



महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई  
(स्वायत्त) (ISO 21001:2018) (ISO/IEC 27001:2013)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका  
(Learning Material)

**CLOUD COMPUTING**

(315325)

K Scheme

**क्लाऊड कॉम्प्युटिंग**

संगणक अभियांत्रिकी गट  
(के स्कीम)

मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम  
(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील पाचवे सत्र पदविका)

# शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

क्लाउड कॉम्प्युटिंग

Cloud Computing

(315325)

संगणक अभियांत्रिकी गट

(के-स्कीम)

K-Scheme

मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील पाचवे सत्र पदविका)



महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई  
(स्वायत्त)(ISO 21001:2018) (ISO/IEC 27001:2013)

क्लाउड कॉम्प्युटिंग  
Cloud Computing  
(315325)

**मार्गदर्शक**

प्रा. विजय नामदेवराव कुकरे  
विभागप्रमुख, संगणक अभियांत्रिकी

**प्रकल्प समन्वयक**

प्रा. अंजली व्ही. कुरकुटे  
विभागप्रमुख, संगणक अभियांत्रिकी

**संकलक**

प्रा. प्रियांका व्ही. जावकर  
व्याख्याता संगणक अभियांत्रिकी



# महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ.

(स्वायत्त) (ISO: २१००१:२०१८) (ISO/IEC: २७००१-२०१३)

शासकीय तंत्रनिकेतन इमारत, चौथा मजला, ४९, खेरवाडी, बांद्रा (पूर्व), मुंबई - ४०० ०५१.

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१००/१५३/१७०

email : director@msbte.com

web site : www.msbte.ac.in



## प्रास्ताविक

महाराष्ट्र राज्यातील पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षणामध्ये विद्यार्थ्यांचे रोजगार कौशल्य विकसित करून विद्यार्थ्यांचा सर्वांगीण विकास घडवून आणण्याकरिता महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ कटिबद्ध आहे. उद्योगधंद्यातील बदलत्या तंत्रज्ञानाशी संबंधित गरजा लक्षात घेऊन महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाकडून पदविका अभ्यासक्रम वेळोवेळी अद्यावत करण्यात येतो. अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रम शिकत असताना संकल्पनात्मक ज्ञान, सुसंगत संदर्भ, प्रश्न विचारणे, विश्वसनीय पुरावे, कारणमीमांसा आणि सुस्पष्ट निकष यांचा वापर करून अर्थाची उकल करण्याची, विश्लेषण व मूल्यमापन करण्याची तसेच तर्काने अनुमान काढण्याची क्षमता म्हणजेच चिकित्सक विचार विद्यार्थ्यांमध्ये अधिक दृढ होतील असा मला विश्वास आहे. जेव्हा विद्यार्थी ज्ञान मिळवण्याच्या माध्यमाशी पूर्णपणे परिचित आणि सोयीस्कर असतात, तेव्हा त्यांच्यासाठी वर्गातील चर्चेत भाग घेणे सोपे होते, संकल्पनात्मक व सैद्धांतिक बाबींचे आकलन परिपूर्ण होते, संज्ञानात्मक क्षमता सुधारते आणि त्यांचा आत्मविश्वास देखील वाढतो. या सर्व गोष्टींचा विचार करून मंडळाकडून शैक्षणिक सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आलेली आहे. भारत देश हा खेड्यापाडयातून विकसित झालेला देश असून ग्रामीण भागातील विद्यार्थ्यांना तांत्रिक शिक्षण घेताना भाषेचा अडसर न येता तांत्रिक बाबींचा आशय समजून घेणे शक्य होईल या दृष्टिकोनातून महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाने पदविका स्तरावरील तांत्रिक शिक्षणाकरिता विद्यार्थ्यांना मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय उपलब्ध करून दिलेला आहे.

राष्ट्रीय शैक्षणिक धोरण-२०२० प्रादेशिक भाषेतील शिक्षणास प्रोत्साहन देते, ज्यामुळे विद्यार्थ्यांना तांत्रिक अभ्यासक्रमांसाठी प्रादेशिक भाषेतून शिक्षणाचे माध्यम निवडता येते. त्या अनुषंगाने प्रादेशिक भाषांमध्ये तांत्रिक सामग्री आणि अभ्यास सामग्रीचा विकास आणि भाषांतर करण्याची आवश्यकता आहे. या धोरणास अनुसरून मंडळाने भागधारकांसाठी शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून I-Scheme तसेच शैक्षणिक वर्ष २०२३-२४ पासून K-Scheme मध्ये द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय प्रथम ते तृतीय वर्षाकरिता उपलब्ध करून दिलेला आहे. या पर्यायास अनुसरून मंडळाने मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक शैक्षणिक सामग्रीही संबंधीत विद्यार्थी व अधिव्याख्यातांकरिता उपलब्ध करून दिली आहे.

पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षण अधिक दर्जेदार करण्यासाठी महाराष्ट्रातील अनुभवी व तज्ञ अध्यापकांनी व्यावहारिक मराठी भाषा व इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावली यांचा वापर करून मराठी इंग्रजी भाषेचा सुवर्णमध्य साधण्याचा प्रयत्न केलेला आहे. मंडळाच्या स्तरावर गठीत सुकाणू समितीमार्फत सदर शैक्षणिक सामुग्रीचा दर्जा, तसेच इतर बाबींची तपासणी करण्यात आलेली आहे. त्यामुळे सदर शैक्षणिक सामुग्री अधिक संपन्न झालेली असून, विद्यार्थी त्यांच्या व्यक्तिमत्त्वाचा सुसंवादी आणि सर्वांगीण विकास साधतील. परिणामतः विश्वस्तरीय मनुष्यबळाच्या गरजा पूर्ण करण्यात महाराष्ट्र राज्य अग्रेसर राहिल व पर्यायाने राष्ट्रनिर्मिती करिता निश्चितच हातभार लागेल, असा मला विश्वास आहे.

अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रमातील विषयांची मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक) शैक्षणिक सामुग्री बनविण्यासाठी अध्यापक व सुकाणू समितीचे सदस्य यांनी दर्शविलेले समर्पण व वचनबद्धता कौतुकास पात्र आहे, या सर्वांचे मी मनःपूर्वक अभिनंदन करतो!

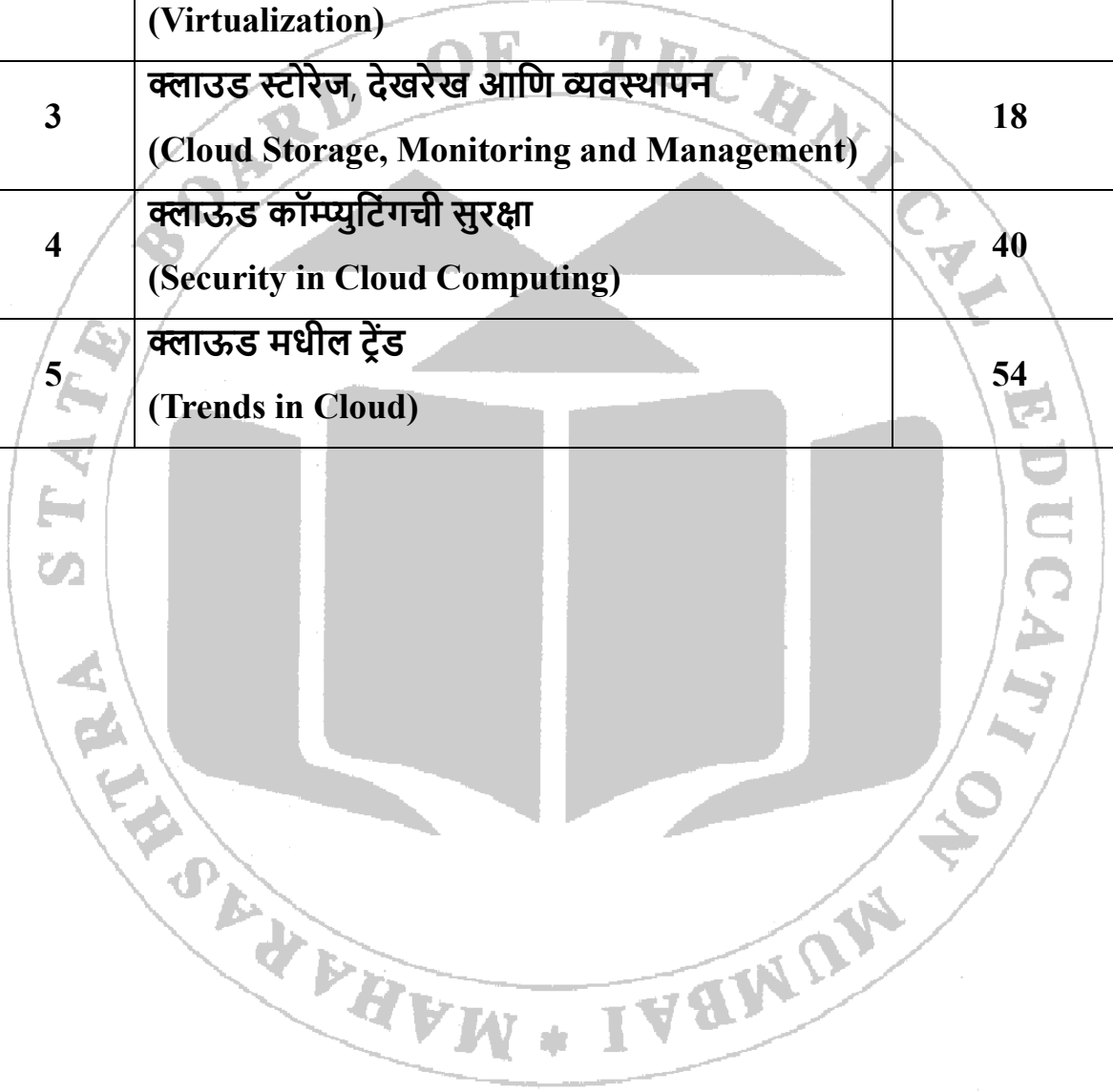
(डॉ. प्रमोद नाईक)

संचालक

म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

# अनुक्रमणिका

अ. नु.	युनिटचे नाव	पृष्ठ क्रमांक
1	क्लाऊड कॉम्प्युटिंगची मूलभूत तत्त्वे (Fundamentals of Cloud Computing)	1
2	व्हर्च्युअलायझेशन (Virtualization)	11
3	क्लाऊड स्टोरेज, देखरेख आणि व्यवस्थापन (Cloud Storage, Monitoring and Management)	18
4	क्लाऊड कॉम्प्युटिंगची सुरक्षा (Security in Cloud Computing)	40
5	क्लाऊड मधील ट्रेंड (Trends in Cloud)	54



## युनिट-1

### क्लाऊड कॉम्प्युटिंगची मूलभूत तत्त्वे

#### (Fundamentals of Cloud Computing)

#### विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

CO1: मूलभूत क्लाऊड आधारित अॅप्लिकेशन वापरा.

#### घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcome-TLO):

1. क्लाऊड कंप्यूटिंगची वैशिष्ट्ये स्पष्ट करा.
2. दिलेल्या सेवांवर क्लाऊड डिप्लॉयमेंट मॉडेलची तुलना करा.
3. ओळखल्या गेलेल्या क्लाऊड सर्व्हिस मॉडेलद्वारे ऑफर केलेल्या सेवांचे स्पष्टीकरण द्या.
4. क्लाऊड कंप्यूटिंग आर्किटेक्चरचे घटक स्पष्ट करा.

#### 1.1 क्लाऊड कॉम्प्युटिंगची व्याख्या (Definition of Cloud Computing)

"क्लाऊड कॉम्प्युटिंग" ही संज्ञा क्लाऊडद्वारे प्रदान केलेल्या सेवांना सूचित करते, जी सर्व्हर, स्टोरेज, डेटाबेस, नेटवर्किंग, सॉफ्टवेअर, विश्लेषणे (ॲनालिटिक्स), बुद्धिमत्ता (इंटेलिजन्स) आणि इतर अनेक कॉम्प्युटिंग सेवा क्लाऊड (इंटरनेट) द्वारे वितरित करण्यासाठी जबाबदार आहे. क्लाऊड म्हणजे इंटरनेटद्वारे ॲक्सेस केलेले सर्व्हर आणि त्या सर्व्हरवर चालणारे सॉफ्टवेअर व डेटाबेस. हे क्लाऊड सर्व्हर जगभरातील डेटा सेंटर्समध्ये असतात.

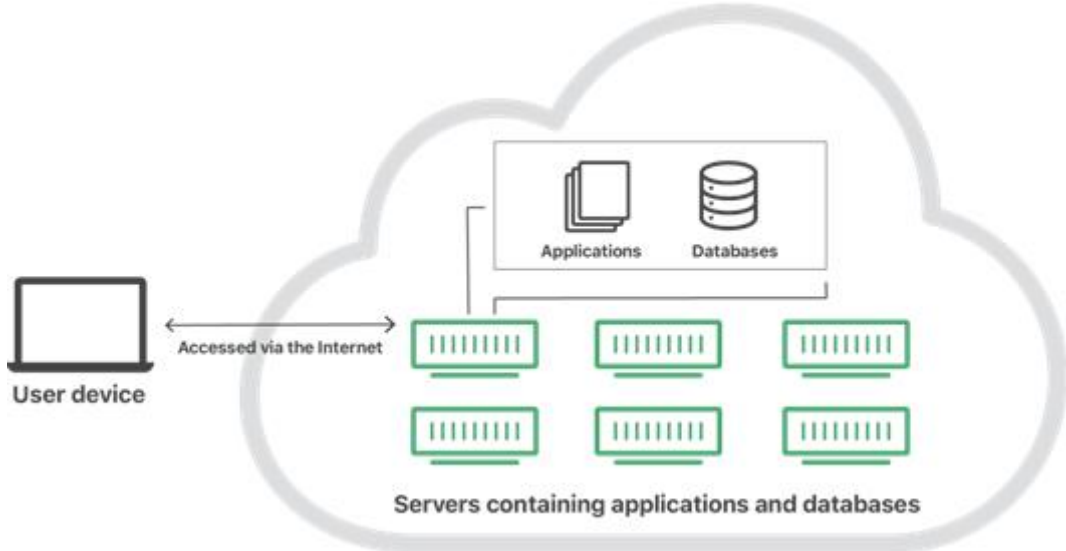


Fig. 1.1: क्लाऊड (Cloud)

#### 1.1.1 क्लाऊड कॉम्प्युटिंगची वैशिष्ट्ये (Characteristics of Cloud computing)

1. **ऑन-डिमांड सेल्फ-सर्व्हिस:** वापरकर्ता आवश्यकतेनुसार, कोणत्याही मानवी हस्तक्षेपाशिवाय स्वतःच संगणकीय क्षमता जसे की सर्व्हर वेळ आणि स्टोरेज उपलब्ध करू शकतो.
2. **व्यापक नेटवर्क ॲक्सेस:** क्लाऊड सेवांच्या क्षमता नेटवर्कवर उपलब्ध असतात आणि वापरकर्ते सहसा त्यांचे मोबाईल फोन, टॅबलेट, लॅपटॉप आणि वर्कस्टेशन्स वापरून त्यांना वापरू करू शकतात.
3. **सामायिक संसाधन पूलिंग (Shared Resource Pooling):** सेवा प्रदात्याची (**provider**) संगणकीय संसाधने (**computing resources**) एकत्रित केली जातात, ज्यामुळे ती मल्टी-टेनंट मॉडेल वापरून अनेक वापरकर्त्यांना सेवा देऊ शकतात. यामध्ये, विविध प्रत्यक्ष (**physical**) आणि आभासी (**virtual**) संसाधने ग्राहकांच्या मागणीनुसार गतिमान पद्धतीने (**dynamically**) वाटप केली जातात आणि पुन्हा वाटप केली जातात. संसाधनांच्या उदाहरणांमध्ये स्टोरेज (**storage**), प्रोसेसिंग (**processing**), मेमरी (**memory**) आणि नेटवर्क बँडविड्थ (**network bandwidth**) यांचा समावेश होतो.

4. जलद लवचिकता (**Rapid Elasticity**): क्षमता लवचिकपणे (**elastically**) उपलब्ध केल्या जातात आणि सोडल्या जातात, काही प्रकरणांमध्ये आवश्यकतेनुसार आपोआप जलद गतीने क्षमता वाढवता (**scale outward**) किंवा कमी करता (**scale inward**) येतात. वापरकर्त्यांसाठी, उपलब्ध असलेल्या क्षमता अनेकदा अमर्याद वाटतात आणि त्या कोणत्याही वेळी, कोणत्याही प्रमाणात वापरता येतात.

5. मोजलेली सेवा (**Measured Service**): क्लाउड सिस्टिम्स सेवेच्या प्रकारानुसार योग्य मेट्रिंग क्षमतेचा (उदा. स्टोरेज, प्रोसेसिंग, बँडविड्थ आणि सक्रिय वापरकर्ता खाती) लाभ घेऊन संसाधनांचा वापर आपोआप नियंत्रित आणि ऑप्टिमाइझ करतात. संसाधनांचा वापर निरीक्षण केला जाऊ शकतो, नियंत्रित केला जाऊ शकतो आणि त्याचा अहवाल दिला जाऊ शकतो, ज्यामुळे सेवा प्रदाता आणि वापरकर्ता दोघांसाठीही पारदर्शकता येते. हे "जितका वापर कराल तितके पैसे भरा" ("**Pay as you grow**") मॉडेलचे अनुसरण करते किंवा अंतर्गत आयटी विभागांसाठी आयटी चार्जबॅक (**IT chargeback**) क्षमता प्रदान करते. क्लाउड संसाधनांचा वापर मोजला जातो आणि वापरकर्त्यांकडून काही मेट्रिक्सच्या आधारे शुल्क आकारले जाते, जसे की वापरलेल्या **CPU** सायकलची रक्कम, वापरलेल्या स्टोरेज स्पेसची रक्कम, नेटवर्क **I/O** विनंत्यांची संख्या इत्यादींचा वापर क्लाउड संसाधनांसाठी वापर शुल्क मोजण्यासाठी केला जातो.

6. कार्यक्षमता (**Performance**): अप्लिकेशन वर्कलोडनुसार संसाधनांचे गतिमान वाटप केल्याने क्षमता सहजपणे वाढवता (**scale up**) किंवा कमी करता (**scale down**) येते आणि कार्यक्षमता टिकवून ठेवता येते.

7. कमी खर्च (**Reduced Costs**): अप्लिकेशनसाठी खर्चाचे फायदे मिळतात कारण आवश्यक तेवढीच संगणकीय आणि स्टोरेज संसाधने गतिमानपणे (**dynamically**) उपलब्ध केली जाऊ शकतात आणि सर्वात वाईट परिस्थितीतील आवश्यकता पूर्ण करण्यासाठी संगणकीय मालमत्ता खरेदी करण्यासाठी सुरुवातीची गुंतवणूक टाळली जाते.

