Volume و Storage class را پنهان کرد.

#### ۸. Ingress:

به صورت پیش فرض کوبرنتیز پاها را از محیط بیرون مستقل و ایزوله کرده است. اگر می‌خواهید کانالی برای ارتباط پاها با فضای بیرون ایجاد کنید از Ingress باید استفاده کنید. (شکل ۲-۲۴)



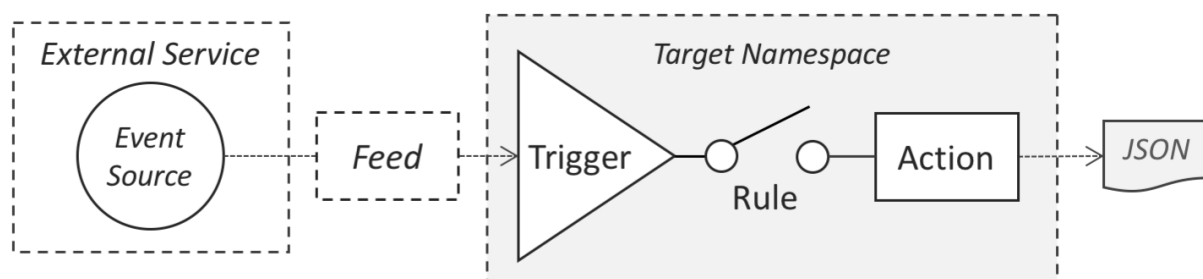
شکل ۲-۲۱: طرحی از Ingress

## ۵-۲ OpenWhisk

شرکت سرویس های وب آمازون با راه اندازی سرویس بدون سرور خود به اسم OpenWhisk در سال ۲۰۱۴ تغییر شگرفی در عرصه رایانش ابری ایجاد کرد. Lambda این امکان را به توسعه دهندگان نرم افزار داد که تنها با نوشتن تابع های خود به عنوان کنترل کننده های رویداد بتوانند هزاران رویداد را همزمان پردازش کنند. پس از معرفی Lambda گروهی در شرکت IBM متوجه ارزش بستر بدون سرور شدند و در سال ۲۰۱۵ تصمیم گرفتند که یک بستر بدون سرور را برای ابر IBM طراحی کنند. در ابتدا این بستر "Whisk" نام داشت که پس از گذشت یک سال متن باز شد و نام آن به OpenWhisk تغییر کرد. اکنون این پروژه قسمتی از Apache Software Foundation است و به عنوان اصلی ترین جایگزین متن باز برای Lambda حساب می شود. محصولات بدون سرور شرکت های IBM و Adobe با این بستر ساخته شده اند و همچنین بسیاری از شرکت های ارائه دهنده تلفن همراه و اینترنت از آن استفاده می کنند. OpenWhisk یک بستر بدون سرور متن باز است که برای آسان کردن توسعه برنامه های کاربردی درون ابر طراحی شده است. برای معرفی و آشنایی بیشتر با این بستر ابتدا با توضیح معماری و ساختارش شروع می کنیم و سپس به بررسی نحوه عملکرد قسمت های مختلفش می پردازیم.

### ۱-۵-۲ معماری OpenWhisk

همانطور که در شکل مشخص است، OpenWhisk تابع هایی به اسم action را در پاسخ به رویدادها اجرا می کند. این رویدادها می توانند توسط تایمرها، پایگاه داده ها، صف های پیام و یا وبسایت های مختلف تولید شده باشند. OpenWhisk کد منبع را با رابط خط فرمان (CLI) ورودی می گیرد و سرویس های خود را از راه شبکه اینترنت به مصرف کننده های مختلف مانند وب سایت ها، برنامه های کاربردی تلفن همراه و یا سرویس های REST API ارائه می دهد.



شکل ۲-۲: نحوه عملکرد رویداد محور OpenWhisk

## ۲-۵-۲ تابع‌ها و رویدادها

OpenWhisk با اجرا کردن تابع‌ها کارها را انجام می‌دهد. تابع تکه‌ای از کد است که چند ورودی دریافت و در پاسخ یک خروجی تولید می‌کند. یک تابع به طور کلی وضعیت را نگه نمی‌دارد (stateless)، اما برنامه‌های کاربردی که سمت سرور اجرا می‌شوند (backend) وضعیت را کاملاً حفظ می‌کنند (stateful). حفظ کردن وضعیت، مقیاس پذیری را محدود می‌کند زیرا در مقیاس‌های بالا به فضای خیلی زیادی برای نگهداری داده‌ها نیاز است. مهم‌تر از آن به سیستمی نیاز است که وضعیت بین فراخوانی‌های مختلف را همگام‌سازی کند. در نتیجه با افزایش بار سرور، زیرساخت عملیات حفظ و همگام‌سازی وضعیت تبدیل به مانعی در برابر رشد کردن پروژه می‌شود. حفظ نکردن وضعیت اما این مزیت را دارد که می‌توان به راحتی چندین سرور دیگر را برای پروژه به کار گرفت بدون این که نیازی به همگام‌سازی وضعیتشان باشد.

در OpenWhisk و به طور کلی در محیط بدون سرور تابع‌ها نباید وضعیت را نگهداری کنند. در محیط بدون سرور می‌توان وضعیت را نگهداری کرد اما نه در سطح یک تابع. برای نگهداری وضعیت باید از محل‌های ذخیره‌سازی مخصوصی استفاده شود که دارای قابلیت مقیاس پذیری بالا هستند. OpenWhisk زیرساخت را مدیریت می‌کند و آن را برای رخ دادن اتفاق مهمی آماده نگه می‌دارد. این اتفاق مهم رویداد<sup>۵۶</sup> نام دارد. تنها در صورتی یک تابع فراخوانی و اجرا می‌شود که رویدادی رخ داده باشد. این پردازش رویدادها در واقع مهم‌ترین عملیاتی است که محیط بدون سرور آن را مدیریت می‌کند. در نتیجه توسعه دهنده‌ها تنها باید برنامه‌ای بنویسند که به این رویدادها به طرز صحیحی پاسخ دهد و بقیه کارها به عهده‌ی ارائه دهنده‌ی سرویس می‌باشد.