8. आउटसोर्सद व्यवस्थापन (**Outsourced Management**): क्लाउड कंप्युटिंगमुळे वापरकर्त्यांना त्यांच्या आयटी इन्फ्रास्ट्रक्चरच्या (**IT infrastructure**) गरजा बाह्य क्लाउड प्रदात्यांकडे (**external cloud providers**) आउटसोर्स (सोपवून) करण्याची मुभा मिळते आणि त्यामुळे सुरुवातीची मोठी भांडवली गुंतवणूक (**upfront capital investments**) वाचते. यामुळे आयटी इन्फ्रास्ट्रक्चर उभारणे सोपे होते आणि वापरल्या जाणाऱ्या क्लाउड संसाधनांसाठी केवळ कार्यान्वित खर्चाची (**operational expenses**) देयके द्यावी लागतात.

9. मल्टीटेनन्सी (**Multitenancy**): मल्टीटेनन्सी अनेक वापरकर्त्यांना समान सामायिक संसाधने (**shared resources**) वापरण्याची परवानगी देते. बँकिंग, आर्थिक, सोशल नेटवर्किंग, ई-कॉमर्स, **B2B** इत्यादींसारखे आधुनिक ॲप्लिकेशन्स मल्टी-टेनंट ॲप्लिकेशन्सला समर्थन देणाऱ्या क्लाउड वातावरणात (**cloud environments**) तैनात (**deployed**) केले जातात.

10. सेवा-केंद्रित आर्किटेक्चर (**Service Oriented Architecture - SOA**): **SOA** (सर्व्हिस ओरिएंटेड आर्किटेक्चर) हे मूलतः सेवांचा (**services**) संग्रह आहे, ज्या एकमेकांशी संवाद साधतात. **SOA** सेवांचा एक सैलपणे एकात्मिक संच (**loosely-integrated suite of services**) प्रदान करते, जे अनेक व्यावसायिक डोमेन्समध्ये (**business domains**) वापरले जाऊ शकतात. हा दृष्टिकोन सहसा वेब सर्व्हिस मॉडेलद्वारे (**Web service model**) अंमलात आणला जातो.

## 1.2 क्लाउड डिप्लॉयमेंट मॉडेल्स (Cloud Deployment Models)

क्लाउड डिप्लॉयमेंट मॉडेल्स म्हणजे क्लाउड इन्फ्रास्ट्रक्चर कसे उपलब्ध करून दिले जाते आणि वापरकर्त्यांना कसे ॲक्सेस करता येते, हे ठरवणारे विविध आर्किटेक्चरल प्रकार.

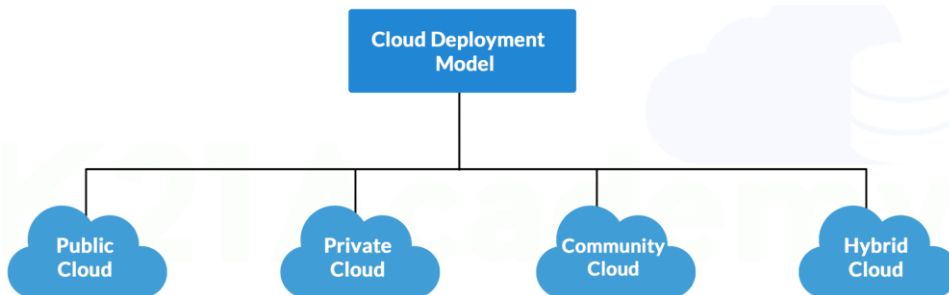


Fig. 1.2: क्लाउड डिप्लॉयमेंट मॉडेल्स (Cloud Deployment Models)

### 1.2.1 पब्लिक क्लाउड (Public Cloud):

पब्लिक क्लाउड म्हणजे असा क्लाउड, जिथे क्लाउड इन्फ्रास्ट्रक्चर आणि संगणकीय संसाधने (**computing resources**) सार्वजनिक नेटवर्कद्वारे (**public network**) सामान्य लोकांसाठी उपलब्ध करून दिली जातात. पब्लिक क्लाउडची मालकी क्लाउड सेवा विकणाऱ्या संस्थेकडे असते आणि तो विविध प्रकारच्या ग्राहकांना (**diverse pool of clients**) सेवा देतो. उदा. Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Cloud Platform.

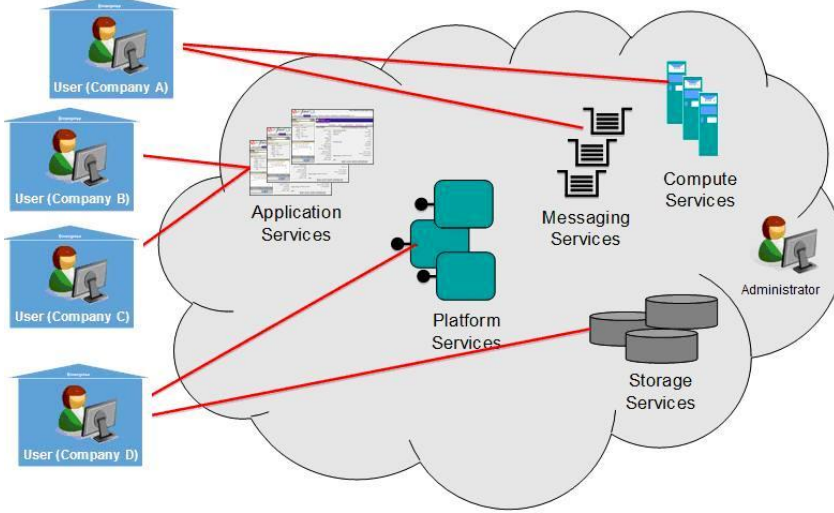


Fig. 1.3: पब्लिक क्लाउड (Public Cloud)

#### फायदे (Advantages)

1. कोणताही सेटअप खर्च नाही (**No setup cost**): संपूर्ण इन्फ्रास्ट्रक्चर क्लाउड सेवा प्रदात्यांकडून पूर्णपणे सबसिडीकृत असते, त्यामुळे कोणतेही हार्डवेअर सेट करण्याची आवश्यकता नसते.
2. देखभालीची गरज नाही (**No maintenance**): देखभालीचे काम सेवा प्रदात्याद्वारे (वापरकर्त्याद्वारे नाही) केले जाते.

#### तोटे (Disadvantages)

1. कमी सुरक्षित (**Less secure**): पब्लिक क्लाउड कमी सुरक्षित असतो कारण संसाधने सार्वजनिक असतात, त्यामुळे उच्च-स्तरीय सुरक्षिततेची कोणतीही हमी नसते.
2. कमी कस्टमायझेशन (**Low customization**): तो अनेक लोकांसाठी उपलब्ध असल्याने, वैयक्तिक गरजांनुसार तो कस्टमाइझ (बदल) केला जाऊ शकत नाही.

### 1.2.2 प्रायव्हेट क्लाउड (Private Cloud):

हा क्लाउड इन्फ्रास्ट्रक्चरचा एक प्रकार आहे जो एका विशिष्ट संस्थेसाठीच (Organization) समर्पित असतो. तो संस्थेद्वारे किंवा तिसऱ्या पक्षाद्वारे व्यवस्थापित केला जाऊ शकतो आणि संस्थेच्या आवारात किंवा बाहेरील ठिकाणी (Off-premise) होस्ट केला जाऊ शकतो. यामध्ये डेटावर अधिक नियंत्रण आणि उच्च सुरक्षा मिळते.

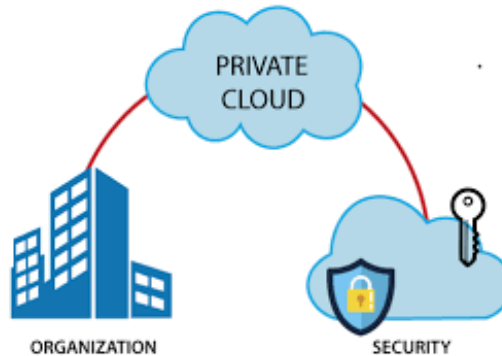


Fig. 1.4: प्रायव्हेट क्लाउड (Private Cloud)

**फायदे (Advantages)**

1. उत्तम नियंत्रण (Better Control): तुम्ही मालमतेचे (इन्फ्रास्ट्रक्चरचे) एकमेव मालक असता. तुम्हाला सेवांचे एकीकरण (Service integration), आयटी ऑपरेशन्स (IT operations), धोरणे (Policies) आणि वापरकर्त्यांच्या वर्तनावर (User behavior) पूर्ण नियंत्रण मिळते.
2. डेटा सुरक्षा आणि गोपनीयता (Data Security and Privacy): गोपनीय कॉर्पोरेट माहिती साठवण्यासाठी हे योग्य आहे, ज्यावर फक्त अधिकृत कर्मचाऱ्यांचाच अॅक्सेस (प्रवेश) असतो.

**तोटे (Disadvantages)**

1. कमी स्केलेबल (Less scalable): प्रायव्हेट क्लाउड्स मर्यादित श्रेणीतच स्केलेबल असतात, कारण येथे क्लायंटची संख्या कमी असते.
2. खर्चिक (Costly): प्रायव्हेट क्लाउड्स अधिक खर्चिक असतात, कारण त्या वैयक्तिकृत सुविधा देतात.

**1.2.3 हायब्रिड क्लाउड (Hybrid Cloud)**

हे मॉडेल दोन किंवा अधिक भिन्न क्लाउड इन्फ्रास्ट्रक्चर्सचे (प्रायव्हेट, पब्लिक किंवा कम्युनिटी) संयोजन आहे, जे एकमेकांशी जोडलेले असतात आणि डेटा व ॲप्लिकेशन्सची देवाणघेवाण करतात. यामुळे संस्थांना त्यांच्या वर्कलोडनुसार लवचिकता आणि स्केलेबिलिटी मिळते. उदा. काही संवेदनशील डेटा प्रायव्हेट क्लाउडमध्ये ठेवून इतर ॲप्लिकेशन्स पब्लिक क्लाउडवर चालवणे.

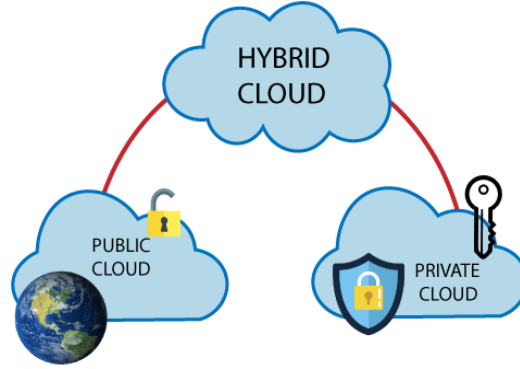


Fig. 1.5: हायब्रिड क्लाउड (Hybrid Cloud)

**फायदे (Advantages)**

1. लवचिकता आणि नियंत्रण (Flexibility and control): अधिक लवचिकता असलेले व्यवसाय त्यांच्या विशिष्ट गरजा पूर्ण करणारे वैयक्तिकृत सोल्यूशन्स डिझाइन करू शकतात.
2. खर्च (Cost): पब्लिक क्लाउड्स स्केलेबिलिटी प्रदान करत असल्याने, तुम्हाला अतिरिक्त क्षमतेची (Extra capacity) आवश्यकता असल्यास त्यासाठीच पैसे द्यावे लागतील. प्रायव्हेट क्लाउडच्या तुलनेत खर्च कमी असतो.

**तोटे (Disadvantages)**

1. व्यवस्थापित करणे कठीण (Difficult to manage): हायब्रिड क्लाउड्स व्यवस्थापित करणे कठीण असते, कारण ते पब्लिक आणि प्रायव्हेट क्लाउड या दोन्हीचे संयोजन आहे. त्यामुळे ते जटिल (Complex) असतात.
2. हळू डेटा ट्रान्समिशन (Slow data transmission): हायब्रिड क्लाउडमध्ये डेटा ट्रान्समिशन पब्लिक क्लाउडद्वारे होते, त्यामुळे विलंब (Latency) होतो.

**1.2.4 कम्युनिटी क्लाउड (Community Cloud):**

हा क्लाउड इन्फ्रास्ट्रक्चरचा एक प्रकार आहे जो विशिष्ट गरजा असलेल्या अनेक संस्थांद्वारे सामायिक केला जातो. या संस्थांमध्ये समान सुरक्षा, अनुपालन (compliance) किंवा कार्यक्षमतेच्या आवश्यकता असू शकतात. याचे व्यवस्थापन सहभागी संस्था किंवा तिसऱ्या पक्षाद्वारे केले जाऊ शकते.

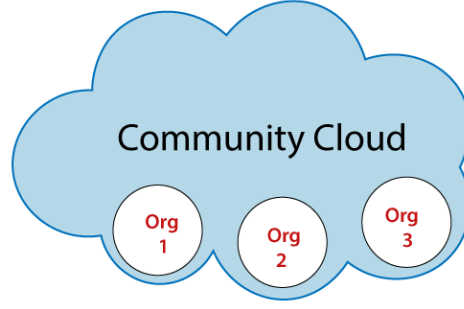


Fig. 1.6: कम्युनिटी क्लाउड (Community Cloud)

### फायदे (Advantages)

1. खर्च-प्रभावी (Cost Effective): हे खर्च-प्रभावी आहे कारण क्लाउड अनेक संस्था किंवा समुदायांद्वारे सामायिक केले जाते.
2. सुरक्षितता (Security): कम्युनिटी क्लाउड अधिक चांगली सुरक्षा प्रदान करते.

### तोटे (Disadvantages)

1. मर्यादित स्केलेबिलिटी (Limited Scalability): कम्युनिटी क्लाउड तुलनेने कमी स्केलेबल असते, कारण अनेक संस्था त्यांच्या सहयोगी हितसंबंधानुसार समान संसाधने सामायिक करतात.

### 1.3 क्लाउड सेवा मॉडेल्स (Cloud Service Models)

क्लाउड सेवा मॉडेल्स हे क्लाउड कंप्युटिंगमध्ये सेवा कशा वितरीत केल्या जातात याचे वर्गीकरण करतात. हे मॉडेल्स वापरकर्त्यांना विविध स्तरांवर नियंत्रण आणि व्यवस्थापनाची जबाबदारी देतात. मुख्यत्वे तीन प्रकारची क्लाउड सेवा मॉडेल्स आहेत.

#### 1.3.1 इन्फ्रास्ट्रक्चर अॅज अ सर्व्हिस (Infrastructure as a Service - IaaS):

IaaS मध्ये, क्लाउड प्रदाता व्हर्च्युअल मशीन्स (Virtual machines), स्टोरेज, नेटवर्किंग आणि ऑपरेटिंग सिस्टिम्स (Operating systems) यांसारखी मूलभूत संगणकीय संसाधने पुरवतो. वापरकर्त्याला या इन्फ्रास्ट्रक्चरवर पूर्ण नियंत्रण असते आणि तो त्यावर आपले ॲप्लिकेशन्स आणि डेटा तैनात (deploy) करू शकतो.

**उदाहरण:** Amazon Web Services (AWS) EC2, Microsoft Azure Virtual Machines.

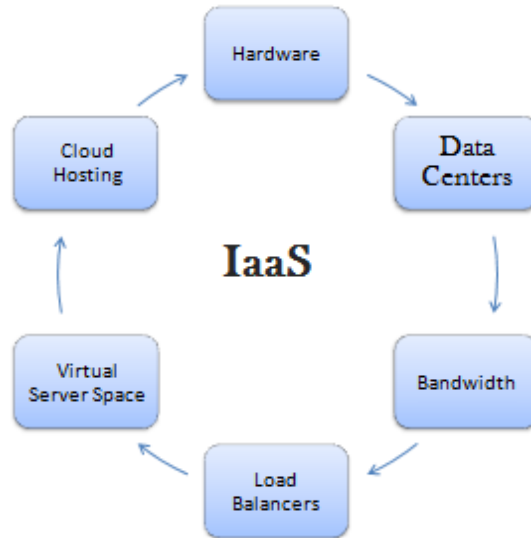


Fig. 1.7: इन्फ्रास्ट्रक्चर अॅज अ सर्व्हिस (Infrastructure as a Service - IaaS)

### फायदे (Advantages)

1. जलद डिप्लॉयमेंट (Faster Deployment): नवीन इन्फ्रास्ट्रक्चर उभारण्यासाठी लागणारा वेळ खूप कमी होतो, ज्यामुळे ॲप्लिकेशन्स आणि सेवा जलद बाजारात आणता येतात.
2. सुरुवातीची गुंतवणूक नाही (No Upfront Investment): तुम्हाला सर्व्हर, स्टोरेज किंवा नेटवर्किंग हार्डवेअर खरेदी करण्याची गरज नाही. यामुळे सुरुवातीचा मोठा भांडवली खर्च वाचतो.

### तोटे (Disadvantages)

1. सुरक्षिततेची जबाबदारी (Security Responsibility).

2. तांत्रिक कौशल्ये आवश्यक (Technical Skills Required): IaaS हे PaaS किंवा SaaS पेक्षा अधिक तांत्रिक ज्ञान मागते. व्हर्चुअल सर्व्हरची स्थापना, कॉन्फिगरेशन, नेटवर्किंग आणि सुरक्षा व्यवस्थापनासाठी वापरकर्त्याकडे आवश्यक कौशल्ये असणे आवश्यक आहे.

### 1.3.2 प्लॅटफॉर्म अँज अ सर्व्हिस (Platform as a Service - PaaS)

PaaS मध्ये, क्लाउड प्रदाता ॲप्लिकेशन्स विकसित करण्यासाठी, चालवण्यासाठी आणि व्यवस्थापित करण्यासाठी आवश्यक असलेले प्लॅटफॉर्म आणि साधने पुरवतो. यामध्ये ऑपरेटिंग सिस्टिम्स, डेटाबेस, वेब सर्व्हर आणि प्रोग्रामिंग लॅंग्वेज एन्व्हायरनमेंट्स यांचा समावेश असतो. वापरकर्त्याला इन्फ्रास्ट्रक्चर व्यवस्थापित करण्याची गरज नसते, तो फक्त ॲप्लिकेशन डेव्हलपमेंटवर लक्ष केंद्रित करतो.