## ۲-۵-۳ زبان‌های برنامه‌نویسی OpenWhisk

action‌های OpenWhisk را می‌توان با بسیاری از زبان‌های برنامه‌نویسی نوشت. اما معمولاً از زبان‌های تفسیر شده<sup>۵۷</sup> استفاده می‌شود، مانند JavaScript، Python یا PHP. این زبان‌های برنامه‌نویسی به دلیل اجرا پذیر بودن بدون نیاز به کامپایل، در بازخورد طراحی خیلی سریع هستند. همچنین چون جزو زبان‌های سطح بالا محسوب می‌شوند، استفاده از آن‌ها نیز راحت‌تر است، اما در اجرا کندتر از زبان‌های کامپایل شده هستند.

علاوه بر زبان‌های تفسیر شده می‌توان از زبان‌های تفسیر شده‌ی از قبل کامپایل شده مانند Java و Scala استفاده کرد. این زبان‌ها توسط ماشین مجازی Java یا به اختصار JVM اجرا می‌شوند.

<sup>56</sup>event

<sup>57</sup>interpreted

در نهایت از زبان های کامپایل شده نیز در OpenWhisk می توان استفاده کرد. در این حالت یک فایل باینری اجراپذیر بر روی سیستم بدون هیچ واسطه ای اجرا می شود. OpenWhisk تنها از زبان های Go و Swift در این دسته از زبان ها پشتیبانی می کند.

به جز زبان های گفته شده از هر نوع زبان و سیستمی نیز برای تعریف action های OpenWhisk می توان استفاده کرد به این شرط که به عنوان یک ایمجی داکر بسته بندی شود و در Docker hub منتشر شود. OpenWhisk می تواند با دریافت ایمجی، آن را اجرا کند.

## ۴-۵-۲ Action ها

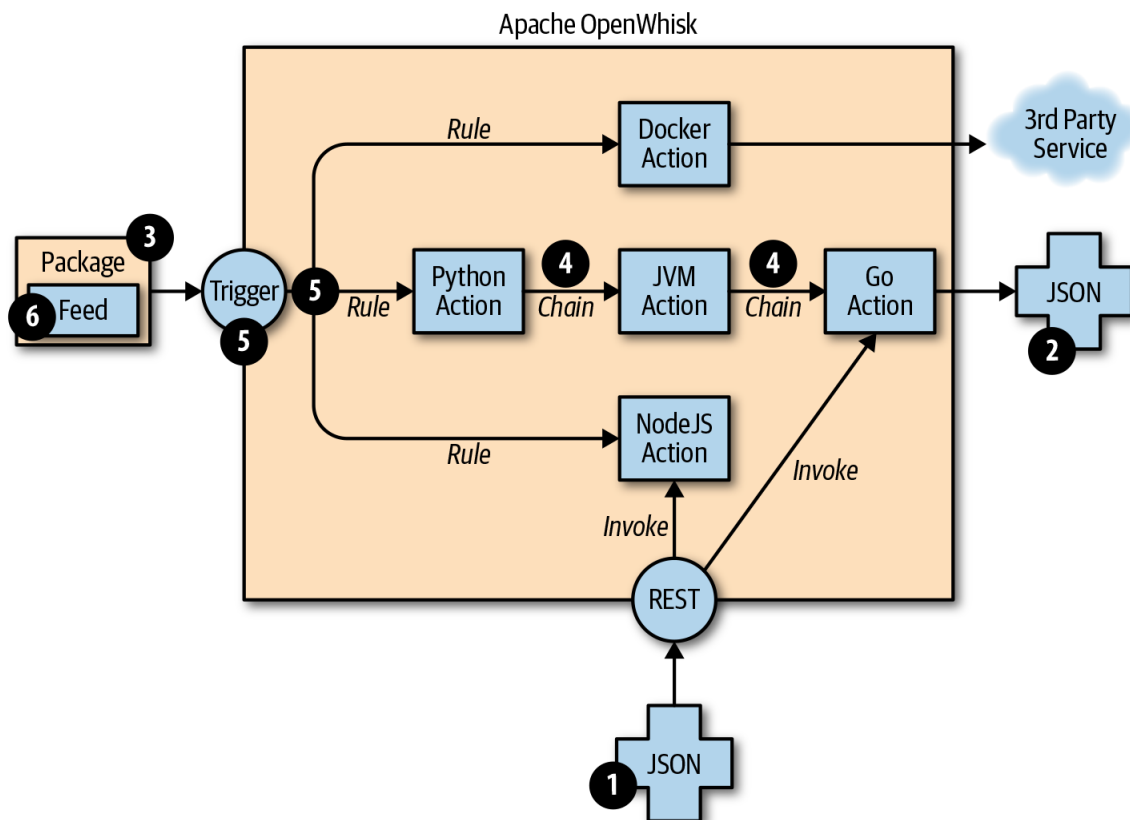
برنامه های ساخته شده با OpenWhisk مجموعه ای متشکل از action ها هستند. این action ها تکه ای کد هستند که با زبان های گفته شده نوشته شده اند و می توان آن ها را فراخوانی و اجرا کرد (invoke). در زمان فراخوانی action، تعدادی ورودی با فرمت JSON به تابع آن داده می شود. سپس در انتهای اجرا، action باید یک خروجی تولید کند که آن هم نیز باید با فرمت JSON بازگشت داده شود. action ها را می توان با استفاده از package ها دسته بندی نمود. یک package را می توان به وسیله binding ها با بقیه user ها به اشتراک گذاشت. همچنین برای یک package می توان مؤلفه هایی تعیین کرد که مختص هر binding باشند و به action هایش به ارث برسند.

## ۵-۵-۲ زنجیر کردن Action ها

action ها از راه های مختلفی می توانند به یکدیگر متصل شوند. ساده ترین راه متصل کردن به وسیله sequence است. action های متصل به هم از خروجی action قبل از خود به عنوان ورودی استفاده می کنند.

بسیاری از جریان های مورد نیاز برای پیاده سازی منطق برنامه را نمی توان به صورت یک مسیر خطی تعریف کرد که تنها یک ورودی می گیرند و در انتها یک خروجی را برمی گردانند. بنابراین راهی وجود دارد که می توان جریان action ها را به مسیرهای مختلف تقسیم کرد. این ویژگی با trigger ها (ماشه ها) و rule ها (قوانین) پیاده سازی می شود. یک trigger به تنهایی کاری انجام نمی دهد، اگرچه می توان آن را با یک یا چند action از طریق تعریف کردن rule مرتبط کرد. پس از تعریف کردن trigger و مرتبط کردن آن با چندین action می توان آن را با دادن مؤلفه ها شلیک (fire) کرد. در شکل معماری action های OpenWhisk نشان داده شده است.

برای شلیک کردن trigger یک action باید تعریف کرد که feed نام دارد. feed باید طبق الگوی



شکل ۲-۲۳: نمای کلی ساختار action های OpenWhisk

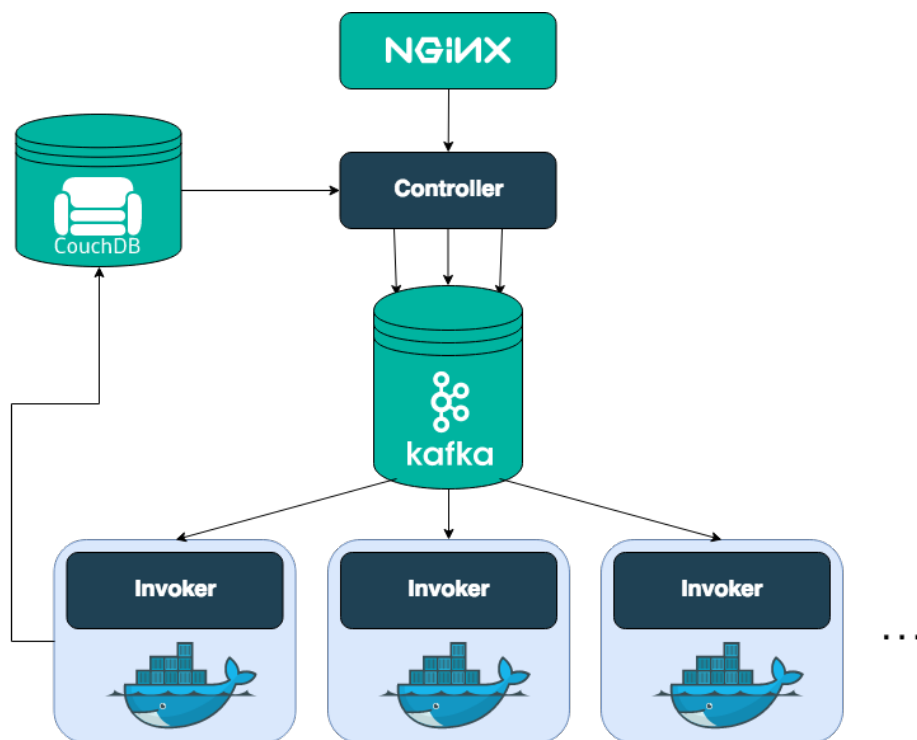
طراحی ناظر<sup>۵۸</sup> طراحی شود و بتواند یک trigger را در هنگام رخ دادن یک رویداد فعال کند. الگوی ناظر یک الگوی طراحی نرم افزار است که در آن یک شی به نام موضوع، فهرست وابستگی هایش را با نام ناظران نگه می دارد و هرگونه تغییر در وضعیتش را به طور خودکار و معمولاً با صدا کردن یکی از روش های آن به اطلاع آن اشیا می رساند. پس از طراحی feed در هنگام پیاده سازی برنامه می توان آن را با یک trigger ادغام نمود تا آن trigger نیز در هنگام شلیک، چند action دیگر را فراخوانی کند.

## ۲-۵-۶ نحوه عملکرد OpenWhisk

حال پس از آشنایی با اجزاء مختلف OpenWhisk به بررسی نحوه عملکرد آن ها می پردازیم. OpenWhisk با بهره گیری از چندین پروژه معروف و توسعه یافته متن باز ساخته شده است که در زیر معرفی شده اند:

**Nginx**: یک وب سرور با کارایی بالا و پروکسی معکوس  
**CouchDB**: پایگاه داده سند محور، NoSQL و مقیاس پذیر

<sup>58</sup>observer



شکل ۲-۲۴: ساختار OpenWhisk

**Kafka** : سیستم پیام رسانی انتشار/اشتراک توزیع شده با کارایی بالا و مقیاس پذیر تمامی این اجزاء کانتینرهای Docker هستند و می توانند توسط محیط هایی که از این فرمت پشتیبانی می کنند مانند کوبرنتیز اجرا شوند.

OpenWhisk شامل قسمت های دیگری می باشد که توسط تیم خودش ساخته شده است: **Controller** : موجودیت های مختلف را مدیریت می کند، trigger ها را شلیک می کند و همچنین فراخوانی action ها را مسیریابی می کند.

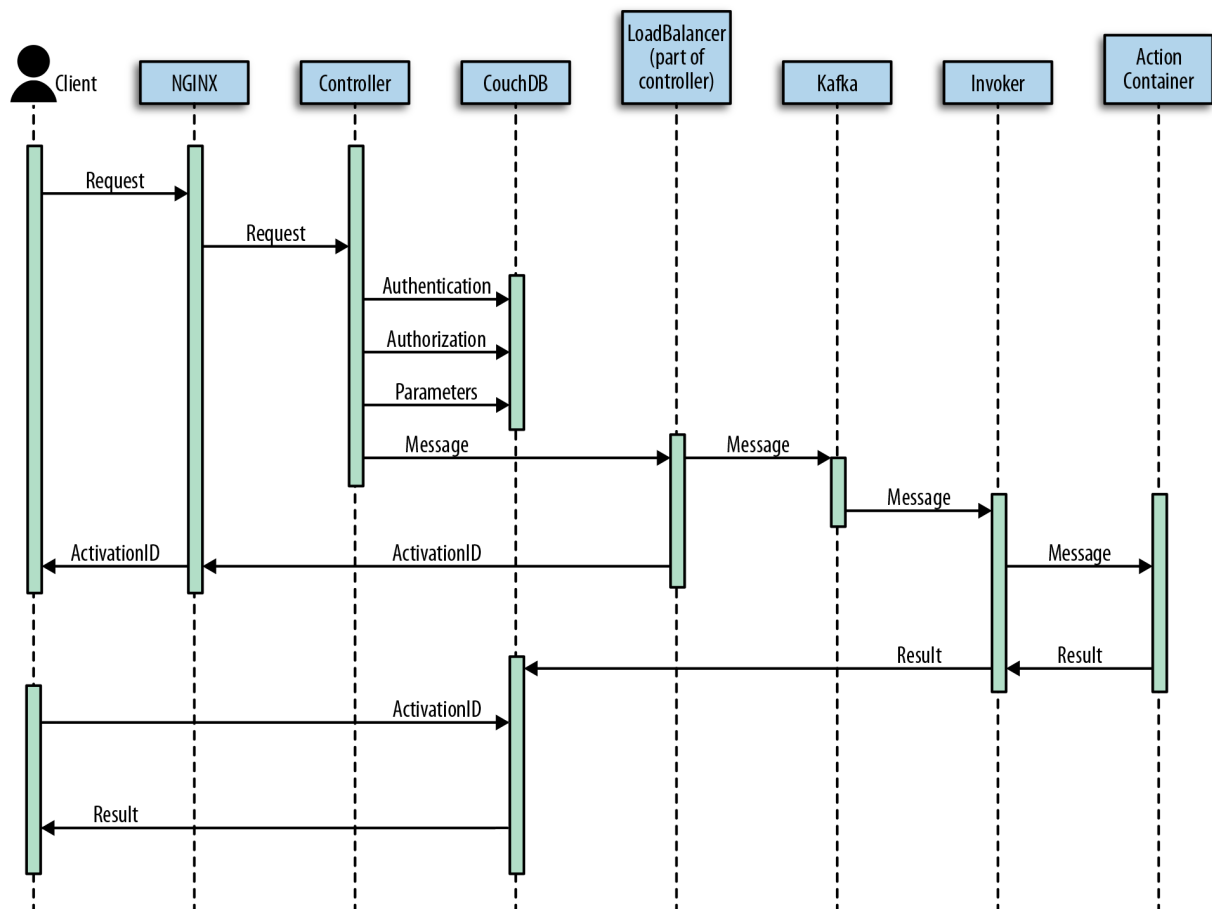
**Invoker** : کانتینرها را برای اجرای action ها راه اندازی می کند.