**उदाहरण:** Google App Engine, AWS Elastic Beanstalk, Microsoft Azure App Service.

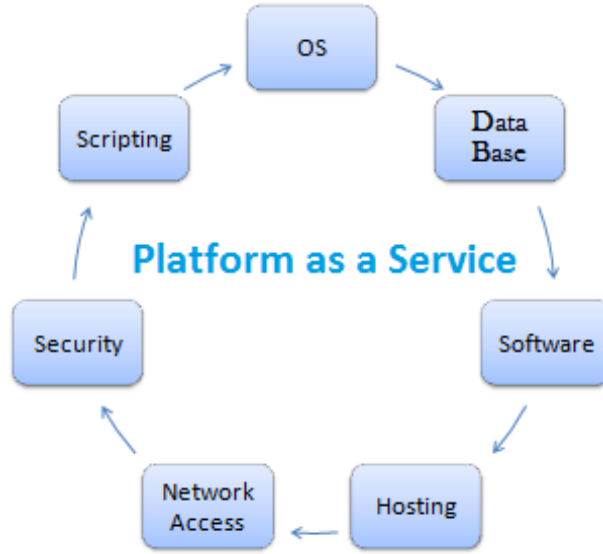


Fig. 1.8: प्लॅटफॉर्म अँज अ सर्व्हिस (Platform as a Service - PaaS)

### फायदे (Advantages):

1. रेडी-टू-यूज एन्व्हायरनमेंट (Ready-to-Use Environment): PaaS हे विकासक, डेटाबेस, वेब सर्व्हर आणि प्रोग्रामिंग लॅंग्वेज एन्व्हायरनमेंट्स (उदा. Python, Java, .NET) यासारख्या पूर्वनिरमित साधनांसह एक तयार व्यासपीठ (Platform) पुरवते. यामुळे ॲप्लिकेशन तयार करण्यासाठी लागणारा वेळ कमी होतो, कारण इन्फ्रास्ट्रक्चर सेट करण्याची गरज नसते.
2. इन्फ्रास्ट्रक्चर व्यवस्थापनाचा खर्च वाचतो (No Infrastructure Management Costs): सर्व्हर खरेदी करणे, त्याची देखभाल करणे, ऑपरेटिंग सिस्टिम्स अपडेट करणे किंवा नेटवर्किंग कॉन्फिगर करणे यांसारख्या कामांची जबाबदारी प्रदात्याची असते. यामुळे हार्डवेअर, सॉफ्टवेअर परवाने आणि आयटी कर्मचाऱ्यांवरील खर्च वाचतो.

### तोटे (Disadvantages):

1. नियंत्रणाचा अभाव (Lack of Control)
2. कस्टमायझेशनची मर्यादा (Customization Limitations)

### 1.3.3 सॉफ्टवेअर अँज अ सर्व्हिस (Software as a Service - SaaS)

SaaS मध्ये, क्लाउड प्रदाता ॲप्लिकेशन्स थेट वापरकर्त्यांना इंटरनेटद्वारे पुरवतो. वापरकर्त्याला सॉफ्टवेअर इन्स्टॉल किंवा व्यवस्थापित करण्याची गरज नसते, तो फक्त वेब ब्राउझर किंवा मोबाईल ॲपद्वारे ते वापरतो. सेवा प्रदाता सॉफ्टवेअर आणि त्याच्याशी संबंधित इन्फ्रास्ट्रक्चरची देखभाल करतो.

**उदाहरण:** Gmail, Salesforce, Dropbox, Microsoft 365.

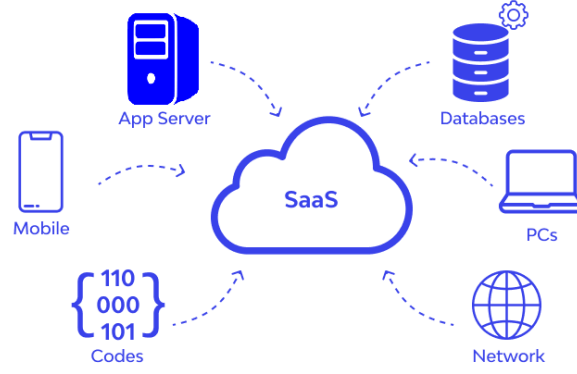


Fig. 1.9: सॉफ्टवेअर अॅज अ सर्व्हिस (Software as a Service - SaaS)

### फायदे (Advantages)

1. कमी खर्च आणि कोणतीही सुरुवातीची गुंतवणूक नाही (Reduced Costs and No Upfront Investment)
2. सोपे आणि त्वरित अॅक्सेस (Easy and Instant Access)

### तोटे (Disadvantages)

1. नियंत्रणाचा अभाव (Lack of Control)
2. सुरक्षिततेची चिंता (Security Concerns)

### 1.4 क्लाउडचे आर्थिक फायदे (Cloud cost benefits)

1. **सुरुवातीच्या भांडवली खर्चात बचत (Reduced Upfront Capital Expenditure - CapEx):** क्लाउडमध्ये सर्व्हर, स्टोरेज, नेटवर्किंग हार्डवेअर किंवा सॉफ्टवेअर परवाने यांसारखी महागडी उपकरणे खरेदी करण्याची आणि स्थापित करण्याची गरज नसते. हा मोठा सुरुवातीचा खर्च वाचतो. व्यवसाय हे पैसे इतर महत्वाच्या कामांसाठी किंवा नवीन उपकरणांसाठी वापरू शकतात.
2. **ऑपरेशनल खर्चात बदल (Shift from CapEx to OpEx):** तुम्ही हार्डवेअरमध्ये गुंतवणूक करण्याऐवजी, क्लाउड सेवांसाठी वापरानुसार (pay-as-you-go) पैसे देता. यामुळे खर्च कॅपिटल एक्सपेंडिचरमधून ऑपरेशनल एक्सपेंडिचरमध्ये (OpEx) बदलतो, ज्यामुळे बजेटचे व्यवस्थापन सोपे होते. तुम्ही फक्त वापरलेल्या संसाधनांसाठी (उदा. CPU, स्टोरेज, बँडविड्थ) पैसे देता.
3. **कमी देखभाल खर्च (Lower Maintenance Costs):** क्लाउड प्रदाता सर्व हार्डवेअर, नेटवर्किंग आणि बहुतांश सॉफ्टवेअरची देखभाल, अपग्रेडेशन आणि पॅचिंगची जबाबदारी घेतो. यामुळे तुम्हाला आयटी कर्मचाऱ्यांच्या पगारावर, डेटा सेंटरची जागा आणि वीज यावर खर्च करावा लागत नाही, ज्यामुळे एकूण देखभाल खर्च लक्षणीयरीत्या कमी होतो.
4. **स्केलेबिलिटीमुळे कार्यक्षम खर्च (Cost Efficiency due to Scalability):** तुमच्या व्यवसायाच्या गरजेनुसार तुम्ही संसाधने (सर्व्हर, स्टोरेज) तात्काळ वाढवू (scale up) किंवा कमी करू (scale down) शकता. पारंपरिक सेटअपमध्ये, तुम्हाला भविष्यातील सर्वात जास्त मागणीचा अंदाज घेऊन अतिरिक्त हार्डवेअर खरेदी करावे लागते, जे अनेकदा निष्क्रिय (idle) पडून राहते. क्लाउडमध्ये, तुम्ही फक्त आवश्यकतेनुसार पैसे देता, ज्यामुळे संसाधनांचा अपव्यय टाळता येतो.
5. **ऊर्जेची बचत (Energy Savings):** तुम्हाला तुमचे स्वतःचे सर्व्हर आणि कूलिंग सिस्टिम्स चालवाव्या लागत नाहीत, ज्यामुळे वीज बिलात मोठी बचत होते. क्लाउड प्रदाते मोठ्या प्रमाणावर ऊर्जा खरेदी करतात आणि कार्यक्षम डेटा सेंटर वापरतात, ज्यामुळे प्रत्येकासाठी खर्च कमी होतो.
6. **डिजास्टर रिकव्हरीचा कमी खर्च (Reduced Disaster Recovery Costs):** पारंपरिकपणे, आपत्कालीन पुनर्प्राप्ती (Disaster Recovery - DR) सिस्टिम्स उभारणे आणि त्यांची देखभाल करणे खूप खर्चिक असते, कारण त्यासाठी डुप्लिकेट इन्फ्रास्ट्रक्चर लागते. क्लाउड प्रदाते परवडणाऱ्या दरात मजबूत DR सोल्यूशन्स देतात, ज्यामुळे तुमचा डेटा आणि ॲप्लिकेशन्स सुरक्षित राहतात आणि कमी खर्चात आपत्कालीन परिस्थितीत परत मिळवता येतात.
7. **जलद बाजारपेठेत प्रवेश (Faster Time to Market):** इन्फ्रास्ट्रक्चर तयार करण्यासाठी लागणारा वेळ कमी झाल्यामुळे, तुम्ही नवीन ॲप्लिकेशन्स आणि सेवा जलद गतीने बाजारात आणू शकता. यामुळे लवकर महसूल मिळवण्यास आणि प्रतिस्पर्धावर आघाडी मिळवण्यास मदत होते.

## 1.5 क्लाउड कंप्युटिंगचे आर्किटेक्चरल आणि इन्फ्रास्ट्रक्चरल घटक (Architectural and Infrastructural components of Cloud Computing)

क्लाउड कंप्युटिंग आर्किटेक्चर हे क्लाउड कंप्युटिंग सेवेसाठी आवश्यक असलेल्या घटकांचे संयोजन आहे. यात फ्रंटएंड प्लॅटफॉर्म (frontend platform) आणि बॅकएंड प्लॅटफॉर्म (backend platform) सारखे अनेक घटक असतात.

### फ्रंटएंड (Frontend):

फ्रंटएंड म्हणजे वापरकर्त्यांच्या बाजूने वापरला जाणारा जीयूआय (Graphical User Interface). यात क्लाउड कंप्युटिंग सिस्टिमचा क्लायंट भाग असतो. यात क्लाउड कंप्युटिंग किंवा क्लाउड प्रोग्रामिंग प्लॅटफॉर्म अॅक्सेस करण्यासाठी आवश्यक असलेले इंटरफेस आणि ॲप्लिकेशन्सचा समावेश होतो. फ्रंटएंडमध्ये वेब सर्व्हर्स (उदा. क्रोम, फायरफॉक्स, ऑपेरा), क्लायंट्स आणि मोबाईल डिव्हाइसेस यांचा समावेश असतो.

### बॅकएंड (Backend):

बॅकएंड म्हणजे क्लाउड स्वतः जे क्लाउड कंप्युटिंग सेवांसाठी आवश्यक संसाधने पुरवते. यात व्हर्च्युअल मशीन्स (virtual machines), सर्व्हर्स, डेटा स्टोरेज, सुरक्षा यंत्रणा (security mechanisms) आणि ट्रॅफिक कंट्रोल यंत्रणा (traffic control mechanisms) यांचा समावेश असतो. बॅकएंड प्रदात्याच्या नियंत्रणाखाली (provider's control) असते.

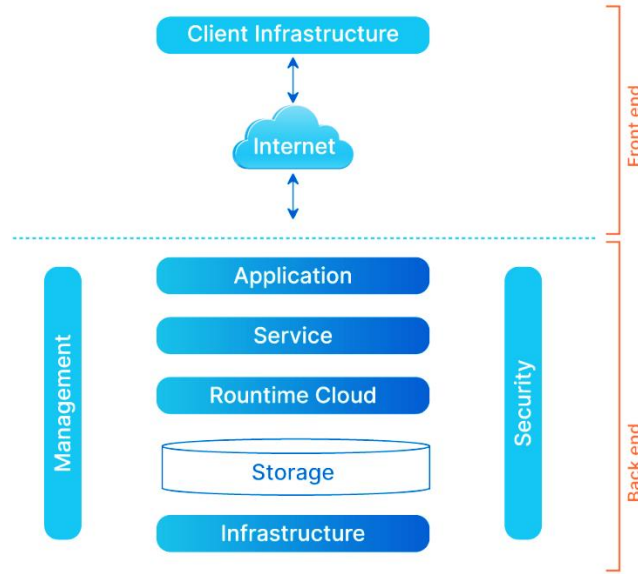


Fig. 1.10: क्लाउड कंप्युटिंगचे आर्किटेक्चरल आणि इन्फ्रास्ट्रक्चरल घटक (Architectural and Infrastructural components of Cloud Computing)

### आर्किटेक्चरल घटक (Architectural Components):

- क्लायंट इन्फ्रास्ट्रक्चर (Client Infrastructure):** हे घटक वापरकर्त्यांना क्लाउड सेवा अॅक्सेस करण्यासाठी आवश्यक असलेले हार्डवेअर आणि सॉफ्टवेअर दर्शवतात. उदाहरण: मोबाईल फोन, टॅब्लेट, लॅपटॉप, डेस्कटॉप आणि वेब ब्राउझर्स जे क्लाउड सेवांशी संवाद साधतात.
- ॲप्लिकेशन (Applications):** हे सॉफ्टवेअर ॲप्लिकेशन्स आहेत जे क्लाउडवर चालतात आणि वापरकर्त्यांना सेवा देतात (उदा. Gmail, Salesforce). हे ॲप्लिकेशन्स क्लाउडच्या पायाभूत सुविधांवर (Infrastructure) होस्ट केलेले असतात.
- प्लॅटफॉर्म (Platform):** हा स्तर ॲप्लिकेशन्स विकसित करण्यासाठी, तैनात करण्यासाठी आणि व्यवस्थापित करण्यासाठी आवश्यक असलेले ऑपरेटिंग सिस्टिम्स, प्रोग्रामिंग लॅंग्वेज एन्व्हायरनमेंट्स, डेटाबेस आणि वेब सर्व्हर्स यांसारखी साधने आणि सेवा पुरवतो. उदाहरण: PaaS सेवा जसे की Google App Engine, AWS Elastic Beanstalk.
- इन्फ्रास्ट्रक्चर (Infrastructure):** हा क्लाउड आर्किटेक्चरचा सर्वात खालचा स्तर आहे जो मूलभूत संगणकीय संसाधने (computing resources) प्रदान करतो. यात व्हर्च्युअल मशीन्स (Virtual Machines - VMs), सर्व्हर्स,

स्टोरेज, नेटवर्किंग आणि व्हर्च्युअलायझेशन सॉफ्टवेअर यांचा समावेश असतो. उदाहरण: IaaS सेवा जसे की AWS EC2, Azure Virtual Machines.

5. **सुरक्षितता (Security) स्तर:** हे सर्व स्तरांवर देखरेख, नियंत्रण, संसाधनांचे वाटप आणि सुरक्षा धोरणांची अंमलबजावणी करतात. यात मॉनिटरिंग टूल्स, अॅक्सेस कंट्रोल सिस्टिम्स, बिलिंग मॅनेजमेंट आणि सुरक्षा ऑडिटिंगचा समावेश असतो.

### इन्फ्रास्ट्रक्चरल घटक (Infrastructural Components):

1. **डेटा सेंटर्स (Data Centers):** हे क्लाउड कंप्युटिंगचा भौतिक आधार आहेत. हे मोठ्या सुविधा आहेत जिथे हजारो सर्व्हर, स्टोरेज डिव्हाइसेस, नेटवर्किंग उपकरणे आणि संबंधित पायाभूत सुविधा (वीजपुरवठा, कूलिंग) साठवलेल्या असतात. क्लाउड प्रदात्यांची जगभरात अनेक डेटा सेंटर्स असतात.
2. **सर्वर्स (Servers):** डेटा सेंटरमधील भौतिक सर्वर्स हे क्लाउड कंप्युटिंगचे मूलभूत बिल्लिंग ब्लॉक्स आहेत. हे सर्वर्स व्हर्च्युअलायझेशन तंत्रज्ञानाचा वापर करून अनेक व्हर्च्युअल मशीनमध्ये (VMs) विभागले जातात, जे अनेक वापरकर्त्यांना सेवा देतात.
3. **स्टोरेज (Storage):** क्लाउडमध्ये विविध प्रकारच्या स्टोरेज सेवा उपलब्ध असतात:
  1. **ब्लॉक स्टोरेज (Block Storage):** व्हर्च्युअल मशीनला डिस्क जोडण्यासाठी वापरले जाते.
  2. **फाइल स्टोरेज (File Storage):** नेटवर्कवर फाइल्स सामायिक करण्यासाठी.
  3. **ऑब्जेक्ट स्टोरेज (Object Storage):** मोठ्या प्रमाणावर अनस्ट्रक्चर्ड डेटा (उदा. प्रतिमा, व्हिडिओ) साठवण्यासाठी. डेटाची सुरक्षितता आणि उपलब्धता सुनिश्चित करण्यासाठी डेटा अनेक ठिकाणी रेप्लिकेट केला जातो.
4. **नेटवर्किंग (Networking):** क्लाउड इन्फ्रास्ट्रक्चरमध्ये मजबूत आणि उच्च-कार्यक्षम नेटवर्क खूप महत्त्वाचे असते. यात समाविष्ट आहे:
  1. **राउटर्स आणि स्विचेस (Routers and Switches):** डेटा प्रवाहित करण्यासाठी.
  2. **फायरवॉल (Firewalls):** सुरक्षिततेसाठी.
  3. **लोड बॅलन्सर्स (Load Balancers):** येणारा ट्रॅफिक अनेक सर्वर्समध्ये वाटप करण्यासाठी, ज्यामुळे ॲप्लिकेशनची कार्यक्षमता वाढते आणि जास्त भार सहन करता येतो.
  4. **व्हर्च्युअल नेटवर्क्स (Virtual Networks):** वापरकर्त्यांना त्यांच्या स्वतःच्या पृथक (Isolated) नेटवर्क वातावरणाची निर्मिती करण्याची परवानगी देतात.
5. **व्हर्च्युअलायझेशन (Virtualization):** हा क्लाउडचा एक आधारभूत स्तंभ आहे. व्हर्च्युअलायझेशन सॉफ्टवेअर (हायपरवायझर - Hypervisor) भौतिक हार्डवेअरला अनेक व्हर्च्युअल मशीनमध्ये विभागते, ज्यामुळे संसाधनांचा प्रभावीपणे वापर होतो आणि एकाच भौतिक सर्व्हरवर अनेक ॲप्लिकेशन्स स्वतंत्रपणे चालवता येतात.
6. **ऑटोमेशन आणि ऑर्केस्ट्रेशन टूल्स (Automation and Orchestration Tools):** क्लाउड संसाधनांची तरतूद (Provisioning), व्यवस्थापन आणि स्केलिंग स्वयंचलित (Automate) करण्यासाठी ही साधने वापरली जातात. यामुळे मानवी हस्तक्षेप कमी होतो आणि कार्यक्षमता वाढते.

### References:

1. Cloud Computing, Principals and Paradigms by Rajkumar Buyya, James Broberg, Andrzej Goscinski A John Willy & Sons, Inc., Publication, ISBN: 978-0-470-88799-8
2. Cloud Computing by Sharma Rishabh Wiley Publication, ISBN: 978-81-265-5306-8
3. Mastering Cloud Computing by Christian Vecchiola, Rajkumar Buyya, and S.Thamarai Selvi, McGraw Hill Publication, ISBN 978-1-25-902995-0
4. Cloud Computing by Singh Shailendra, Oxford University Press, ISBN: 978-0199477388
5. Cloud Computing: A Hands-On Approach by Arshdeep Bahga, Vijay Madiseti, Self published, ISBN 1494435144, 9781494435141

**Websites:**

- <https://www.geeksforgeeks.org/>
- <https://www.tutorialspoint.com/>
- <https://techsparks.co.in/>

**E-learning material (Video lectures)**

- <https://www.youtube.com/watch?v=Esjx-hKyMRk>
- <https://www.youtube.com/watch?v=iRTedLvJgEk>

## युनिट-2

### व्हर्चुअलायझेशन (Virtualization)

#### विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

CO2: क्लाउड कंप्युटिंगमधील व्हर्चुअलायझेशन स्पष्ट करा.

#### घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcome-TLO):

1. व्हर्चुअलायझेशनची प्रमुख वैशिष्ट्ये स्पष्ट करा.
2. क्लाउड कंप्युटिंगमध्ये व्हर्चुअलायझेशनचे अनेक प्रकार आणि त्यांची वैशिष्ट्ये स्पष्ट करा.
3. व्हर्चुअल मशीन (Virtual Machine - VM) तयार करण्यासाठी VMware वापरण्याचे टप्पे स्पष्ट करा.
4. व्हर्चुअल मशीन मायग्रेसन, कन्सोलिडेशन आणि मॅनेजमेंट फरक स्पष्ट करा.
5. व्हर्चुअलायझेशनचे फायदे आणि तोटे स्पष्ट करा.

#### 2.1 व्हर्चुअलायझेशनचा परिचय (Introduction)

क्लाउड कंप्युटिंगमध्ये व्हर्चुअलायझेशन म्हणजे सर्व्हर, ऑपरेटिंग सिस्टीम आणि स्टोरेज उपकरणांचे व्हर्चुअल (आभासी) प्लॅटफॉर्म तयार करणे. हे व्हर्चुअलायझेशन वापरकर्त्यांना एकाच वेळी अनेक मशीन्स उपलब्ध करून देण्यास मदत करेल. यामुळे भौतिक संसाधने आणि ॲप्लिकेशन्स अनेक वापरकर्त्यांसोबत शेअर करता येतात. व्हर्चुअलायझेशनचे एक महत्त्वाचे वैशिष्ट्य म्हणजे ते ॲप्लिकेशन्स अनेक ग्राहक आणि कंपन्यांना शेअर करण्याची सुविधा देते.

#### 2.1.2 व्हर्चुअलायझेशन रेफरन्स मॉडेल (Virtualization Reference Model)

जेव्हा एक्झिक्यूशन एन्व्हायर्नमेंटला (execution environment) कंप्युटेशन स्टॅकच्या (stack of computation) वेगवेगळ्या स्तरांवर व्हर्चुअलायझ केले जाते, तेव्हा त्याला एका संदर्भ मॉडेलची (reference model) आवश्यकता असते. हे संदर्भ मॉडेल ॲबस्ट्रॅक्शनच्या (abstraction) स्तरांमधील इंटरफेस परिभाषित करते. ॲबस्ट्रॅक्शनचा हा स्तर अंमलबजावणीचे (implementations) तपशील लपवतो. व्हर्चुअलायझेशन तंत्रज्ञान कोणताही एक स्तर बदलू शकते आणि त्या स्तराकडे निर्देशित केलेले कॉल्स (calls) इंटरसेप्ट (intercept) करू शकते. म्हणूनच, स्तरांमध्ये स्पष्ट विभाजन त्यांची अंमलबजावणी सोपी करू शकते, ज्याला केवळ इंटरफेसचे इम्युलेशन (emulation) आणि अंतर्निहित स्तरासह योग्य प्रतिसादाची आवश्यकता असते. बेस लेयरवर, हार्डवेअरसाठीचे मॉडेल घोषित केले जाते.

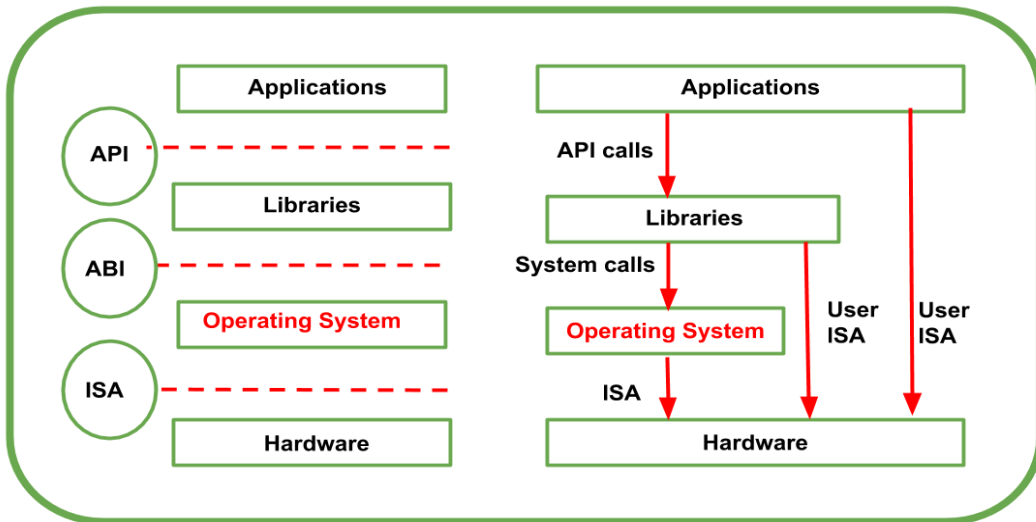


Fig. 2.1 व्हर्चुअलायझेशन रेफरन्स मॉडेल (Virtualization Reference Model)

1. **भौतिक हार्डवेअर स्तर (Physical Hardware Layer)** हा व्हर्चुअलायझेशन आर्किटेक्चरचा सर्वात खालचा स्तर आहे. यात प्रत्यक्ष भौतिक सर्व्हर (physical servers), प्रोसेसर (CPUs), मेमरी (RAM), स्टोरेज डिव्हाइसेस (storage devices) आणि नेटवर्क इन्फ्रास्ट्रक्चर (network infrastructure) यांचा समावेश असतो.
2. **हायपरवायझर स्तर (Hypervisor Layer)** हा व्हर्चुअलायझेशनचा सर्वात महत्त्वाचा स्तर आहे.
3. **व्हर्चुअल मशीन (VM) स्तर** हा स्तर हायपरवायझरने तयार केलेल्या वैयक्तिक व्हर्चुअल मशीनचा (VMs) बनलेला असतो.
4. **व्यवस्थापन स्तर (Management Layer)** हा स्तर व्हर्चुअलायझ्ड इन्फ्रास्ट्रक्चरचे व्यवस्थापन, नियंत्रण आणि देखरेख करण्यासाठी वापरला जातो.
5. **सेवा वितरण स्तर (Service Delivery Layer)** या स्तरामध्ये, व्हर्चुअलायझ्ड संसाधने वापरकर्त्यांना विविध सेवा मॉडेल्स (उदा. IaaS - Infrastructure as a Service, PaaS - Platform as a Service, SaaS - Software as a Service) द्वारे वितरित केली जातात.

### 2.1.3 व्हर्चुअलायझ्ड वातावरणाची प्रमुख वैशिष्ट्ये (Characteristics of virtualized environment)

1. **सुरक्षितता (Enhanced Security):** आयसोलेशनमुळे एका VM मधील सुरक्षा भंगामुळे (security breach) दुसऱ्या VMs वर किंवा होस्ट सिस्टमवर थेट परिणाम होण्याची शक्यता कमी होते.
2. **संसाधनांचे एकत्रीकरण (Resource Pooling):** यामध्ये अनेक भौतिक सर्व्हरवरील संसाधने (CPU, RAM, स्टोरेज, नेटवर्क) एकत्र करून एक मोठा 'संसाधन पूल' तयार केला जातो.
3. **आयसोलेशन (Isolation):** प्रत्येक व्हर्चुअल मशीन (VM) ही इतर VMs पासून पूर्णपणे स्वतंत्र असते. एका VM मध्ये काही समस्या आल्यास, त्याचा परिणाम दुसऱ्या VM वर किंवा संपूर्ण होस्ट सिस्टमवर होत नाही. यामुळे सिस्टिमची स्थिरता आणि सुरक्षितता वाढते.
4. **एन्कॅप्सुलेशन (Encapsulation):** व्हर्चुअल मशीनची संपूर्ण स्थिती (ऑपरेटिंग सिस्टिम, ॲप्लिकेशन्स, कॉन्फिगरेशन आणि डेटा) एका किंवा अधिक फाइल्समध्ये साठवली जाते. या फाइल्सची कॉपी करणे, हलवणे, बॅकअप घेणे किंवा पुनर्संचयित करणे खूप सोपे असते. यामुळे VM चे व्यवस्थापन सुलभ होते.
5. **हार्डवेअरपासून स्वातंत्र्य (Hardware Independence / Decoupling):** व्हर्चुअल मशीन प्रत्यक्ष भौतिक हार्डवेअरशी थेट जोडलेली नसते, तर ती हायपरवायझरवर चालते. यामुळे एका VM ला एका भौतिक सर्व्हरवरून दुसऱ्यावर सहजपणे हलवता येते, जरी त्या सर्व्हरचे हार्डवेअर थोडे वेगळे असले तरीही. यामुळे पोर्टेबिलिटी (Portability) वाढते.
6. **जलद लवचिकता (Rapid Elasticity):** व्हर्चुअलायझ्ड वातावरणात संसाधनांची मागणी वाढल्यास (उदा. जास्त वापरकर्ते आल्यास), व्हर्चुअल मशीनला तात्काळ अधिक CPU, RAM किंवा स्टोरेज वाटप करता येते. गरज कमी झाल्यास, ही संसाधने परत घेऊन दुसऱ्या VM ला दिली जाऊ शकतात. यामुळे मागणीनुसार संसाधने वाढवणे किंवा कमी करणे सोपे होते.
7. **मापन केलेली सेवा (Measured Service):** व्हर्चुअलायझ्ड वातावरणात प्रत्येक व्हर्चुअल मशीनद्वारे वापरल्या जाणाऱ्या संसाधनांचे (उदा. CPU वेळ, मेमरी वापर, स्टोरेज) अचूकपणे निरीक्षण केले जाते आणि मोजले जाते.
8. **उच्च उपलब्धता (High Availability):** एखादा भौतिक होस्ट सर्व्हर बिघडल्यास, व्हर्चुअलायझ्ड वातावरण स्वयंचलितपणे त्यावरील व्हर्चुअल मशीनना दुसऱ्या निरोगी होस्टवर हलवू शकते. यामुळे ॲप्लिकेशन्स आणि सेवांची उपलब्धता वाढते आणि व्यवसायातील व्यत्यय कमी होतो.

### 2.2 व्हर्चुअलायझेशनचे विविध प्रकारांमधील फरक (Differentiate various types of Virtualization)

1. **नेटवर्क व्हर्चुअलायझेशन (Network Virtualization):** यात नेटवर्क संसाधने (उदा. स्विच, राउटर, फायरवॉल) एकत्र करून एक व्हर्चुअल नेटवर्क तयार केले जाते. यामुळे नेटवर्कचे व्यवस्थापन सोपे होते, लवचिकता वाढते आणि सुरक्षा सुधारते. (उदा. SDN - Software-Defined Networking, NFV - Network Functions Virtualization).
2. **डेस्कटॉप व्हर्चुअलायझेशन (Desktop Virtualization):** वापरकर्त्यांसाठी व्हर्चुअल डेस्कटॉप वातावरण तयार केले जाते, जे केंद्रीय सर्व्हरवर होस्ट केले जाते. वापरकर्ते कोणत्याही डिव्हाइसवरून (उदा. लॅपटॉप, टॅबलेट) दूरस्थपणे (remotely) या व्हर्चुअल डेस्कटॉपमध्ये प्रवेश करू शकतात. (उदा. VDI - Virtual Desktop Infrastructure).

3. **स्टोरेज व्हर्चुअलायझेशन (Storage Virtualization):** यात अनेक भौतिक स्टोरेज डिव्हाइसेस एकत्र करून एकच व्हर्चुअल स्टोरेज पूल तयार केला जातो. यामुळे स्टोरेजचे व्यवस्थापन सोपे होते आणि त्याचा वापर अधिक कार्यक्षम होतो.

4. **ॲप्लिकेशन व्हर्चुअलायझेशन (Application Virtualization):** ॲप्लिकेशन्सला ऑपरेटिंग सिस्टिमपासून वेगळे केले जाते आणि ती एका स्वतंत्र व्हर्चुअल वातावरणात चालवली जातात. यामुळे ॲप्लिकेशन इन्स्टॉल न करताही वापरता येतात आणि कंपॅटिबिलिटीच्या समस्या कमी होतात.

5. **सर्व्हर व्हर्चुअलायझेशन (Server Virtualization):** यात एक भौतिक सर्व्हर अनेक व्हर्चुअल सर्व्हरमध्ये विभागला जातो. हा व्हर्चुअलायझेशनचा सर्वात सामान्य प्रकार आहे, जो संसाधनांचा वापर वाढवण्यासाठी आणि खर्च कमी करण्यासाठी वापरला जातो. (प्रकार 1 आणि प्रकार 2 हायपरवायझर्स यामध्ये वापरले जातात).

## 2.3 व्हर्चुअलायझेशन तंत्रज्ञानाची उदाहरणे (Technology Examples)

### 2.3.1 VMware चे पूर्ण व्हर्चुअलायझेशन मॉडेल (VMware: Full Virtualization Reference Model)

पूर्ण व्हर्चुअलायझेशनमध्ये, प्राथमिक हार्डवेअरची प्रतिकृती (replicated) तयार केली जाते आणि ते गेस्ट ऑपरेटिंग सिस्टिमला उपलब्ध करून दिले जाते. गेस्ट ऑपरेटिंग सिस्टिमला या ॲबस्ट्रॅक्शनबद्दल (abstraction) काहीही माहिती नसते आणि त्यात कोणताही बदल करण्याची आवश्यकता नसते. VMware चे तंत्रज्ञान पूर्ण व्हर्चुअलायझेशनच्या (Full Virtualization) मुख्य संकल्पनेवर आधारित आहे.

**हायपरवायझर (Hypervisor):** VMware च्या तंत्रज्ञानाच्या केंद्रस्थानी हायपरवायझर नावाचा एक स्तर आहे. तुम्ही याचा विचार एका व्यवस्थापकासारखा करू शकता जो कॉम्प्युटरच्या संसाधनांवर नियंत्रण ठेवतो.

**व्हर्चुअल मशीन्स (VMs):** प्रत्येक ऑपरेटिंग सिस्टिम तिच्या स्वतःच्या व्हर्चुअल मशीनमध्ये चालते. तुम्ही विंडोज, लिनक्स आणि इतर सिस्टिम्स एकाच भौतिक कॉम्प्युटरवर एकमेकांमध्ये कोणताही व्यत्यय न आणता चालवू शकता.

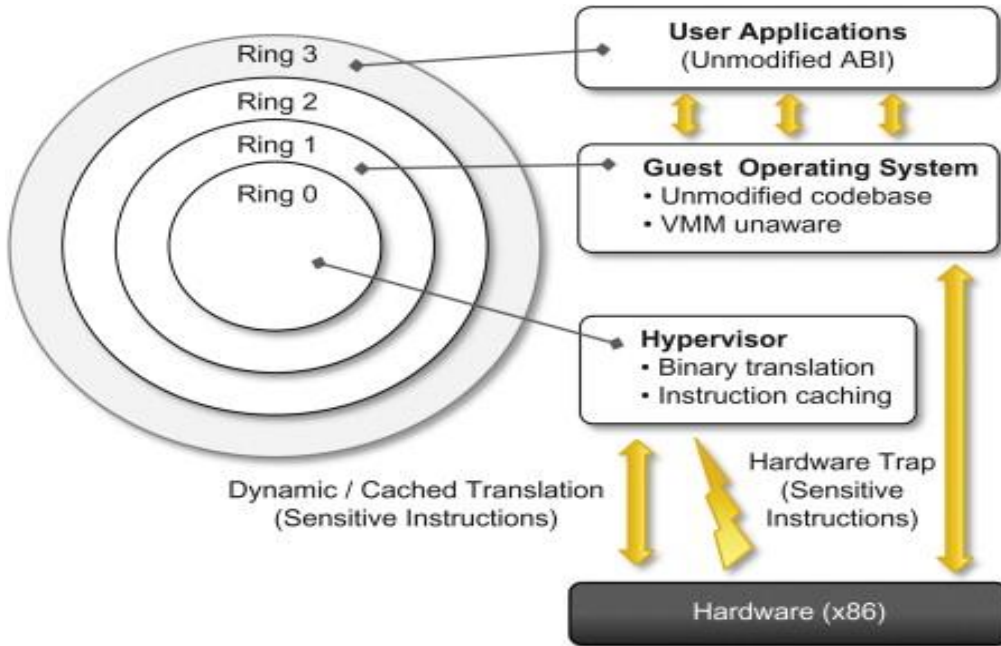


Fig. 2.2: VMware: Full Virtualization Reference Model

1. **भौतिक हार्डवेअर स्तर (Physical Hardware Layer):** हा सर्वात खालचा स्तर आहे, जिथे वास्तविक हार्डवेअर संसाधने जसे की CPU, RAM, स्टोरेज, नेटवर्क इंटरफेस कार्ड्स (NICs) आणि I/O उपकरणे (devices) असतात.

2. **VMware ESXi हायपरवायझर स्तर (VMware ESXi Hypervisor Layer):** हा VMware च्या पूर्ण व्हर्चुअलायझेशन मॉडेलचा केंद्रबिंदू आहे.

3. **व्हर्चुअल मशीन स्तर (Virtual Machine Layer):** प्रत्येक व्हर्चुअल मशीन हे एक स्वतंत्र आणि पूर्णपणे कार्यान्वित कॉम्प्युटरसारखे असते, जे ESXi हायपरवायझरवर चालते.

4. **व्हर्चुअलायझेशन व्यवस्थापन स्तर** (Virtualization Management Layer - VMware vCenter Server): VMware च्या इकोसिस्टिममध्ये, VMware vCenter Server हे या स्तरावरील मुख्य व्यवस्थापन साधन आहे.
5. **सेवा / ॲप्लिकेशन स्तर** (Service / Application Layer): हा मॉडेलचा सर्वात वरचा स्तर आहे, जिथे वास्तविक ॲप्लिकेशन्स आणि सेवा अंतिम वापरकर्त्यांना प्रदान केल्या जातात.

**VMware मध्ये, व्हर्चुअल मशीन (VM) सूचना कशा हाताळते हे दोन मुख्य पद्धतींनी स्पष्ट केले जाते:**

1. **डायरेक्ट एक्झिक्यूशन** (Direct Execution): अनेक सोप्या सूचनांसाठी, व्हर्चुअल मशीन त्या थेट हार्डवेअरवर चालवते. ही पद्धत अत्यंत कार्यक्षम आणि वेगवान असते, कारण यामध्ये मध्यस्थीचा (intermediate) फारसा अडथळा नसतो. ज्या सूचना सुरक्षितपणे आणि थेटपणे हार्डवेअरवर चालवता येतात, त्या या श्रेणीत येतात.
2. **बाइनरी ट्रान्सलेशन** (Binary Translation): अधिक जटिल किंवा संवेदनशील सूचनांसाठी (ज्या प्रणालीची स्थिरता किंवा सुरक्षितता प्रभावित करू शकतात), VMware या सूचनांना हार्डवेअर समजू शकेल अशा स्वरूपात भाषांतरित (translate) करते. हे भाषांतर 'रनटाइम'मध्ये (runtime) होते, म्हणजेच जेव्हा प्रोग्राम चालू असतो तेव्हा हे प्रक्रिया घडते. संवेदनशील सूचना थेट हार्डवेअरवर चालवण्याऐवजी त्यांचे भाषांतर करून, VMware प्रणालीची सुरक्षितता आणि स्थिरता राखते.