**Action containers** : کانتینرهای حاوی action که در واقع action ها را اجرا می کنند.

مراحل پردازش action در شکل زیر قابل مشاهده است. تمامی پردازشی که در OpenWhisk انجام می شود ناهمگام (asynchronous) است. حال با جزئیات بیشتری به بررسی این مراحل می پردازیم.

## Nginx

همه چیز با فراخوانی action آغاز می شود که این فراخوانی از راه های مختلفی امکان پذیر است:



شکل ۲-۲۵: چگونگی پردازش action در OpenWhisk

- از طریق وب هنگامی که action به عنوان web action تعریف شده باشد.
- فراخوانی از action دیگر با استفاده از API
- هنگامی که یک trigger فعال شود و یک rule برای فراخوانی action وجود داشته باشد.
- از طریق CLI

OpenWhisk یک سیستم RESTful است، بنابراین هر فراخوانی action به یک درخواست HTTPS تبدیل می‌شود و به گرهی لبه که همان Nginx است می‌رسد. دلیل اصلی وجود وب سرور Nginx، پیاده‌سازی و پشتیبانی از پروتکل امن HTTPS می‌باشد. Nginx پس از دریافت درخواست آن را به سرویس اصلی میانی به نام Controller می‌فرستد.



**Controller**

قبل از اجرا شدن action، ابتدا controller امکان اجرای و صحت آن را بررسی می‌کند. سپس منبع آن هویت سنجی می‌شود تا اجازه دسترسی آن مشخص شود. اگر action از دو مرحله قبل عبور کرد، مؤلفه‌های اضافی به عنوان پیکربندی به آن افزوده می‌شود. حال که امکان اجرای action تأیید شد، به قسمت بعدی که Load Balancer است فرستاده می‌شود.

**Load Balancer**

وظیفه‌ی Load Balancer همان طور که از نامش پیداست حفظ تعادل میان اجرا کننده‌های action یا همان invoker های OpenWhisk است. Load Balancer با مواظبت از runtime های action موجود، اگر دوباره مورد نیاز باشد از آن استفاده می‌کند و اگر runtime مورد نیاز موجود نبود آن را می‌سازد.

**Kafka**

به جایی رسیدیم که سیستم آماده اجرای action است. با این حال، نمی‌توان آن action را فوراً به یک invoker ارسال کرد، زیرا ممکن است مشغول اجرای یک action دیگر باشد. همچنین این احتمال وجود دارد که یک invoker خراب شود، یا حتی کل سیستم خراب شده و دوباره راه اندازی شود. بنابراین، از آنجا که ما در یک محیط کاملاً موازی کار می‌کنیم که انتظار می‌رود مقیاس پذیر باشد، باید این احتمال را در نظر بگیریم که منابع مورد نیاز خود را برای اجرای فوری action در دسترس نداشته باشیم. در مواردی از این دست، مجبوریم فراخوانی‌ها را بافر کنیم. OpenWhisk از Kafka برای انجام این عمل استفاده می‌کند. Kafka یک سیستم پیام رسان "انتشار - اشتراک" با عملکرد بالا است که می‌تواند درخواست‌ها را تا زمان آماده شدن برای اجرای آن‌ها ذخیره کند. درخواست که برای ورود به Nginx به HTTPS تبدیل شده بود، توسط Load Balancer به یک پیام Kafka تبدیل می‌شود که به invoker مقصدش آدرس دهی شده است.

هر پیام ارسال شده به یک invoker شناسه‌ای دارد به نام activation-ID. هنگامی که پیام در صف Kafka قرار می‌گیرد، دو امکان وجود دارد: فراخوانی بدون انسداد و مسدود کننده. برای یک فراخوانی بدون انسداد، شناسه فعال سازی به عنوان پاسخ نهایی درخواست به client ارسال می‌شود و درخواست تکمیل می‌شود. در این حالت، پیش بینی می‌شود client بعداً برگردد تا نتیجه فراخوانی را بررسی کند. برای یک فراخوانی مسدود کننده، اتصال باز می‌ماند؛ کنترل کننده منتظر نتیجه action است و نتیجه را برای سرویس گیرنده ارسال می‌کند.

**Invoker**

در OpenWhisk، بخش invoker وظیفه اجرای action را بر عهده دارد. action ها در واقع در محیط های جدا شده که توسط کانتیفرهای Docker ساخته شده اند، اجرا می شوند به این صورت که invoker ابتدا ایمج runtime مورد نیاز برای اجرای action را انتخاب می کند و سپس آن را همراه با کد action راه اندازی می کند.

پس از اینکه runtime اجرا شد، action هایی که تا آن زمان ساخته و آماده شده اند توسط invoker به runtime فرستاده می شوند. invoker همچنین log هایی که مربوط به اجرای action ها هستند را مدیریت و ذخیره می کند.