### 2.3.2 झेन आर्किटेक्चर (Xen Architecture):

झेन (Xen) हा पराव्हर्चुअलायझेशनवर (Paravirtualization) आधारित एक मुक्त-स्रोत (open-source) हायपरवायझर आहे. पराव्हर्चुअलायझेशनचा हा सर्वात लोकप्रिय वापर आहे. हार्डवेअर-असिस्टेड व्हर्चुअलायझेशनचा (Hardware-assisted Virtualization) वापर करून, झेनची क्षमता पूर्ण व्हर्चुअलायझेशनशी (Full Virtualization) सुसंगत होण्यासाठी वाढवण्यात आली आहे.

एक विशिष्ट कंट्रोल सॉफ्टवेअर, ज्याला होस्टवर विशेषाधिकार असलेला प्रवेश (privileged access) असतो आणि ते इतर सर्व गेस्ट OS (ॲप्लिकेशन सिस्टिम) हाताळते, ते डोमेन 0 (Domain 0) नावाच्या विशेष डोमेनमध्ये चालते. व्हर्चुअल मशीन मॅनेजर (VMM) पूर्णपणे बूट झाल्यानंतर लोड होणारा हा एकमेव डोमेन आहे. हा डोमेन एक HTTP सर्व्हर होस्ट करतो जो व्हर्चुअल मशीन तयार करणे, कॉन्फिगर करणे आणि समाप्त करण्याच्या विनंत्या हाताळतो. हा घटक शेअर केलेल्या व्हर्चुअल मशीन मॅनेजरची (VMM) प्राथमिक आवृत्ती स्थापित करतो, जो क्लाउड कंप्युटिंग प्रणालीमध्ये इन्फ्रास्ट्रक्चर-एज-ए-सर्व्हिस (IaaS) सोल्युशन देण्यासाठी एक आवश्यक भाग आहे.

रिंग 0 (Ring 0) हा सर्वाधिक विशेषाधिकार असलेला स्तर दर्शवतो आणि रिंग 3 (Ring 3) हा सर्वात कमी विशेषाधिकार असलेला स्तर दर्शवतो. OS/2 वगळता, जवळजवळ सर्व वारंवार वापरल्या जाणाऱ्या ॲप्लिकेशन सिस्टिम्स केवळ दोन स्तरांचा वापर करतात: कर्नेल कोडसाठी रिंग 0 आणि वापरकर्ता ॲप्लिकेशन तसेच नॉन-प्रिव्हिलेज OS प्रोग्रामसाठी रिंग 3. यामुळे झेनला पराव्हर्चुअलायझेशन लागू करण्याची संधी मिळते. हे झेनला ॲप्लिकेशन बायनरी इंटरफेस (ABI) मध्ये कोणताही बदल न करता नियंत्रण ठेवण्यास सक्षम करते, ज्यामुळे ॲप्लिकेशनच्या दृष्टीकोनातून झेन-व्हर्चुअलायझ्ड सोल्युशन्सकडे सहजपणे स्थलांतर (shift) करता येते.

### झेन आर्किटेक्चरचे फायदे:

1. **लहान आणि सुरक्षित हायपरवायझर** (Small and Secure Hypervisor): बहुतांश हार्डवेअर ड्रायव्हर्स Dom0 मध्ये असल्याने, हायपरवायझरचा आकार लहान राहतो, ज्यामुळे त्याची सुरक्षितता वाढते.
2. **उच्च कार्यक्षमता** (High Performance): पराव्हर्चुअलायझेशनमुळे आणि थेट हार्डवेअरशी संवाद साधल्यामुळे उत्कृष्ट कार्यक्षमता मिळते.
3. **लवचिकता** (Flexibility): पराव्हर्चुअलायझेशन आणि पूर्ण व्हर्चुअलायझेशन दोन्हीला समर्थन देते, ज्यामुळे विविध प्रकारच्या गेस्ट OS चालवता येतात.
4. **मुक्त-स्रोत** (Open-Source): हे मुक्त-स्रोत असल्याने, त्याचा विकास समुदाय-आधारित आहे आणि त्याचा वापर विनामूल्य करता येतो.

थोडक्यात, झेन आर्किटेक्चर हे एक शक्तिशाली टाईप-1 हायपरवायझर आहे जे Dom0 च्या माध्यमातून कार्यक्षम व्यवस्थापन प्रदान करते आणि पराव्हर्चुअलायझेशन तसेच पूर्ण व्हर्चुअलायझेशन दोन्हीला समर्थन देऊन उच्च कार्यक्षमतेसह व्हर्चुअल वातावरण तयार करते.

## 2.4 व्हर्चुअल मशीन (Virtual Machine - VM) व्याख्या, जीवनकाळ, व्हर्चुअल मशीन मायग्रेसन (Definition and Life Cycle of Virtual Machine(VM), VM Migration):

**2.4.1 व्हर्चुअल मशीन व्याख्या (Virtual Machine - VM):** व्हर्चुअल मशीन (VM) म्हणजे एक आभासी (व्हर्चुअल) संगणकीय प्रणाली जी एखाद्या भौतिक (फिजिकल) कॉम्प्युटरमध्ये (ज्याला 'होस्ट मशीन' म्हणतात) सॉफ्टवेअरद्वारे तयार केली जाते. ही व्हर्चुअल मशीन प्रत्यक्षात हार्डवेअर नसले तरी, ती एका स्वतंत्र आणि पूर्ण कॉम्प्युटरसारखी कार्य करते. यात स्वतःचा व्हर्चुअल CPU, व्हर्चुअल मेमरी, व्हर्चुअल हार्ड डिस्क आणि व्हर्चुअल नेटवर्क इंटरफेस असतो. प्रत्येक व्हर्चुअल मशीनवर स्वतःची ऑपरेटिंग सिस्टिम (उदा. विंडोज, लिनक्स) आणि ॲप्लिकेशन्स चालवता येतात, जसे की ती एका स्वतंत्र भौतिक कॉम्प्युटरवर चालत आहेत.

### 2.4.2 व्हर्चुअल मशीन (VM) चा जीवनकाळ (Life Cycle):

1. **नियोजन आणि आवश्यकता विश्लेषण (Planning & Requirement Analysis):** या टप्प्यात, VM ची गरज (उदा. कोणता ॲप्लिकेशन चालवायचा आहे?), आवश्यक संसाधने (CPU, RAM, स्टोरेज, नेटवर्क), ऑपरेटिंग सिस्टिम आणि सुरक्षेच्या गरजा निश्चित केल्या जातात.
2. **प्रोव्हिजनिंग / निर्मिती (Provisioning / Creation):** या टप्प्यात, हायपरवायझर (उदा. VMware ESXi, Hyper-V) वापरून एक नवीन व्हर्चुअल मशीन तयार केली जाते.
3. **ऑपरेटिंग सिस्टिम इन्स्टॉलेशन आणि कॉन्फिगरेशन (OS Installation & Configuration):** VM तयार झाल्यावर, त्यात गेस्ट ऑपरेटिंग सिस्टिम (उदा. विंडोज, लिनक्स) इन्स्टॉल केली जाते. यानंतर, आवश्यक सॉफ्टवेअर, ॲप्लिकेशन्स आणि सुरक्षा पॅचेस (patches) इन्स्टॉल करून कॉन्फिगर केले जातात.
4. **ऑपरेशनल / कार्यान्वित अवस्था (Operational State):** ही VM ची सामान्य कार्यरत अवस्था असते. या टप्प्यात VM चालू असते आणि वापरकर्ते किंवा ॲप्लिकेशन्स तिचा वापर करत असतात.
5. **बॅकअप आणि स्नॅपशॉट्स (Backup & Snapshots):** डेटा सुरक्षित ठेवण्यासाठी आणि आपत्कालीन परिस्थितीत पुनर्प्राप्तीसाठी (disaster recovery), VM चा नियमित बॅकअप घेतला जातो.
6. **मायग्रेसन (Migration):** ही एक ऐच्छिक (optional) अवस्था आहे, जिथे VM ला एका भौतिक होस्टवरून दुसऱ्या होस्टवर किंवा एका डेटास्टोअरवरून दुसऱ्या डेटास्टोअरवर हलवले जाते.
7. **डिप्रोव्हिजनिंग / नष्ट करणे (Deprovisioning / Termination):** जेव्हा VM ची गरज नसते किंवा ती अप्रचलित (obsolete) होते, तेव्हा ती बंद केली जाते आणि तिची संसाधने (उदा. डिस्क स्पेस, RAM) मुक्त केली जातात.

### 2.4.3 व्हर्चुअल मशीन मायग्रेसन (VM Migration):

**व्याख्या:** व्हर्चुअल मशीन मायग्रेसन म्हणजे एका व्हर्चुअल मशीनला एका भौतिक सर्व्हरवरून (होस्ट) दुसऱ्या भौतिक सर्व्हरवर (होस्ट) किंवा एका स्टोरेज लोकेशनवरून दुसऱ्या स्टोरेज लोकेशनवर हलवण्याची प्रक्रिया. ही प्रक्रिया VM चालू असताना (लाइव्ह मायग्रेसन) किंवा बंद असताना (कोल्ड मायग्रेसन) केली जाऊ शकते.

1. **लोड बॅलन्सिंग (Load Balancing):** एखाद्या सर्व्हरवर जास्त भार असल्यास, त्यावरील VMs कमी भार असलेल्या सर्व्हरवर हलवून भार संतुलित केला जातो.
2. **देखभाल (Maintenance):** भौतिक सर्व्हरची देखभाल (उदा. हार्डवेअर अपग्रेड, दुरुस्ती) करायची असल्यास, त्यावरील VMs दुसऱ्या सर्व्हरवर हलवता येतात, ज्यामुळे सेवांमध्ये खंड पडत नाही.
3. **आपत्कालीन पुनर्प्राप्ती (Disaster Recovery - DR):** एखाद्या भौतिक सर्व्हरमध्ये बिघाड झाल्यास, त्यावरील VMs आपत्कालीन स्थितीतील दुसऱ्या सर्व्हरवर हलवता येतात.
4. **व्हर्चुअल मशीन (VM) कन्सोलिडेशन आणि व्यवस्थापन (Consolidation and Management):** व्हर्चुअल मशीन कन्सोलिडेशनमध्ये अनेक VMs (व्हर्चुअल मशीन्स) कमी भौतिक सर्व्हरवर एकत्रित करून संसाधनांचा वापर ऑप्टिमाईज करणे समाविष्ट आहे. या प्रक्रियेचा उद्देश ऑपरेशनल खर्च कमी करणे, संसाधनांची कार्यक्षमता सुधारणे आणि सिस्टिमची कार्यक्षमता वाढवणे हा आहे. यात लाइव्ह मायग्रेसनसारख्या (Live Migration) तंत्रांचा समावेश होतो, जिथे VMs त्यांच्या ऑपरेशनमध्ये व्यत्यय न आणता सर्व्हर दरम्यान हलवले

जातात, आणि डायनॅमिक कन्सोलिडेशन (Dynamic Consolidation), जे रिअल-टाइम संसाधनांच्या गरजेनुसार VM च्या स्थानामध्ये बदल करते.

#### 2.4.4 व्हर्चुअल मशीन कन्सोलिडेशनची तंत्रे (Techniques of VM Consolidation):

1. **लाइव्ह मायग्रेशन (Live Migration):** VMs चालू असताना आणि वापरकर्त्यांना कोणताही व्यत्यय न आणता त्यांना भौतिक सर्व्हर दरम्यान हलवणे.
2. **डायनॅमिक कन्सोलिडेशन (Dynamic Consolidation):** रिअल-टाइम संसाधनांच्या वापराच्या आधारावर VM च्या स्थानामध्ये आपोआप बदल करणे, ज्यामुळे संसाधनांचा सर्वोत्तम वापर सुनिश्चित होतो.
3. **संसाधन मॉनिटरिंग आणि अलर्टिंग (Resource Monitoring and Alerting):** संसाधनांच्या वापराचे सतत निरीक्षण करणे आणि जेव्हा वापर विशिष्ट मर्यादपेक्षा वाढतो (thresholds exceeded) तेव्हा अलर्ट (alerts) ट्रिगर करणे, ज्यामुळे सक्रियपणे (proactive) VM कन्सोलिडेशन करता येते.
4. **VM प्लेसमेंट अल्गोरिदम (VM Placement Algorithms):** संसाधनांच्या गरजा आणि उपलब्ध क्षमतेनुसार भौतिक सर्व्हरवर VMs चे सर्वोत्तम स्थान निश्चित करण्यासाठी अल्गोरिदम वापरणे.

#### 2.4.5 व्हर्चुअल मशीन व्यवस्थापन (Virtual Machine Management):

व्हर्चुअल मशीन व्यवस्थापन म्हणजे व्हर्चुअल वातावरणातील सर्व व्हर्चुअल मशीन्सचे (VMs) नियोजन, पर्यवेक्षण, देखभाल, कॉन्फिगरेशन आणि नियंत्रण करणे. हे एक व्यापक कार्य आहे ज्यात VMs च्या संपूर्ण जीवनचक्राचा समावेश होतो.

1. **कमी खर्च (Reduced Costs):** हार्डवेअर, ऊर्जा (वीज) आणि ऑपरेशनल खर्च कमी होतात.
2. **सुधारित संसाधनांचा वापर (Improved Resource Utilization):** CPU, मेमरी आणि स्टोरेज संसाधनांचा चांगला वापर होतो.
3. **वाढलेली कार्यक्षमता (Enhanced Performance):** जलद प्रतिसाद वेळ आणि सिस्टिमची सुधारित प्रतिसादक्षमता (responsiveness).
4. **वाढलेली स्केलेबिलिटी आणि लवचिकता (Increased Scalability and Flexibility):** कामाच्या मागणीनुसार (workload demands) जुळवून घेणे सोपे होते.
5. **सोपे इन्फ्रास्ट्रक्चर व्यवस्थापन (Simplified Infrastructure Management):** गुंतागुंत कमी होते आणि क्लाउड इन्फ्रास्ट्रक्चरचे व्यवस्थापन सोपे होते.

#### 2.5 व्हर्चुअलायझेशन फायदे आणि तोटे (Advantages and Disadvantages of Virtualization):

**फायदे (Advantages):**

1. **संसाधनांचा कार्यक्षम वापर (Efficient Resource Utilization):** व्हर्चुअलायझेशनमुळे एकाच भौतिक हार्डवेअरचे (उदा. सर्व्हरचे CPU, RAM, स्टोरेज) अनेक व्हर्चुअल मशीनमध्ये (VMs) विभाजन करता येते. यामुळे हार्डवेअरचा जास्तीत जास्त आणि कार्यक्षम वापर होतो.
2. **खर्च बचत (Cost Saving):** कमी भौतिक सर्व्हर लागल्याने हार्डवेअर खरेदीचा खर्च कमी होतो. वीज वापर (Power Consumption), शीतकरण (Cooling) आणि डेटा सेंटरमधील जागेचा खर्च कमी होतो.
3. **लवचिकता आणि वेगवान उपयोजन (Flexibility and Rapid Deployment):** नवीन व्हर्चुअल मशीन काही मिनिटांत तयार करता येते, तर भौतिक सर्व्हर इन्स्टॉल करायला आणि कॉन्फिगर करायला खूप वेळ लागतो.
4. **उच्च उपलब्धता (High Availability):** जर एखादा भौतिक सर्व्हर बिघडला, तर व्हर्चुअलायझेशन प्लॅटफॉर्मवरील हायपरवायझर स्वयंचलितपणे त्यावरील व्हर्चुअल मशीन दुसऱ्या चालू असलेल्या भौतिक सर्व्हरवर हलवू शकतो.
5. **सुरक्षितता वाढवते (Enhanced Security):** एखादी व्हर्चुअल मशीन हॅक झाल्यास, ती इतर VMs किंवा होस्ट सिस्टमपासून वेगळी (isolated) असल्याने, हॅकर्सना संपूर्ण नेटवर्कमध्ये प्रवेश करणे अधिक कठीण होते.

6. **चाचणी आणि विकास (Testing and Development):** सॉफ्टवेअर डेव्हलपर्स विविध ऑपरेटिंग सिस्टिम्स आणि कॉन्फिगरेशन्सवर ॲप्लिकेशन्सची चाचणी घेण्यासाठी अनेक VMs सहजपणे तयार करू शकतात. यामुळे वास्तविक हार्डवेअर खराब होण्याची चिंता राहत नाही.

#### तोटे (Disadvantages):

1. **एकच अपयशाचा बिंदू (Single Point of Failure):** जर व्हर्चुअलायझेशन होस्ट (भौतिक सर्व्हर) किंवा हायपरवायझरच बिघडला, तर त्यावर चालू असलेल्या सर्व व्हर्चुअल मशीन एकाच वेळी बंद पडू शकतात. यासाठी उच्च उपलब्धता आणि फॉल्ट टॉलरन्स (Fault Tolerance) उपाययोजना करणे आवश्यक आहे.
2. **सुरुवातीचा खर्च (Initial Setup Cost):** व्हर्चुअलायझेशन सॉफ्टवेअर (विशेषतः एंटरप्राइज लेव्हलसाठी) आणि ते चालवण्यासाठी शक्तिशाली हार्डवेअर खरेदी करणे सुरुवातीला महाग असू शकते. तसेच, यासाठी प्रशिक्षित कर्मचाऱ्यांची आवश्यकता असते.
3. **परवाना शुल्क (Licensing Costs):** काही व्हर्चुअलायझेशन सॉफ्टवेअर्ससाठी (उदा. VMware vSphere, Windows Server Datacenter) आणि गेस्ट ऑपरेटिंग सिस्टिम्ससाठी (प्रत्येक VM साठी OS परवाना) लक्षणीय परवाना शुल्क लागू शकते.
4. **व्हर्चुअल मशीन स्प्राव (VM Sprawl):** VMs तयार करणे खूप सोपे असल्याने, अनेक न वापरलेल्या किंवा दुर्लक्षित VMs तयार होऊ शकतात. यामुळे व्यवस्थापन क्लिष्ट होते आणि संसाधनांचा अपव्यय होतो.

#### References:

1. Cloud Computing, Principals and Paradigms by Rajkumar Buyya, James Broberg, Andrzej Goscinski A John Willy & Sons, Inc., Publication, ISBN: 978-0-470-88799-8
2. Cloud Computing by Sharma Rishabh Wiley Publication, ISBN: 978-81-265-5306-8
3. Mastering Cloud Computing by Christian Vecchiola, Rajkumar Buyya, and S.Thamarai Selvi, McGraw Hill Publication, ISBN 978-1-25-902995-0
4. Cloud Computing by Singh Shailendra, Oxford University Press, ISBN: 978-0199477388
5. Cloud Computing: A Hands-On Approach by Arshdeep Bahga, Vijay Madiseti, Self published, ISBN 1494435144, 9781494435141

#### Websites:

1. <https://www.geeksforgeeks.org/>
2. <https://www.tutorialspoint.com/>

#### E-learning material (Video lectures):

1. <https://www.youtube.com/watch?v=Esjx-hKyMRk>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=iRTedLvJgEk>

## युनिट-3

### क्लाउड स्टोरेज, देखरेख आणि व्यवस्थापन (Cloud Storage, Monitoring and Management)

#### विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

CO3: क्लाउडमध्ये स्टोरेज प्रणाली आणि सेवांचे व्यवस्थापन करणे.

#### घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcome-TLO):

1. क्लाउड स्टोरेज सिस्टिम आर्किटेक्चर स्पष्ट करा.
2. दिलेल्या क्लाउड सेटअपसाठी स्टोरेज सिस्टिम डिझाइन करण्याच्या पायऱ्या लिहा.
3. GFS आणि HDFS यांची तुलना करा.
4. फेडरेटेड क्लाउड कंप्युटिंगचे घटक (components) वर्णन करा.
5. सर्व्हिस लेव्हल अॅग्रीमेंट (SLA) च्या विविध प्रकारांची तुलना करा.
6. क्लाउड सेवा जीवनचक्र (Cloud service life cycle) वर्णन करा.

#### 3.1 क्लाउड स्टोरेज सिस्टिम आर्किटेक्चर (Cloud Storage System Architecture):

क्लाउड स्टोरेज ही तुमच्या कॉम्प्युटर किंवा हार्ड ड्राइव्हवरील इंटरनेटवर डेटा सेव्ह करण्याची एक पद्धत आहे. यामुळे तुम्हाला तुमच्या फाईल्स (जसे की दस्तऐवज, प्रतिमा, व्हिडिओ, बॅकअप आणि बरेच काही) रिमोट सर्व्हरवर (remote servers) साठवता येतात, जे क्लाउड सेवा प्रदात्यांद्वारे (cloud service providers) व्यवस्थापित केले जातात. तुम्ही इंटरनेट वापरून तुमच्या फाईल्स कधीही आणि कुठूनही अॅक्सेस करू शकता. जेव्हा आपण गुगल ड्राइव्ह, वनड्राइव्ह किंवा आयक्लाउडसारख्या क्लाउड-आधारित सर्व्हरवर एखादी फाईल अपलोड करतो, तेव्हा ती फाईल इंटरनेटवरून एका डेटा सर्व्हरवर कॉपी केली जाते. हा डेटा सर्व्हर म्हणजे क्लाउड-आधारित वास्तविक भौतिक जागा असते जिथे कंपनी अनेक हार्ड ड्राइव्हवर फाईल्स साठवतात. बहुतेक कंपन्यांकडे अशा शेकडो सर्व्हरचे 'सर्व्हर फार्म्स' (server farms) असतात, जे अनेक ठिकाणी पसरलेले असतात.

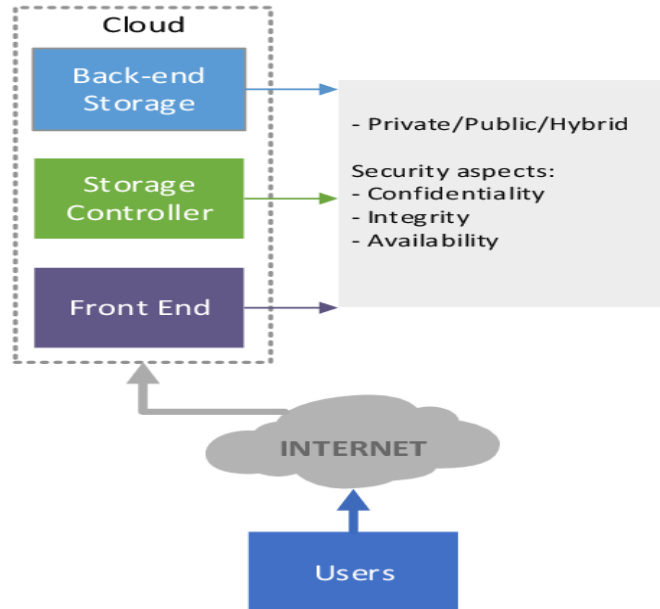


Fig.3.1 क्लाउड स्टोरेज सिस्टिम आर्किटेक्चर (Cloud Storage System Architecture)

#### क्लाउड स्टोरेज कसे कार्य करते?

क्लाउड स्टोरेज तुम्हाला तुमच्या कॉम्प्युटरच्या हार्ड ड्राइव्हवर किंवा भौतिक सर्व्हरवर अवलंबून न राहता, इंटरनेटद्वारे तुमचा डेटा साठवण्यासाठी, व्यवस्थापित करण्यासाठी आणि अॅक्सेस करण्यासाठी मदत करते.

1. **डेटा अपलोड करणे** (Uploading Data) तुम्ही तुमच्या फाईल्स, जसे की फोटो, व्हिडिओ किंवा डॉक्युमेंट्स, क्लाउड वेबसाइट किंवा ॲप (उदा. गुगल ड्राईव्ह किंवा ड्रॉपबॉक्स) वापरून अपलोड करण्यास सुरुवात करता. या फाईल्स क्लाउड कंपन्यांच्या मालकीच्या सर्व्हर नावाच्या मोठ्या कॉम्प्युटरवर सुरक्षितपणे पाठवल्या जातात.
2. **डेटा साठवणे** (Storing Data) एकदा अपलोड झाल्यावर, तुमच्या फाईल्स मोठ्या डेटा सेंटरमध्ये सेव्ह केल्या जातात. हे सेंटर्स अनेकदा तुमच्या फाईल्सच्या अनेक प्रती वेगवेगळ्या ठिकाणी ठेवतात, जेणेकरून काही बिघडले तरी त्या सुरक्षित राहतील.
3. **कुठूनही तुमच्या फाईल्स ॲक्सेस करणे** (Accessing Your Files From Anywhere) तुम्ही फक्त तुमच्या क्लाउड खात्यात लॉग इन करून फोन, टॅबलेट किंवा लॅपटॉप अशा कोणत्याही डिव्हाइसवरून तुमच्या फाईल्स उघडू शकता. जोपर्यंत तुमच्याकडे इंटरनेट आहे, तोपर्यंत तुमच्या फाईल्स तुमच्यासोबत सर्वत्र जातात!
4. **डिव्हाइसेसमध्ये सिंक करणे** (Syncing Across Devices) जर तुम्ही तुमच्या लॅपटॉपवर एखादी फाईल बदलली, तर ती आपोआप तुमच्या फोनवर देखील अपडेट होते. त्यामुळे तुम्ही ती कुठूनही उघडली तरी तुम्हाला नेहमी नवीनतम आवृत्ती दिसते.
5. **डेटा सुरक्षित ठेवणे** (Keeping Data Secure) क्लाउड स्टोरेज प्रदाते तुमच्या फाईल्सला अनधिकृत प्रवेशापासून वाचवण्यासाठी एन्क्रिप्ट करतात. त्यांना लॉग इन क्रेडेन्शियल्सची (ओळखपत्रांची) देखील आवश्यकता असते आणि अनेक जण द्वि-घटक प्रमाणीकरण (two-factor authentication - 2FA) सारखी अतिरिक्त सुरक्षा वैशिष्ट्ये देतात.
6. **बॅकअप आणि रिडंडन्सी** (Backups and Redundancy) डेटा गमावणे टाळण्यासाठी, क्लाउड प्रदाते तुमच्या फाईल्सचा बॅकअप घेतात आणि त्या अनेक ठिकाणी साठवतात. एका सर्व्हरला काही झाले तरी, तुमचा डेटा सुरक्षित असतो.
7. **स्केलेबिलिटी** (Scalability) क्लाउड स्टोरेजची एक सर्वोत्तम गोष्ट म्हणजे ती तुमच्या गरजेनुसार वाढते. तुम्हाला अधिक जागा हवी असल्यास, तुम्ही तुमचा प्लॅन अपग्रेड करू शकता. नसल्यास, तुम्ही वापरता त्याच गोष्टींसाठी पैसे देता.
8. **शेअरिंग आणि सहयोग** (Sharing and Collaboration) क्लाउड स्टोरेज इतरांसोबत फाईल्स शेअर करणे सोपे करते. तुम्ही लिंक पाठवू शकता किंवा लोकांना विशिष्ट फाईल्स किंवा फोल्डर्स ॲक्सेस करण्यासाठी आमंत्रित करू शकता. अनेक प्लॅटफॉर्म अनेक लोकांना एकाच वेळी एकाच डॉक्युमेंटवर काम करण्याची परवानगी देतात.
9. **आपत्ती पुनर्प्राप्ती** (Disaster Recovery) तुमच्या फाईल्स अनेक ठिकाणी साठवल्यामुळे, क्लाउड स्टोरेज विश्वसनीय बॅकअप म्हणून कार्य करते. हार्डवेअर बिघाड असो किंवा नैसर्गिक आपत्ती, तुम्ही तुमचा डेटा काळजी न करता रिकव्हर करू शकता.

### क्लाउड स्टोरेज आर्किटेक्चरचे फायदे:

#### 1. स्केलेबिलिटी :

**स्पष्टीकरण:** क्लाउड स्टोरेज सिस्टिम्स सहजपणे वाढवण्यासाठी (scale) डिझाइन केलेल्या आहेत. तुमच्या गरजा बदलल्यास, नवीन हार्डवेअरमध्ये गुंतवणूक न करता, तुम्ही तुमची स्टोरेज क्षमता सहजपणे वाढवू किंवा कमी करू शकता. तुम्ही वापरलेल्या स्टोरेजसाठीच पैसे देता.

**लाभ:** यामुळे प्रचंड लवचिकता मिळते. व्यवसाये डेटाच्या चढ-उतारांना (उदा. ई-कॉमर्समधील हंगामी वाढ) जास्त संसाधने न ठेवता (over-provisioning) किंवा जागा संपल्याशिवाय हाताळू शकतात.

#### 2. किफायतशीरता :

**स्पष्टीकरण:** महागाडे ऑन-प्रेमायसेस हार्डवेअर (सर्व्हर, हार्ड ड्राईव्ह्स, नेटवर्किंग उपकरणे, डेटा सेंटरची जागा, वीज, कूलिंग) खरेदी करणे, त्यांची देखभाल करणे आणि अपग्रेड करण्याऐवजी, तुम्ही क्लाउड प्रदात्याला सबस्क्रिप्शन फी किंवा पे-ॲज-यू-गो दराने पैसे देता.

**लाभ:** यामुळे प्रारंभिक भांडवली खर्च (Capital Expenditure - CapEx) कमी होतो आणि चालू ऑपरेशनल खर्च (Operational Expenditure - OpEx) कमी होतो, ज्यामुळे संस्थांना मुख्य व्यावसायिक कार्यासाठी संसाधने वाटप करण्याची मुभा मिळते.

### 3.ॲक्सेसिबिलिटी :

**स्पष्टीकरण:** क्लाउडमध्ये साठवलेला डेटा जगातील कुठूनही, कधीही, कोणत्याही इंटरनेट-कनेक्ट केलेल्या डिव्हाइसचा (लॅपटॉप, स्मार्टफोन, टॅबलेट) वापर करून ॲक्सेस करता येतो.

**लाभ:** यामुळे दूरस्थ काम (remote work) सुलभ होते, भौगोलिकदृष्ट्या विखुरलेल्या टीममधील सहकार्य वाढते आणि व्यवसायाची सातत्यता (business continuity) सुनिश्चित होते.

### 4.डेटा टिकाऊपणा आणि रिडंडन्सी (Data Durability & Redundancy):

**स्पष्टीकरण:** क्लाउड स्टोरेज प्रदाते सहसा तुमच्या डेटाच्या अनेक प्रती वेगवेगळ्या सर्व्हरवर, रॅक्समध्ये आणि भौगोलिकदृष्ट्या वेगळ्या डेटा सेंटरमध्ये साठवतात. ही रिडंडन्सी हार्डवेअर बिघाड, स्थानिक आउटेजेस (स्थानिक सेवा खंडित होणे) आणि प्रादेशिक आपत्तींपासून संरक्षण करते.

**लाभ:** डेटा गमावण्याचा धोका कमी होतो आणि तुमच्या माहितीची उच्च उपलब्धता सुनिश्चित होते.

### 5.सुरक्षितता (Security):

**स्पष्टीकरण:** प्रतिष्ठित क्लाउड प्रदाते प्रगत सुरक्षा उपायांमध्ये मोठ्या प्रमाणात गुंतवणूक करतात, ज्यात डेटा एन्क्रिप्शन (प्रवासात आणि स्थिर असताना), कठोर प्रवेश नियंत्रणे (access controls), ओळख आणि प्रवेश व्यवस्थापन (IAM), मल्टी-फॅक्टर ऑथेंटिकेशन (MFA), सततचे मॉनिटरिंग आणि त्यांच्या डेटा सेंटरची भौतिक सुरक्षा यांचा समावेश आहे. त्यांच्याकडे अनेकदा समर्पित सुरक्षा टीम असतात, ज्या बहुतेक वैयक्तिक संस्था परवडू शकतील त्यापेक्षा जास्त विशेषीकृत असतात.

**लाभ:** तुमच्या डेटाला अनधिकृत प्रवेशापासून, सायबर धोक्यांपासून संरक्षण करते आणि विविध उद्योगांच्या नियमांनुसार (compliance) अनुपालन सुनिश्चित करते.

### 3.2 व्हर्च्युअलाइज्ड डेटा सेंटर (VDC) आर्किटेक्चर, VDC एन्व्हायर्नमेंट, सर्व्हर, स्टोरेज, नेटवर्किंग, डेस्कटॉप आणि ॲप्लिकेशन व्हर्च्युअलायझेशन तंत्रे आणि फायदे. ( Virtualize Data Centre (VDC) Architecture, VDC Environment, Server, Storage, Networking, Desktop and Application Virtualization techniques and benefits):

व्हर्च्युअलाइज्ड डेटा सेंटर (VDC) म्हणजे क्लाउड-आधारित पायाभूत सुविधा (infrastructure) आहे, जी पारंपरिक भौतिक डेटा सेंटरची जागा घेते किंवा त्यांचा विस्तार करते. ती एखाद्या संस्थेच्या कंप्युटिंग संसाधनांना (सर्व्हर, स्टोरेज, नेटवर्किंग) ॲब्सट्रॅक्ट करून एकत्र करते आणि त्यांना सेवेच्या (as a service) स्वरूपात पुरवते. थोडक्यात, VDC व्यवसायांना मूलभूत भौतिक पायाभूत सुविधा स्वतःच्या मालकीच्या न ठेवता किंवा त्यांची देखभाल न करता, व्हर्च्युअलाइज्ड संसाधने भाड्याने घेण्याची किंवा व्यवस्थापित करण्याची परवानगी देते, ज्यामुळे लवचिकता, स्केलेबिलिटी आणि खर्च-कार्यक्षमता वाढते.

#### 3.2.1 व्हर्च्युअलाइज्ड डेटा सेंटर (VDC) आर्किटेक्चर, VDC एन्व्हायर्नमेंट (VDC Architecture and Environment)

VDC एन्व्हायर्नमेंट व्हर्च्युअलायझेशन तंत्रज्ञानाच्या पायावर तयार केलेले असते, जे भौतिक हार्डवेअरला ॲब्सट्रॅक्ट करते. प्रमुख घटकांमध्ये हे समाविष्ट आहेत:

1. **भौतिक पायाभूत सुविधा (Physical Infrastructure):** डेटा सेंटरमध्ये असलेले वास्तविक भौतिक सर्व्हर, स्टोरेज अरे (storage arrays), नेटवर्किंग हार्डवेअर (स्विचेस, राउटर्स) आणि सहायक पायाभूत सुविधा (वीज, कूलिंग).
2. **हायपरवाइजर लेयर (Hypervisor Layer):** हा व्हर्च्युअलायझेशनचा गाभा आहे. हायपरवाइजर (ज्याला व्हर्च्युअल मशीन मॉनिटर - VMM असेही म्हणतात) हा एक सॉफ्टवेअर लेयर आहे जो थेट भौतिक सर्व्हरवर (बेअर-मेटल हायपरवाइजर, प्रकार १) किंवा ऑपरेटिंग सिस्टिमच्या वर (होस्टेड हायपरवाइजर, प्रकार २) चालतो. तो एकाच भौतिक सर्व्हरवर अनेक स्वतंत्र व्हर्च्युअल मशीन्स (VMs) तयार करतो आणि व्यवस्थापित करतो, प्रत्येक VM ला CPU, मेमरी आणि इतर संसाधने वाटप करतो.

3. **व्हर्च्युअल रिसोर्स पूल्स (Virtual Resource Pools):** हायपरवाइजर भौतिक संसाधने (कंप्युट, स्टोरेज, नेटवर्क बँडविड्थ) एकत्र करतो आणि त्यांना व्हर्च्युअल पूल्स म्हणून सादर करतो. वापरकर्ते गरजेनुसार या पूल्समधून संसाधने घेऊ शकतात.
4. **व्यवस्थापन आणि ऑर्किस्ट्रेशन लेयर (Management and Orchestration Layer):** हा लेयर संपूर्ण व्हर्च्युअलाइज्ड एन्व्हायर्नमेंट व्यवस्थापित करण्यासाठी साधने आणि सॉफ्टवेअर प्रदान करतो. यात समाविष्ट आहे:
5. **क्लाउड मॅनेजमेंट प्लॅटफॉर्म (CMPs):** व्हर्च्युअल संसाधनांची तरतूद (provisioning), मॉनिटरिंग आणि डिप्लॉयमेंट स्वयंचालित (automating) करण्यासाठी.
6. **सॉफ्टवेअर-डिफाइन्ड नेटवर्किंग (SDN):** नेटवर्क ट्रॅफिकला प्रोग्रामॅटिकरित्या नियंत्रित आणि व्यवस्थापित करण्यासाठी.
7. **सॉफ्टवेअर-डिफाइन्ड स्टोरेज (SDS):** अंतर्निहित हार्डवेअरपासून स्वतंत्रपणे स्टोरेज व्यवस्थापित आणि तरतूद करण्यासाठी.
8. **सेल्फ-सर्व्हिस पोर्टल (Self-Service Portal):** क्लाउड प्रदात्याच्या थेट हस्तक्षेपाशिवाय व्हर्च्युअल संसाधनांची विनंती करण्यासाठी आणि व्यवस्थापित करण्यासाठी अंतिम वापरकर्त्यांना किंवा IT प्रशासकांना अनेकदा हे प्रदान केले जाते.

### 3.2.2 व्हर्च्युअलायझेशन तंत्रे आणि फायदे (Virtualization Techniques and Benefits)

व्हर्च्युअलायझेशन हे असे तंत्रज्ञान आहे जे VDC ला शक्य करते. यात भौतिक संसाधनाऐवजी त्याचे व्हर्च्युअल स्वरूप (virtual version) तयार करणे समाविष्ट आहे.

#### 1. सर्व्हर व्हर्च्युअलायझेशन (Server Virtualization):

**तंत्र:** एक हायपरवाइजर (hypervisor) भौतिक सर्व्हरवर चालतो, ज्यामुळे अनेक स्वतंत्र व्हर्च्युअल मशीन्स (VMs), प्रत्येकाची स्वतःची ऑपरेटिंग सिस्टिम आणि ॲप्लिकेशन्ससह, भौतिक सर्व्हरची संसाधने (CPU, मेमरी, इत्यादी) शेअर करू शकतात.

**फुल व्हर्च्युअलायझेशन (Full Virtualization):** हायपरवाइजर गेस्ट OS साठी हार्डवेअरचे अनुकरण (emulates) करतो.

**पारा-व्हर्च्युअलायझेशन (Para-virtualization):** गेस्ट OS ला हायपरवाइजरची जाणीव असते, ज्यामुळे उत्तम कार्यप्रदर्शन मिळते.

**OS-स्तरीय व्हर्च्युअलायझेशन (कंटेनर्स) (OS-level Virtualization - Containers):** होस्ट OS कर्नल शेअर करते, ज्यामुळे हलक्या वजनाचे विलगीकरण (lighter-weight isolation) मिळते (उदा. डॉकर, क्युबर्नेट्स).

#### फायदे:

1. **संसाधन वापर (Resource Utilization):** भौतिक सर्व्हर हार्डवेअरचा वापर लक्षणीयरीत्या वाढवतो (उदा. १५% वरून ८०% किंवा त्याहून अधिक).
2. **खर्च बचत (Cost Savings):** हार्डवेअर खरेदी, वीज वापर, कूलिंग आणि डेटा सेंटरची जागा कमी करते.
3. **जलद तरतूद (Faster Provisioning):** नवीन सर्व्हर (VMs) दिवस किंवा आठवड्यांऐवजी काही मिनिटांत सुरू करता येतात.
4. **सुधारित आपत्ती पुनर्प्राप्ती (Improved Disaster Recovery):** VMs चा सहजपणे बॅकअप घेता येतो, त्यांची प्रतिकृती (replicate) करता येते आणि वेगवेगळ्या हार्डवेअरवर पुनर्संचयित (restore) करता येतात.
5. **कमी जटिलता (Reduced Complexity):** सर्व्हर व्यवस्थापन सुलभ करते आणि "सर्व्हर स्प्राउल" (server sprawl - अनावश्यक सर्व्हर वाढ) कमी करते.
6. **विलगीकरण (Isolation):** प्रत्येक VM स्वतंत्र असते, ज्यामुळे एका VM मधील समस्या इतरांवर परिणाम करत नाहीत.

## 2. स्टोरेज व्हर्चुअलायझेशन (Storage Virtualization):

**तंत्र:** हे भौतिक स्टोरेज डिवाइसेसना (HDDs, SSDs, SANs, NAS) एकाच, एकत्रित व्हर्चुअल स्टोरेज पूलमध्ये अॅबस्ट्रॅक्ट करते. हा पूल सर्व्हर आणि ॲप्लिकेशन्सना लॉजिकल ब्लॉक किंवा फाइल सिस्टिम्स म्हणून सादर केला जाऊ शकतो, जो अंतर्निहित भौतिक हार्डवेअरपासून स्वतंत्र असतो.

**ब्लॉक-स्तरीय व्हर्चुअलायझेशन (Block-level virtualization):** रॉ स्टोरेज ब्लॉक्सना (raw storage blocks) एकत्र करते (SANs मध्ये सामान्य).

**फाइल-स्तरीय व्हर्चुअलायझेशन (File-level virtualization):** फाइल सिस्टिम्सना एकत्र करते (NAS मध्ये सामान्य).

### फायदे:

1. **सुधारित व्यवस्थापन (Simplified Management):** स्टोरेज संसाधनांचे केंद्रीकृत नियंत्रण.
2. **सुधारित वापर (Improved Utilization):** स्टोरेज क्षमतेचे कार्यक्षम वाटप, अडकलेले स्टोरेज (stranded storage) दूर करते.
3. **स्केलेबिलिटी (Scalability):** पूलमध्ये अधिक भौतिक ड्राईव्ह्स जोडून स्टोरेज क्षमता सहजपणे वाढवता येते.
4. **डेटा गतिशीलता (Data Mobility):** ॲप्लिकेशन डाउनटाइमशिवाय (application downtime) डेटा वेगवेगळ्या स्टोरेज डिवाइसेसमध्ये स्थलांतरित (migrate) करता येतो.
5. **टियरिंग (Tiering):** वारंवार ॲक्सेस केलेला डेटा स्वयंचलितपणे जलद स्टोरेजवर आणि कमी वारंवार ॲक्सेस केलेला डेटा हळू, स्वस्त स्टोरेजवर ठेवते.
6. **आपत्कालीन पुनर्प्राप्ती (Disaster Recovery):** चांगल्या डेटा संरक्षणासाठी रेप्लिकेशन (replication) आणि स्नॅपशॉटिंगला (snapshotting) सुलभ करते.

## 3. नेटवर्किंग व्हर्चुअलायझेशन (Networking Virtualization):

**तंत्र:** हे नेटवर्क सेवांना (उदा. स्विचिंग, राउटिंग, फायरवॉल, लोड बॅलन्सिंग) अंतर्निहित भौतिक नेटवर्क हार्डवेअरपासून वेगळे करते. ते लॉजिकल, प्रोग्राम करण्यायोग्य नेटवर्क्स (ओव्हरलेज) तयार करते, जे सध्याच्या भौतिक नेटवर्कवर चालतात.

**सॉफ्टवेअर-डिफाइन्ड नेटवर्किंग (Software-Defined Networking - SDN):** नेटवर्क नियंत्रण केंद्रीकृत करते, ज्यामुळे प्रोग्रामॅटिक कॉन्फिगरेशन शक्य होते.

**नेटवर्क फंक्शन्स व्हर्चुअलायझेशन (Network Functions Virtualization - NFV):** पारंपारिकपणे समर्पित हार्डवेअर ॲप्लायन्सवर चालणाऱ्या नेटवर्क सेवांना व्हर्चुअलायझ करते.

### फायदे:

1. **चपळता आणि वेग (Agility and Speed):** भौतिक हार्डवेअर बदलांची आवश्यकता नसताना, सॉफ्टवेअरद्वारे नेटवर्क कॉन्फिगरेशन काही मिनिटांत बदलले आणि तरतूद केले जाऊ शकते.
2. **सुधारित सुरक्षा (Improved Security):** मायक्रो-सेगमेंटेशन (micro-segmentation) सक्षम करते, ज्यामुळे वर्धित सुरक्षिततेसाठी नेटवर्क सेगमेंट वेगळे केले जातात.
3. **कमी खर्च (Reduced Cost):** महागड्या मालकीच्या हार्डवेअरवरील अवलंबित्व कमी करते, सामान्य (commodity) हार्डवेअरचा लाभ घेते.
4. **सुधारित व्यवस्थापन (Simplified Management):** नेटवर्क संसाधनांचे केंद्रीकृत व्यवस्थापन आणि ऑटोमेशन.
5. **लवचिकता (Flexibility):** विशिष्ट ॲप्लिकेशन गरजा पूर्ण करण्यासाठी व्हर्चुअल नेटवर्क्स सहजपणे तयार आणि रीकॉन्फिगर करता येतात

## 4. डेस्कटॉप व्हर्चुअलायझेशन (Desktop Virtualization):

**तंत्र:** हे डेस्कटॉप एन्व्हायर्नमेंट आणि ॲप्लिकेशन्सना भौतिक क्लायंट डिवाइसपासून वेगळे करते. डेस्कटॉप ऑपरेटिंग सिस्टिम आणि ॲप्लिकेशन्स डेटा सेंटरमधील सर्व्हरवर चालतात आणि वापरकर्ते त्यांना विविध डिवाइसेसरून (PC, थिन क्लायंट, टॅबलेट) दूरस्थपणे ॲक्सेस करतात.

**व्हर्चुअल डेस्कटॉप इन्फ्रास्ट्रक्चर (Virtual Desktop Infrastructure - VDI):** प्रत्येक वापरकर्त्याला एक समर्पित व्हर्चुअल मशीन मिळते.

**सेशन व्हर्चुअलायझेशन (रिमोट डेस्कटॉप सर्विसेस - Remote Desktop Services - RDS):** अनेक वापरकर्ते एकाच व्हर्चुअल मशीनचे OS सेशन शेअर करतात.

**डेस्कटॉप-अॅज-अ-सर्विसेस (Desktop-as-a-Service - DaaS):** VDI तिसऱ्या पक्षाद्वारे क्लाउड सेवा म्हणून पुरवले जाते.

**फायदे:**

1. **केंद्रीकृत व्यवस्थापन (Centralized Management):** डेस्कटॉप्सचे एका केंद्रीय ठिकाणाहून व्यवस्थापन केले जाते, ज्यामुळे अपडेट्स, पॅचिंग आणि सुरक्षा सुलभ होते.
2. **वर्धित सुरक्षा (Enhanced Security):** डेटा डेटा सेंटरमध्ये राहतो, एंडपॉइंट डिव्हाइसेसवर नाही, ज्यामुळे चोरी झालेल्या किंवा गमावलेल्या डिव्हाइसेसमुळे डेटा गमावण्याचा धोका कमी होतो.
3. **कार्यबलाची गतिशीलता (Workforce Mobility):** वापरकर्ते इंटरनेट कनेक्शनसह कोणत्याही डिव्हाइसेसवरून, कुठूनही, त्यांचा वैयक्तिकृत डेस्कटॉप आणि ॲप्लिकेशन्स ॲक्सेस करू शकतात.
4. **खर्च बचत (Cost Savings):** जुन्या एंडपॉइंट डिव्हाइसेसचे आयुष्य वाढवू शकते (कारण गहन कंप्युटिंग डेटा सेंटरमध्ये होते) आणि IT सपोर्ट सुलभ करते.
5. **जलद तरतूद (Rapid Provisioning):** नवीन डेस्कटॉप्स नवीन कर्मचाऱ्यांसाठी किंवा तात्पुरत्या कर्मचाऱ्यांसाठी त्वरीत डिप्लॉय (तैनात) केले जाऊ शकतात.

**5. ॲप्लिकेशन व्हर्चुअलायझेशन (Application Virtualization):**

**तंत्र:** हे ॲप्लिकेशनला अंतर्निहित ऑपरेटिंग सिस्टिम आणि हार्डवेअरपासून वेगळे करते. ॲप्लिकेशन क्लायंट डिव्हाइसेसवर पारंपारिकपणे इन्स्टॉल न करता एका वेगळ्या वातावरणात ("बबल" किंवा "कंटेनर") चालते.

**स्ट्रीमिंग (Streaming):** ॲप्लिकेशनचे घटक गरजेनुसार क्लायंटला वितरित केले जातात.

**विलगीकरण (Isolation):** ॲप्लिकेशन स्वतःच्या रनटाइम एन्व्हायर्नमेंटमध्ये चालते, ज्यामुळे इतर ॲप्लिकेशन्स किंवा OS सोबतचे संघर्ष (conflicts) टाळले जातात.

**फायदे:**

1. **सुधारित कंपॅटिबिलिटी (Improved Compatibility):** ॲप्लिकेशन्सना (विशेषतः जुन्या ॲप्लिकेशन्सना) विसंगत ऑपरेटिंग सिस्टिमवर किंवा संघर्ष करणाऱ्या सॉफ्टवेअरसोबत चालण्याची परवानगी देते.
2. **सुधारित डिप्लॉयमेंट आणि व्यवस्थापन (Simplified Deployment and Management):** ॲप्लिकेशन्स केंद्रीय स्तरावर डिप्लॉय आणि अपडेट केली जातात, ज्यामुळे प्रत्येक डिव्हाइसेसवर इन्स्टॉल करण्याची गरज नाहीशी होते.
3. **कमी संघर्ष (Reduced Conflicts):** ॲप्लिकेशन्सना एकमेकांपासून आणि बेस OS पासून वेगळे करते, ज्यामुळे "DLL hell" किंवा इतर संघर्ष टाळले जातात.
4. **वर्धित सुरक्षा (Enhanced Security):** ॲप्लिकेशन्स सँडबॉक्स केलेल्या वातावरणात चालतात, ज्यामुळे त्यांची होस्ट सिस्टिमवर परिणाम करण्याची किंवा मालवेअर पसरवण्याची क्षमता मर्यादित होते.
5. **जलद ॲक्सेस (Faster Access):** वापरकर्ते पूर्ण इन्स्टॉलेशनशिवाय ॲप्लिकेशन्सना त्वरीत ॲक्सेस करू शकतात.
6. **पोर्टेबिलिटी (Portability):** ॲप्लिकेशन्स वेगवेगळ्या क्लायंट डिव्हाइसेसवर किंवा सर्व्हर इन्फ्रास्ट्रक्चरमध्ये सहजपणे हलवता येतात.

थोडक्यात, या विविध व्हर्चुअलायझेशन तंत्रांमुळे सक्षम झालेले VDC आर्किटेक्चर, संस्थांना एक अत्यंत लवचिक (flexible), स्केलेबल (scalable) आणि कार्यक्षम (efficient) IT पायाभूत सुविधा प्रदान करते, जी बदलत्या व्यावसायिक मागण्यांशी वेगाने जुळवून घेऊ शकते आणि अनेकदा कार्यात्मक खर्च (operational costs) कमी करते, तसेच सुरक्षा (security) आणि लवचिकता (resilience) सुधारते.

### 3.3 क्लाउड फाइल सिस्टिम्स (Cloud File Systems) :

क्लाउड कंप्युटिंग आणि बिग डेटा वातावरणात मोठ्या प्रमाणात वापरल्या जाणाऱ्या प्रचंड डेटासेट्स हाताळण्यासाठी वितरित फाइल प्रणाली (Distributed file systems) अत्यंत महत्त्वाच्या आहेत. गुगल फाइल सिस्टिम (GFS) आणि हडूप वितरित फाइल सिस्टिम (HDFS) ही याची दोन अग्रगण्य उदाहरणे आहेत.

#### 3.3.1.गुगल फाइल सिस्टिम (GFS) : घटक, वैशिष्ट्ये, फायदे आणि तोटे (Google File System (GFS) :Components, Features, Advantages and Disadvantages)

GFS गुगलने आपल्या सेवांद्वारे (जसे की वेब क्रॉलिंग आणि अनुक्रमणिका - indexing) निर्माण होणाऱ्या मोठ्या प्रमाणात डेटा साठवण्यासाठी आणि प्रक्रिया करण्यासाठी त्याच्या अंतर्गत गरजा पूर्ण करण्यासाठी विकसित केले होते. ते मोठ्या फाईल्स, स्ट्रीमिंग वाचन (streaming reads) आणि जोडणी (appends) साठी डिझाइन केलेले आहे, जे स्वस्त सामान्य हार्डवेअरवर चालते.

#### GFS चे घटक (Components of GFS):

##### 1. GFS मास्टर सर्व्हर (मास्टर नोड):

एकच मास्टर सर्व्हर जो सर्व फाइल सिस्टिम मेटाडेटा (metadata) व्यवस्थापित करतो.नेमस्पेस (डिरेक्टरी रचना, फाइल नावे), अॅक्सेस कंट्रोल माहिती, फाईल्सना चॅक्सशी मॅप करणे आणि चॅक्सचे सध्याचे स्थान साठवतो.सर्व मेटाडेटा ऑपरेशन्स (उदा. फाईल्स तयार करणे, हटवणे, उघडणे) हाताळतो.चॅक सर्व्हरसोबत वेळोवेळी हार्टबीट संदेशांद्वारे (Heartbeat messages) त्यांच्या स्थितीचे निरीक्षण करण्यासाठी आणि चॅक लीज (chunk leases) व्यवस्थापित करण्यासाठी संवाद साधतो.सर्व मेटाडेटा बदलांसाठी एक ऑपरेशन लॉग राखतो, जो दोष सहनशीलतेसाठी (fault tolerance) प्रतिकृतीकृत (replicated) केला जातो.

**2. GFS चॅक सर्व्हर (डेटा नोड्स):**अनेक सर्व्हर जे वास्तविक फाइल डेटा साठवतात.फाईल्स निश्चित आकाराच्या चॅक्समध्ये विभागलेल्या असतात, सामान्यतः ६४ MB च्या. प्रत्येक चॅकची ओळख जागतिक स्तरावर अद्वितीय ६४-बिट हँडलद्वारे (handle) केली जाते.चॅक सर्व्हर हे चॅक्स त्यांच्या स्थानिक डिस्कवर नियमित लिनक्स फाईल्स म्हणून साठवतात ते मेटाडेटा साठवत नाहीत, परंतु त्यांच्याकडील साठवलेले चॅक्स मास्टरला कळवतात.मास्टरकडून सूचना मिळाल्यानंतर डेटा थेट क्लायंटना वाचन/लेखन (read/write) ऑपरेशन्ससाठी पुरवतात.

**3. GFS क्लायंट्स:** GFS क्लस्टरशी संवाद साधणाऱ्या ॲप्लिकेशन्समध्ये लिंक केलेल्या लायब्ररी.मेटाडेटा ऑपरेशन्ससाठी (उदा. चॅकचे स्थान शोधणे) मास्टरशी संवाद साधतात.डेटा वाचन/लेखन ऑपरेशन्ससाठी थेट चॅक सर्व्हरशी संवाद साधतात.

#### GFS ची वैशिष्ट्ये (Features of GFS):

- 1. मोठ्या फाईल्ससाठी ऑप्टिमायझेशन (Large File Optimization):** लहान फाईल्सऐवजी मोठ्या फाईल्ससाठी (शेकडो MB ते TBs) ऑप्टिमाइज्ड केलेले.
- 2. दोष सहनशीलता (Fault Tolerance):** डेटा रेप्लिकेशनद्वारे (data replication) उच्च विश्वसनीयता प्राप्त करते, सामान्यतः प्रत्येक चॅकच्या तीन प्रती वेगवेगळ्या चॅक सर्व्हरवर साठवते. मास्टरची स्थिती देखील प्रतिकृतीकृत (replicated) असते.
- 3. उच्च थ्रुपुट (High Throughput):** वैयक्तिक ऑपरेशन्ससाठी कमी लेटन्सीवर (latency) उच्च निरंतर बँडविड्थसाठी डिझाइन केलेले, बॅच प्रोसेसिंगसाठी योग्य.
- 4. एकदा लिहा, अनेकदा वाचा/अनेकदा जोडा मॉडेल (Write-Once, Read-Many/Append-Many Model):** मोठ्या स्ट्रीमिंग वाचन आणि क्रमिक जोडणीसाठी (sequential appends) ऑप्टिमाइज्ड, यादृच्छिक लेखन (random writes) कार्यक्षम नसतात.
- 5. अणु रेकॉर्ड जोडणी (Atomic Record Appends):** अनेक क्लायंटना एकाच वेळी एकाच फाईलमध्ये डेटा जोडण्याची परवानगी देते, तर प्रत्येक जोडणीची अणुता (atomicity) सुनिश्चित करते.
- 6. स्नॅपशॉट्स (Snapshots):** फाईल्स किंवा डिरेक्टरी ट्रीच्या कमी किमतीच्या, तात्काळ प्रती (copies) तयार करण्यास समर्थन देते.
- 7. चेकसम्स (Checksums):** चॅक्समधील डेटा दूषितता (data corruption) शोधण्यासाठी चेकसम्स वापरते.