**CouchDB**

پس از اتمام پردازش، OpenWhisk نتیجه را در پایگاه داده CouchDB ذخیره می کند. سپس تمامی نتایج اجرای action ها که در پایگاه داده ذخیره شده اند توسط activation-ID که به client ارسال شده بود، در دسترس هستند.

**Client**

پردازشی که اکنون توضیح داده شد ناهمگام بود. بدان معنی که سرویس گیرنده درخواستی را آغاز می کند و سپس آن را کنار می گذارد، اگرچه آن را به طور کامل فراموش نمی کند، زیرا یک شناسه فعال سازی را به عنوان نتیجه ی فراخوانی دریافت کرده است. همانطور که قبلاً دیدیم، از activation-ID برای ذخیره نتیجه در پایگاه داده پس از پردازش استفاده می شود. برای بازیابی نتیجه نهایی، سرویس گیرنده باید درخواست دیگری را همراه با شناسه فعال سازی به عنوان مؤلفه ورودی ارسال کند. پس از اتمام action، نتیجه، log ها و سایر اطلاعات در پایگاه داده موجود است و قابل بازیابی است. پردازش همگام هم امکان پذیر است که مانند همان روش پردازش ناهمگام کار می کند، اما مسدود کننده است به این معنی که سرویس گیرنده منتظر اجرای کامل action می ماند و نتیجه را فوراً دریافت می کند.

[۱۲]

## فصل سوم

# طراحی و پیاده سازی

در این بخش ابتدا پروژه به طور کلی شرح داده شده و در ادامه طراحی بستر بدون سرور اینترنت اشیاء به صورت مایکروسرویس توضیح داده می شود. پس از معرفی ابزارها و تکنولوژی های استفاده شده، نحوه پیاده سازی این بستر مورد بررسی قرار می گیرد.

### ۱-۳ دید کلی

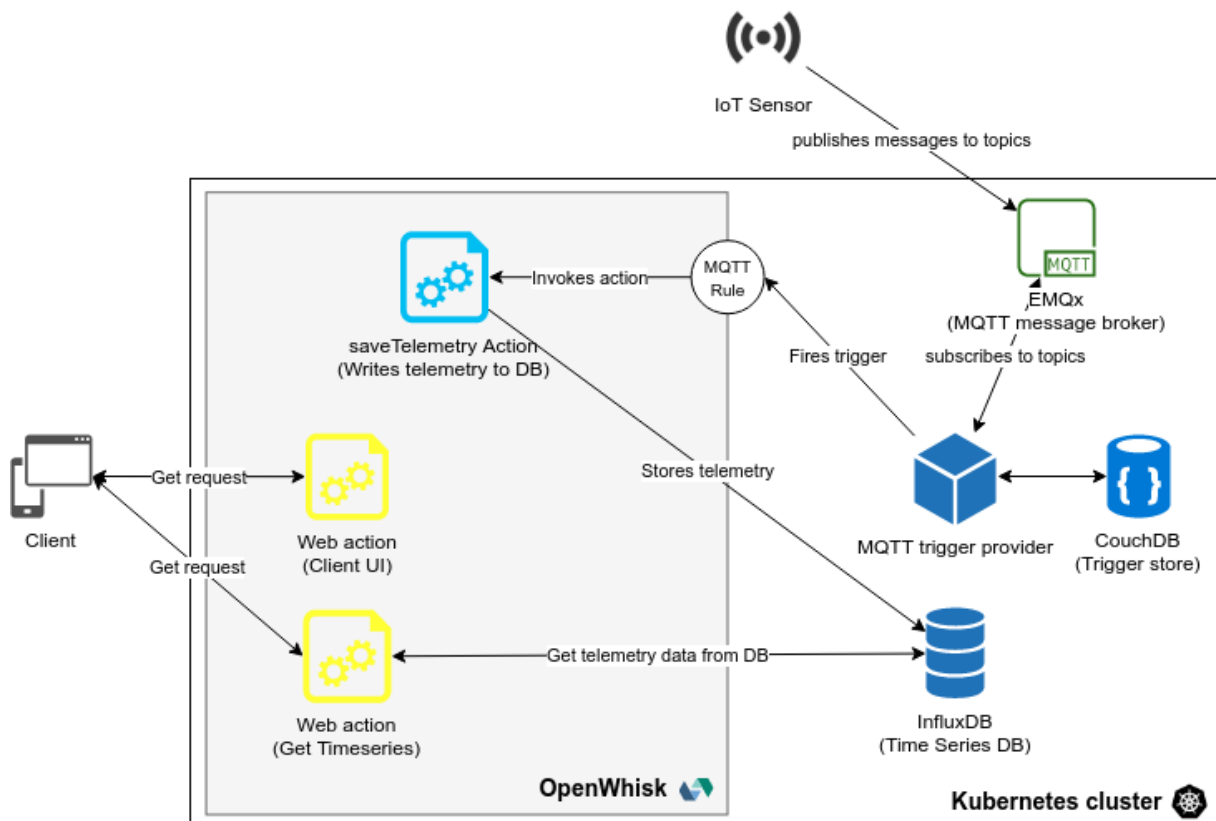
بستر های اینترنت اشیاء بسته به کاربرد، نوع دستگاه ها و محیط مورد استفاده با قابلیت های مختلفی طراحی می شوند. به عنوان مثال یک بستر خانه هوشمند با یک بستر حمل و نقل هوشمند می تواند تفاوت های زیادی در معماری، نحوه ذخیره سازی، مدیریت و نمایش داده ها داشته باشد اما در بسیاری از موارد یکسان هستند. برخی از این موارد عبارتند از:

- جمع آوری و ذخیره سازی داده های حسگرها به صورت سری زمانی
- کنترل دستگاه ها و ارسال فرمان به آنها
- مدیریت دستگاه ها و کاربران
- برخورد مناسب با رویدادها
- پردازش و تحلیل داده ها

مهم ترین قابلیت یک بستر اینترنت اشیاء جمع آوری و ذخیره سازی داده های حسگرها می باشد. این داده ها معمولاً به صورت یک پیام با پروتکل MQTT به یک message broker ارسال می شود، پس از احراز هویت دستگاه، به هسته بستر ارسال شده و برای پردازش های لازم مورد استفاده قرار می گیرد. این پیام همچنین به پایگاه داده فرستاده شده و به صورت سری زمانی ذخیره می گردد. سپس این داده ها می توانند توسط بخش های دیگر بستر استخراج و برای تحلیل و مصورسازی به سرویس گیرنده ارسال شود. در این پروژه این قابلیت با استفاده از بستر بدون سرور OpenWhisk و هماهنگ کننده ابری Kubernetes طراحی و پیاده سازی شده است.

## ۲-۳ طراحی

طراحی این پروژه از چهار بخش اصلی تشکیل شده است. اولین بخش طراحی میکروسرویس mes-sage broker برای دریافت و ارسال داده‌های حسگر، پایگاه داده برای ذخیره سازی داده‌های سری زمانی و یک پایگاه داده دیگر برای ذخیره سازی trigger است. بخش دوم طراحی یک ماژول به اسم MQTT trigger provider است که پیام را از message broker دریافت کرده آن را از طریق سیستم trigger و rule به بستر بدون سرور ارسال می‌کند. بخش سوم شامل طراحی action در بستر بدون سرور OpenWhisk برای ذخیره سازی و استخراج داده‌های سری زمانی است. در بخش چهارم طراحی یک برنامه کاربردی با استفاده از این بستر در دو بخش سرویس دهنده و سرویس گیرنده برای نمایش داده‌ها بررسی می‌شود. نمای کلی معماری پروژه در شکل نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: نمای کلی معماری پروژه

## ۱-۲-۳ میکروسرویس‌ها

## MQTT trigger provider ۲-۲-۳

این قسمت از بستر برای اشتراک و دریافت پیام از message broker و ارسال آن به بستر بدون سرور برای ذخیره سازی طراحی شده است. با افزوده شدن یک trigger در بستر بدون سرور برای دریافت پیام ها بر روی یک topic جدید، این سرویس آن را دریافت می‌کند و بر روی آن topic مشترک می‌شود. همچنین نیاز است این trigger ها در یک پایگاه داده ذخیره شوند تا در هنگام راه اندازی مجدد سرویس، بر روی آن topic ها دوباره مشترک شود.

## ۳-۲-۳ مدیریت داده‌های سری زمانی

پس از شلیک شدن trigger توسط سرویس MQTT trigger provider، پیام باید پردازش و داده موجود در آن در پایگاه داده ذخیره شود. یک action با نام saveTelemetry برای این کار طراحی شده است و trigger شلیک شده با تعریف کردن یک rule به آن متصل می‌شود. این action یک تابع است که با دریافت پیام آن را باز کرده و با فرمت مشخص برای ذخیره سازی به پایگاه داده سری زمانی می‌فرستد. برای استخراج داده‌های سری زمانی از پایگاه داده یک action دیگر به اسم getTimeSeries طراحی شده است که با گرفتن token دستگاه و کلیدهای داده‌ها، داده‌های مشخص شده با کلید و مربوط به آن دستگاه را به صورت سری زمانی برمی‌گرداند. این action همچنین پارامتر دیگری به نام limit برای محدود کردن تعداد داده‌های سری زمانی دارد و اگر برابر n باشد به این معنی است که n تا از آخرین داده‌ها در پاسخ ارسال شوند. در صورتی که این پارامتر وجود نداشته باشد تنها آخرین داده ارسال خواهد شد. برای این action دسترسی وب نیز تعریف می‌شود تا بتوان آن را از طریق درخواست HTTP اجرا کرد.

## ۴-۲-۳ برنامه کاربردی

تا اینجا طراحی بستر به پایان رسید. پس از ایجاد trigger با topic مشخص، دستگاه می‌تواند داده‌های خود در قالب پیام‌های MQTT به broker ارسال کند و این داده‌ها در پایگاه داده ذخیره شده و در دسترس خواهند بود. حال کاربران می‌توانند به توسعه برنامه کاربردی خود بپردازند. با تعریف تابع‌ها در قالب action می‌توان از داده‌های سری زمانی ذخیره شده برای پردازش‌های مختلف استفاده کرد. با تعریف کردن rule می‌توان سناریوهای دلخواهی تعریف کرد که در هنگام دریافت پیام یا شلیک trigger تعریف شده اجرا شوند. همچنین معماری RESTful APIs نیز با تعریف کردن action ها به عنوان web

action به سادگی امکان پذیر است.

حال برای نمونه یک برنامه کاربردی طراحی شده است که

## ۳-۳ تکنولوژی‌های استفاده شده

### ۱-۳-۳ MicroK8s

MicroK8s این امکان را فراهم می‌سازد تا با اجرای یک دستور، یک نود کوبرنتیز برای ایجاد یک محیط توسعه و تست به صورت محلی نصب و اجرا شود. نصب و اجرای MicroK8s بسیار سریع و آسان است و بسیاری از بسته‌های مورد نیاز برای توسعه‌ی محلی برنامه‌های کاربردی را شامل می‌شود. از آن جایی که راه‌اندازی کوبرنتیز کمی تخصصی و پیچیده است و همچنین بسته‌های مورد نیاز دیگری باید به صورت دستی بر روی آن نصب شود، استفاده از یک ابزار که تمامی این کارها را به صورت خودکار انجام می‌دهد بسیار مفید است. [۶]

ابزار دیگری به نام MiniKube وجود دارد که یک نود کوبرنتیز را بر روی یک ماشین مجازی درون سیستم عامل راه‌اندازی می‌کند. این ابزار نیز مخصوص توسعه و تست است. این ابزار بر روی تمامی سیستم عامل‌ها قابل اجرا است، اما MicroK8s فقط از سیستم عامل لینوکس<sup>۱</sup> پشتیبانی می‌کند. [۷]

### ۲-۳-۳ Helm

ابزار مدیریت پکیج‌هایی است که برای پیاده‌سازی بر روی بستر کوبرنتیز تنظیم شده‌اند. این منابع از پیش تنظیم شده با نام charts شناخته می‌شوند. با کمک Helm پکیج‌ها و منابعی که به صورت شخصی ساخته می‌شود را به اشتراک گذاشت. همچنین امکان به‌روز رسانی محصولات توسط این ابزار وجود دارد. [۳]

### ۳-۳-۳ EMQx

EMQx یک message broker توزیع شده با پروتکل MQTT برای اینترنت اشیا، ارتباط ماشین به ماشین<sup>۲</sup> و برنامه‌های کاربردی تلفن همراه است؛ کاملاً متن باز، بسیار مقیاس‌پذیر و بسیار در دسترس است که یک خوشه آن می‌تواند ده‌ها میلیون سرویس‌گیرنده را همزمان اداره کند. بیش از ۵ هزار شرکت از این message broker برای اتصال به ۵۰ میلیون دستگاه اینترنت اشیا استفاده می‌کنند. [۲]

### ۴-۳-۳ CouchDB

CouchDB یک پایگاه داده NoSQL، سند محور و متن باز است که با زبان همگام Erlang پیاده‌سازی شده است. از JSON برای ذخیره داده‌ها، از زبان JavaScript به عنوان زبان اجرای دستور و از HTTP

<sup>۱</sup>Linux

<sup>۲</sup>M2M



برای API استفاده می کند.

برخلاف یک پایگاه داده رابطه‌ای<sup>۳</sup>، پایگاه داده CouchDB داده‌ها و روابط را در جدول‌ها ذخیره نمی کند. در عوض، هر بانک اطلاعاتی مجموعه ای از اسناد مستقل است. ویژگی متمایز کننده‌ی CouchDB همانندسازی مولتی-مستر<sup>۴</sup> است که به آن اجازه می‌دهد تا در دستگاه‌ها مقیاس شود و سیستم‌های با کارایی بالا بسازد. [۸]

### **InfluxDB ۵-۳-۳**

InfluxDB یک پایگاه داده سری زمانی<sup>۵</sup> متن باز است که توسط شرکت InfluxData و با زبان Go نوشته شده است. همچنین برای ذخیره‌سازی سریع، در دسترس بودن بالا و بازیابی داده‌های سری زمانی در زمینه هایی مانند نظارت بر عملیات، اندازه‌گیری برنامه‌ها، داده‌های حسگرهای اینترنت اشیاء و تجزیه و تحلیل بلادرنگ بهینه شده است. این پایگاه داده از زیان شبیه به SQL برای اجرای دستورات استفاده می کند. [۴]

---

<sup>۳</sup>relational database

<sup>۴</sup>multi-master replication

<sup>۵</sup>Time Series Data Base (TSDB)

## ۴-۳ پیاده سازی

حال پس از بررسی طراحی و آشنایی با تکنولوژی‌های مورد نیاز به پیاده سازی این بستر می‌پردازیم. اولین مرحله‌ی پیاده سازی، فراهم نمودن یک خوشه از هماهنگ کننده ابری کوبرنتیز است. این هماهنگ کننده می‌تواند از سرویس ارائه دهندگان ابری تهیه شده یا به صورت دستی روی سرورهای خصوصی پیاده سازی شود. برای پیاده سازی محلی نیز می‌توان از برنامه‌ی minikube استفاده کرد. این برنامه یک ماشین مجازی به صورت محلی می‌سازد و کوبرنتیز را درون آن ماشین مجازی پیاده سازی و اجرا می‌کند. در این پروژه از MicroK8s برای این منظور استفاده شده است.

پس از اجرای هماهنگ کننده ابری نوبت به پیاده‌سازی سایر میکروسرویس‌ها می‌رسد. برای راه اندازی میکروسرویس‌ها ابتدا باید تنظیم کننده‌ی بسته Helm نصب و راه اندازی شود. سپس با استفاده از Helm بسته‌های EMQx، پایگاه داده CouchDB و پایگاه داده سری زمانی InfluxDB از طریق chart هایشان نصب و اجرا می‌شوند. هر میکروسرویس پس از اجرا باید تنظیمات مورد نیازش انجام شود و برای اطمینان از صحت عملکرد مورد تست قرار گیرد.

### ۱-۴-۳ OpenWhisk

پیاده سازی OpenWhisk نیز توسط Helm انجام می‌شود. ابتدا باید پروژه‌ای که به همین منظور ساخته شده است را متناسب با نحوه‌ی پیاده سازی تنظیم کرده و مورد استفاده قرار داد. این تنظیمات عبارتند از فعال سازی یک نود ingress و تعریف کردن host name و port برای ایجاد راه دسترسی به OpenWhisk. این نود با اتصال به NginX درون OpenWhisk ارتباط با این بستر را از طریق وب میسر می‌سازد. همچنین تنظیمات دیگری برای نحوه ذخیره سازی داده‌های پایگاه داده CouchDB توسط کوبرنتیز امکان پذیر است. در انتها این تنظیمات درون یک فایل ذخیره شده و OpenWhisk با اجرای یک دستور CLI در یک namespace جدا راه اندازی می‌شود.

### ۲-۴-۳ MQTT trigger provider

این مازول برای راه اندازی در بستر کوبرنتیز باید به صورت کانتینر در بیاید. بنابراین یک فایل داکر برای ساخت کانتینر نوشته شده است. ایمج این کانتینر توسط این فایل ساخته شده و در Docker Hub آپلود می‌شود. پس از آن فایلی برای تعریف یک deployment نوشته می‌شود تا این کانتینر را در بستر کوبرنتیز راه اندازی کند. در این فایل پس از مشخص کردن اطلاعات ایمج کانتینر و deployment باید port کانتینر و متغیرهای محیطی لازم برای اتصال به سایر سرویس‌ها مشخص شود. این متغیرها عبارتند

از نام کاربری، رمزعبور، آدرس و port مورد نیاز برای اتصال به پایگاه داده CouchDB و همچنین آدرس سرویس OpenWhisk. اطلاعات رمزعبور و نام کاربری از طریق secret کوبرنتیز در دسترس هستند.

### ۳-۴-۳ سرویس‌های کوبرنتیز

برای متصل شدن بقیه اجزاء با یکدیگر باید سرویس‌های دیگری تعریف شود. این سرویس‌ها در قالب فایل‌های مجزا تعریف شده و در انتها با اجرای یک دستور CLI توسط کوبرنتیز خوانده و اعمال می‌شوند. این سرویس‌ها عبارتند از:

- سرویس cluster IP برای اتصال EMQx و OpenWhisk به MQTT trigger provider
- سرویس cluster IP برای اتصال OpenWhisk NginX
- سرویس external name برای اتصال به سرویس OpenWhisk از namespace اصلی
- سرویس external name برای اتصال به سرویس MQTT trigger provider از namespace مربوط به OpenWhisk
- سرویس external name برای اتصال به سرویس پایگاه داده InfluxDB از namespace مربوط به OpenWhisk

### ۴-۴-۳ action ها و trigger ها

برای پیاده سازی action ها و trigger ها در OpenWhisk از CLI آن استفاده می‌شود. ابتدا باید feed action طراحی شده برای ایجاد و حذف trigger ها در MQTT trigger provider راه اندازی شود. بنابراین توسط کاربر ادمین OpenWhisk یک package به نام mqtt ساخته شده و برای همگی کاربران به اشتراک گذاشته می‌شود. سپس تابع feed action درون این package آپلود می‌شود. حال کاربر می‌تواند یک trigger با feed تعریف شده برای یک topic مشخص، راه اندازی کند و پس از آن تابع saveTelemetry را به عنوان action آپلود کند. در انتها با تعریف کردن یک rule اتصال trigger به action برقرار می‌شود.

تابع طراحی شده برای دریافت داده‌های سری زمانی نیز به عنوان یک web action آپلود شده و توسط یک دستور CLI می‌توان آدرس آن را دریافت کرد.

### ۵-۴-۳ سرویس گیرنده

## فصل چهارم

# جمع بندی و نتیجه گیری و کارهای آینده

## ۴-۱ جمع بندی و نتیجه گیری

در این پروژه به طراحی و پیاده سازی یک بستر بدون سرور اینترنت اشیاء پرداخته شد. این کار پس از نیازسنجی در زمینه های اینترنت اشیاء و سرویس های ابری صورت گرفت. همچنین راه حل های مختلف و تکنولوژی های موجود مورد ارزیابی قرار گرفت و راه حل نهایی انتخاب و بررسی شد. در آخر طراحی یک سرویس گیرنده برای آزمایش کردن بستر توضیح داده شد.

همانطور که در فصل های قبل گفته شد، با پیشرفت های اخیر اینترنت اشیاء، استفاده از سرویس های ابری امری ضروری شده است. این سرویس ها می توانند در سطح های مختلفی ارائه شوند و هر کدام برای کاربردهای مختلف مزایا و معایبی دارند. با طراحی و استفاده از بستر بدون سرور اینترنت اشیاء نتیجه گرفته شد که استفاده از این بستر مزایا و برتری های زیر را برای توسعه دهندگان دارد:

۱. سرعت بخشیدن به توسعه نرم افزاری و سخت افزاری و کاهش هزینه ها با حذف نیاز به مدیریت زیرساخت، مناسب شرکت های نوپا و استارت آپ ها
۲. توانایی ارائه سرویس در سطح نرم افزار برای تیم های سخت افزاری بدون نیاز به داشتن دانش در حوزه نرم افزار
۳. قابلیت مقیاس پذیری و تعادل بار با توجه استفاده از تکنولوژی های جدید و معماری میکروسرویس
۴. پیاده سازی منطق برنامه کاربردی در سطح تابع با هر زبان برنامه نویسی

## ۲-۴ کارهای آینده

کارهای انجام شده در این پروژه مقدمه‌ای بود بر طراحی یک بستر جامع اینترنت اشیاء و بدون سرور. همانطور که در فصل سوم گفته شد، بستر اینترنت اشیاء می‌تواند دارای قابلیت‌های بسیار زیادی باشد که در این پروژه تنها به یک قابلیت آن پرداخته شد. بسیاری از این قابلیت‌ها همچنین ترکیب این قابلیت‌ها با بستر بدون سرور امکان‌های بیشتری به توسعه دهندگان می‌دهد. در ادامه، کارهای آینده برای توسعه بیشتر و بهبود این بستر پیشنهاد می‌شوند:

۱. اضافه نمودن قابلیت کنترل دستگاه‌های اینترنت اشیاء با ارسال دستور به آن‌ها
۲. استفاده از package داخلی بستر OpenWhisk به نام alarms برای ایجاد رویدادها بر اساس زمان
۳. استفاده از package های داخلی دیگر مانند websocket, pushnotifications و ... برای بهبود قابلیت‌های بستر

## منابع و مراجع

- [1] Couchdb. <http://couchdb.apache.org>, 2019.
- [2] Emqx | the leader in open source iot messaging. <https://emqx.io>, 2019.
- [3] Helm. <https://helm.sh>, 2019.
- [4] Influxdb: Purpose-built open source time series database. <https://influxdata.com>, 2019.
- [5] Kubeless. <https://kubeless.io>, 2019.
- [6] Microk8s | zero-ops kubernetes for workstations and edge / iot. <https://microk8s.io>, 2019.
- [7] minikube. <https://github.com/kubernetes/minikube>, 2019.
- [8] Open lambda. <https://github.com/open-lambda/open-lambda>, 2019.
- [9] Openfaas | serverless functions, made simple. <https://openfaas.com>, 2019.
- [10] Baldini, Ioana, Castro, Paul, Chang, Kerry, Cheng, Perry, Fink, Stephen, Ishakian, Vatche, Mitchell, Nick, Muthusamy, Vinod, Rabbah, Rodric, Slominski, Aleksander, and et al. Serverless computing: Current trends and open problems. *Research Advances in Cloud Computing*, page 1–20, 2017.
- [11] Kumar, Manoj. Serverless computing for the internet of things. Master's thesis, Aalto University, Espoo, Finland, 2018.
- [12] Michele, Sciabarrà. *Learning Apache OpenWhisk: developing open source serverless solutions*. O'Reilly Media, Inc., 2019.
- [13] Pinto, Duarte Pedro, Dias, Joao Sereno, and Ferreira, Hugo undefined. Dynamic allocation of serverless functions in iot environments. *2018 IEEE 16th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC)*, Jul 2018.

- [14] Roberts, Mike and Chapin, John. *What is Serverless? Understanding the Latest Advances in Cloud and Service-Based Architecture*. O'Reilly Media, Inc., 2017.



# **Abstract**

With the spread of IoT in research and application areas, the need for IoT cloud services has increased. Most companies and startups that are active in this field also operate only at the hardware and software development level and use cloud providers for data storage and processing. As with Internet of Things, serverless architecture is also evolving in software engineering where the cost and demand of servers is managed by the service provider and only the execution time of the functions is calculated. Also, developers do not need to consider infrastructure and servers conditions. The goal of the project is to set up a serverless platform for executing the functions and run processes of IoT networks, including receiving and analyzing sensor data and executing specific scenarios. This platform can be used by startups, universities, and IoT research centers.

## **Key Words:**

Internet of Things, Serverless, Function as a Service, OpenWhisk, Kubernetes



**Amirkabir University of Technology  
(Tehran Polytechnic)**

**Department of electrical engineering**

**B.Sc. Thesis**

# **Designing and implementing a serverless IoT platform**

**By**

**Mohammad Hassan Mojab**

**Supervisor**

**Dr. Taheri**

**September 2019**