**GFS चे फायदे (Advantages of GFS):**

1. **स्केलेबिलिटी (Scalability):** हजारो सामान्य मशीन आणि पेटबाइट्स डेटापर्यंत स्केल होऊ शकते.
2. **उच्च उपलब्धता (High Availability):** रेप्लिकेशनमुळे अनेक चंकर सर्हर निकामी झाले तरी डेटा अॅक्सेसिबल राहतो.
3. **किफायतशीर (Cost-Effective):** स्वस्त सामान्य हार्डवेअरवर चालते.
4. **विश्वसनीयता (Reliability):** अंगभूत दोष सहनशीलता यंत्रणा आणि बिघाडांमधून स्वयंचलित पुनर्प्राप्ती.
5. **सुधारित क्लायंट मॉडेल (Simplified Client Model):** क्लायंट डेटासाठी थेट चंकर सर्हरशी संवाद साधतात, ज्यामुळे मास्टरवरील भार कमी होतो.

**GFS चे तोटे (Disadvantages of GFS):**

1. **एकल अपयशाचा बिंदू (मास्टर) (Single Point of Failure - Master):** जरी मास्टरची स्थिती प्रतिकृतीकृत असली तरी, काळजीपूर्वक व्यवस्थापन न केल्यास एकच मास्टर नोड अडथळा (bottleneck) किंवा गंभीर अपयशाचा बिंदू बनू शकतो.
2. **लहान फाईल्ससाठी खराब कार्यप्रदर्शन (Poor Performance for Small Files):** मोठ्या चंकरा आकार (६४MB) आणि मेटाडेटा ऑपरेशन्ससाठीचा ओव्हरहेड (overhead) अनेक लहान फाईल्स हाताळण्यासाठी ते अकार्यक्षम बनवते.

**3.3.2 हडूप वितरित फाइल सिस्टिम (HDFS):: हार्टबीट, बॅलन्सिंग आणि रेप्लिकेशन यांसारख्या संज्ञा, वैशिष्ट्ये आणि मर्यादा (Hadoop Distributed File System (HDFS): Terminologies like Heartbeat, Balancing and Replication, Features and Limitations) :****a. HDFS मधील संज्ञा (Terminologies in HDFS):****1. हार्टबीट (Heartbeat):**

**संकल्पना:** डेटा नोड्स (DataNodes) नेम नोडला (NameNode) वेळोवेळी हार्टबीट नावाचे लहान संदेश पाठवतात.

**उद्देश:** हे संदेश "मी जिवंत आणि ठीक आहे" असे सिग्नल म्हणून काम करतात. जर नेम नोडला एका निश्चित कालावधीसाठी डेटा नोडकडून हार्टबीट मिळाला नाही, तर तो डेटा नोड निकामी झाला असे मानतो आणि त्याला मृत (dead) म्हणून चिन्हांकित करतो. दोष शोधण्यासाठी (fault detection) हे महत्त्वाचे आहे.

**2. बॅलन्सिंग (Balancing):**

**संकल्पना:** HDFS चा उद्देश क्लस्टरमधील सर्व डेटा नोड्समध्ये डेटा ब्लॉक्स आणि I/O लोड समान रीतीने वितरित करणे हा आहे.

**उद्देश:** कालांतराने, डेटा नोड जोडणे/काढणे किंवा विशिष्ट वर्कलोड पॅटर्नमुळे डेटाचे वितरण असमान होऊ शकते. HDFS बॅलन्सर युटिलिटी (किंवा स्वयंचलित बॅलन्सिंग यंत्रणा) क्लस्टरमध्ये समान डिस्क स्पेसचा वापर सुनिश्चित करण्यासाठी डेटा नोड्स दरम्यान ब्लॉक्स स्थलांतरित करते. हे "हॉट स्पॉट्स" (अतिभारित नोड्स) टाळते आणि एकूण कार्यप्रदर्शन ऑप्टिमाइझ करते.

**3. रेप्लिकेशन (Replication):**

**संकल्पना:** HDFS प्रत्येक डेटा ब्लॉकच्या अनेक प्रती (रेप्लिका) वेगवेगळ्या डेटा नोड्सवर साठवून दोष सहनशीलता (fault tolerance) आणि उच्च उपलब्धता (high availability) प्राप्त करते. डिफॉल्ट रेप्लिकेशन फॅक्टर ३ असतो.

**उद्देश:** जर एखादा डेटा नोड निकामी झाला, तर त्याने होस्ट केलेले डेटा ब्लॉक्स इतर डेटा नोड्सवरील त्यांच्या रेप्लिकांमधून अजूनही उपलब्ध असतात. नेम नोड हरवलेल्या रेप्लिकांना (हार्टबीट्सद्वारे) शोधतो आणि इच्छित रेप्लिकेशन फॅक्टर पुनर्संचयित करण्यासाठी निरोगी डेटा नोड्सवर नवीन रेप्लिका तयार करण्याची प्रक्रिया सुरू करतो. HDFS रॅक-स्तरीय अपयशांपासून (rack-level failures) संरक्षण करण्यासाठी (रॅक अवेयरनेस) रेप्लिका वेगवेगळ्या रॅकमध्ये साठवण्याचा प्रयत्न करते.

**b. HDFS ची वैशिष्ट्ये (Features of HDFS):**

1. **वितरित स्टोरेज (Distributed Storage):** डेटा अनेक मशीनमध्ये साठवतो, ज्यामुळे प्रचंड स्केलेबिलिटी (scalability) शक्य होते.

2. **दोष सहनशीलता (Fault Tolerance):** डेटा रेप्लिकेशनद्वारे (data replication) प्राप्त होते. डेटा नोड (DataNode) निकामी झाल्यासही डेटा उपलब्ध राहतो.
3. **उच्च ध्रुपट (High Throughput):** मोठ्या डेटासेट्सच्या बॅच प्रोसेसिंगसाठी ऑप्टिमाइज्ड, वैयक्तिक ऑपरेशन्ससाठी कमी लेटन्सीपेक्षा (latency) उच्च डेटा ट्रान्सफर दरांना प्राधान्य देते.
4. **मोठ्या फाइल हाताळणी (Large File Handling):** गिगाबाइट्स ते टेराबाइट्सपर्यंतच्या फाईल्स कार्यक्षमतेने साठवण्यासाठी डिझाइन केलेले. फाईल्स मोठ्या ब्लॉक्समध्ये (डिफॉल्ट १२८MB किंवा २५६MB) विभागल्या जातात.
5. **सामान्य हार्डवेअरवर चालते (Runs on Commodity Hardware):** सहज उपलब्ध, स्वस्त हार्डवेअरचा वापर करून किफायतशीर होण्यासाठी डिझाइन केलेले, घटक बिघाड सामान्य आहेत असे गृहीत धरून.
6. **डेटा लोकॅलिटी (Data Locality):** डेटाला कंप्युटेशनकडे हलवण्याऐवजी, कंप्युटेशनला डेटाकडे हलवण्याची (मॅप रिड्यूस - MapReduce) HDFS परवानगी देते, ज्यामुळे नेटवर्कची गर्दी कमी होते.
7. **स्ट्रीमिंग डेटा अॅक्सेस (Streaming Data Access):** एकदा लिहा, अनेकदा वाचा अॅक्सेस पॅटर्नसाठी ऑप्टिमाइज्ड, स्ट्रीमिंग डेटासाठी योग्य.
8. **चेकसमिंग (Checksumming):** वाचन करताना दूषितता (corruption) शोधण्यासाठी डेटाची अखंडता तपासते.

#### c. HDFS च्या मर्यादा (Limitations of HDFS):

1. **कमी-लेटन्सी डेटा अॅक्सेस (Low-Latency Data Access):** वैयक्तिक रेकॉर्ड्स किंवा लहान फाईल्ससाठी कमी-लेटन्सी अॅक्सेस (मिलीसेकंदात) आवश्यक असलेल्या ॲप्लिकेशन्ससाठी योग्य नाही, कारण ते मोठ्या फाईल्सच्या क्रमिक स्कॅन्ससाठी ऑप्टिमाइज्ड आहे.
2. **लहान फाइल समस्या (Small File Problem):** मोठ्या संख्येने लहान फाईल्स साठवणे अकार्यक्षम आहे. प्रत्येक फाइलला, आकाराची पर्वा न करता, नेम नोडच्या मेमरीमध्ये किमान ब्लॉक आकार आणि मेटाडेटा एंट्रीची आवश्यकता असते, ज्यामुळे नेम नोडवर जास्त मेमरीचा वापर होतो आणि I/O ऑपरेशन्स अकार्यक्षम होतात (अनेक सीक्स).
3. **एकच नेम नोड (Single NameNode - in older versions):** ऐतिहासिकदृष्ट्या, नेम नोड अपयशाचा एकच बिंदू होता, जरी नवीन आवृत्त्यांमध्ये उच्च उपलब्धता (High Availability - HA) आर्किटेक्चरसह (उदा. ॲक्टिव्ह/स्टँडबाय नेम नोड्स, जर्नल नोड्स) यावर उपाययोजना करण्यात आली आहे.
4. **एकदा लिहा, अनेकदा वाचा मॉडेल (Write-Once, Read-Many Model):** जोडणीसाठी लवचिक असले तरी, ते विद्यमान फाईल्समध्ये यादृच्छिक लेखनासाठी डिझाइन केलेले नाही. फाईल्समधील बदलांसाठी सामान्यतः संपूर्ण फाइल पुन्हा लिहिणे किंवा केवळ जोडणी ऑपरेशन्स वापरणे आवश्यक असते.
5. **कठोर POSIX अनुपालन (Strict POSIX Compliance):** HDFS POSIX मानकांचे पूर्णपणे पालन करत नाही, ज्यामुळे ॲप्लिकेशन्सना विशेषतः जुळवून घ्यावे लागू शकते.

GFS आणि HDFS दोन्ही वितरित स्टोरेजच्या त्यांच्या दृष्टिकोनात क्रांतीकारक होते, त्यांनी आधुनिक बिग डेटा प्रोसेसिंग आणि क्लाउड स्टोरेज प्रतिमानांसाठी (paradigms) पाया घातला. GFS हे गुगलची अंतर्गत प्रणाली राहिली असली तरी, HDFS मोठ्या प्रमाणावर डेटा स्टोरेज आणि प्रोसेसिंगसाठी ओपन-सोर्स मानक बनले, ज्यामुळे जगभरातील अनेक बिग डेटा सोल्यूशन्सना शक्ती मिळाली.

#### 3.4 सेवा प्रदाता आणि वापरकर्ते, फेडरेटेड क्लाउड कंप्युटिंगची वास्तूरचना (आर्किटेक्चर): मॉडेल आणि त्याचे स्पष्टीकरण (Service Provider and users, An architecture of federated Cloud computing: Model and It's Explanation):

क्लाउड फेडरेशन (Cloud Federation), ज्याला फेडरेटेड क्लाउड (Federated Cloud) असेही म्हणतात, म्हणजे व्यवसायाच्या गरजा पूर्ण करण्यासाठी अनेक बाह्य (external) आणि अंतर्गत (internal) क्लाउड कंप्युटिंग सेवांची तैनाती (deployment) आणि व्यवस्थापन होय. ही एक बहुराष्ट्रीय क्लाउड प्रणाली आहे जी खाजगी (private), समुदाय (community) आणि सार्वजनिक (public) क्लाउड्सना स्केलेबल कंप्युटिंग प्लॅटफॉर्ममध्ये एकत्रित करते. फेडरेटेड

क्लाउड वेगवेगळ्या क्लाउड प्रदात्यांच्या क्लाउड वातावरणाला एका सामान्य मानकाचा (common standard) वापर करून जोडणी करून तयार केले जाते.

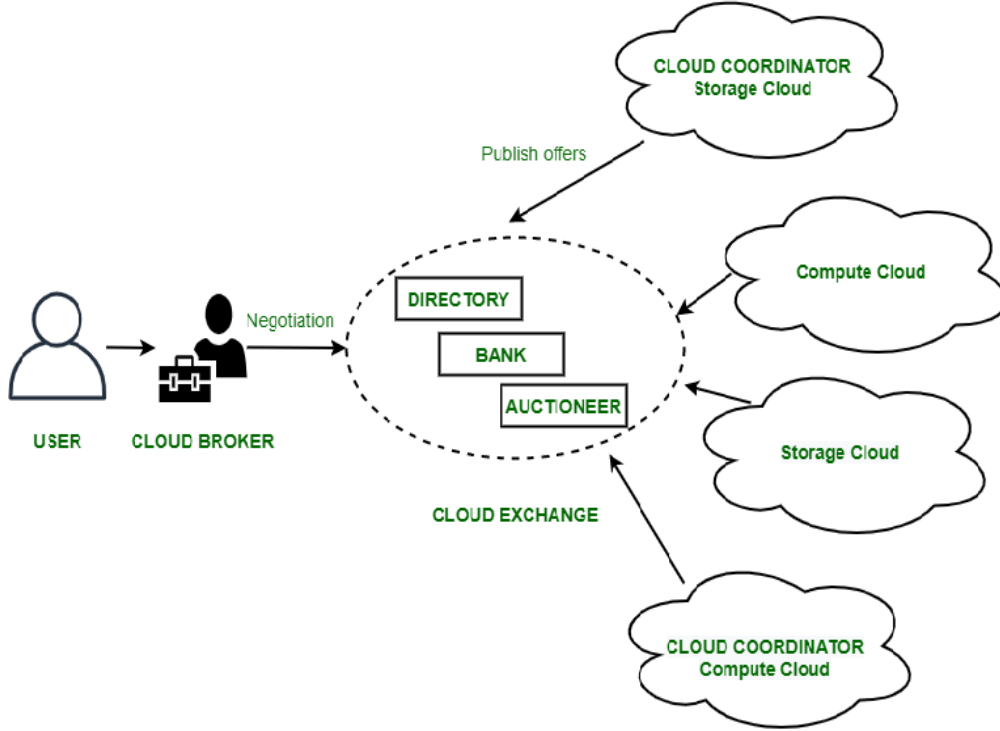


Fig.3.2 क्लाउड फेडरेशन (Cloud Federation)

1. **क्लाउड एक्सचेंज (Cloud Exchange):** क्लाउड एक्सचेंज क्लाउड कोऑर्डिनेटर आणि क्लाउड ब्रोकर यांच्यात मध्यस्थ (mediator) म्हणून कार्य करते. क्लाउड ब्रोकरच्या मागण्या क्लाउड एक्सचेंजद्वारे क्लाउड कोऑर्डिनेटरने पुरवलेल्या उपलब्ध सेवांशी जुळवल्या जातात. क्लाउड एक्सचेंजकडे सध्याची किंमत, मागणीचे नमुने आणि उपलब्ध क्लाउड प्रदाते यांची नोंद असते आणि ही माहिती क्लाउड कोऑर्डिनेटरद्वारे वेळोवेळी सुधारित केली जाते.
  2. **क्लाउड कोऑर्डिनेटर (Cloud Coordinator):** क्लाउड कोऑर्डिनेटर दूरस्थ वापरकर्त्यांना (remote users) त्यांच्या मागणीनुसार सेवेच्या गुणवत्तेवर आणि क्लाउड बँकेतील त्यांच्या क्रेडिट्सवर आधारित क्लाउडची संसाधने वाटप करतो. क्लाउड एंटरप्राइजेस आणि त्यांचे सदस्यत्व क्लाउड कंट्रोलरद्वारे (cloud controller) व्यवस्थापित केले जाते.
  3. **क्लाउड ब्रोकर (Cloud Broker):** क्लाउड ब्रोकर क्लाउड कोऑर्डिनेटरशी संवाद साधतो, क्लाउड एक्सचेंजमधील अनेक क्लाउड प्रदात्यांनी देऊ केलेल्या सेवा-स्तर करार (Service-level agreement) आणि संसाधनांचे विश्लेषण करतो. क्लाउड ब्रोकर त्यांच्या क्लायंटसाठी सर्वात योग्य डील निश्चित करतो.
1. **फेडरेटेड क्लाउडची वैशिष्ट्ये (Properties of Federated Cloud):**
1. फेडरेटेड क्लाउडमध्ये, वापरकर्ते आर्किटेक्चरशी केंद्रीय (centrally) किंवा विकेंद्रीकृत (decentralized) पद्धतीने संवाद साधू शकतात. केंद्रीय संवादात, वापरकर्ता त्यांच्या आणि संस्थेमध्ये मध्यस्थी करण्यासाठी ब्रोकरशी संवाद साधतो. विकेंद्रीकृत संवाद वापरकर्त्याला फेडरेशनमधील क्लाउड्सशी थेट संवाद साधण्याची परवानगी देतो.
  2. फेडरेटेड क्लाउड व्यावसायिक आणि गैर-व्यावसायिक अशा विविध क्षेत्रांमध्ये (niches) वापरले जाऊ शकते.
  3. फेडरेटेड क्लाउडची व्हिजिबिलिटी (दृश्यमानता) वापरकर्त्याला फेडरेटेड वातावरणातील अनेक क्लाउड्सची संघटना (organization) समजून घेण्यास मदत करते.

4. फेडरेटेड क्लाउडचे दोन प्रकारे मॉनिटरिंग (निरीक्षण) केले जाऊ शकते. MaaS (मॉनिटरिंग अॅज अ सर्व्हिस) अशी माहिती प्रदान करते जी वापरकर्त्याला करार केलेल्या सेवांचा मागोवा घेण्यास मदत करते. ग्लोबल मॉनिटरिंग फेडरेटेड क्लाउडची देखभाल करण्यास मदत करते.
5. फेडरेशनमध्ये सहभागी होणारे प्रदाते त्यांच्या ऑफर्स एका केंद्रीय घटकाला (central entity) प्रकाशित करतात. वापरकर्ता किमती तपासण्यासाठी आणि ऑफर प्रस्तावित करण्यासाठी या केंद्रीय घटकाशी संवाद साधतो.
6. पायाभूत सुविधा (infrastructure), सॉफ्टवेअर आणि प्लॅटफॉर्मसारख्या मार्केटिंग वस्तू फेडरेटेड क्लाउडमध्ये वापरल्या जातात तेव्हा त्यांना फेडरेशनमधून जावे लागते.

## 2. फेडरेटेड क्लाउडचे फायदे (Benefits of Federated Cloud):

1. ऊर्जेचा वापर कमी करते.
2. विश्वसनीयता वाढवते.
3. गतिशील स्केलेबिलिटीमुळे (dynamic scalability) प्रदात्यांचा वेळ आणि खर्च कमी होतो.
4. जागतिक स्तरावर विविध क्लाउड सेवा प्रदात्यांना जोडते. प्रदाते मागणीनुसार सेवा खरेदी आणि विक्री करू शकतात.
5. संसाधनांचे सहज स्केलिंग (scaling up) प्रदान करते.

### 3.5 सेवा स्तर करार (Service Level Agreement (SLA)):

**3.5.1 SLA व्यवस्थापन:** SLA व्यवस्थापनाचे ५ टप्पे जसे की व्यवहार्यता (Feasibility), ऑन-बोर्डिंग (On-Boarding), प्री-प्रॉडक्शन (Pre-production), प्रॉडक्शन (Production) आणि समाप्ती (Termination) सेवा स्तर करार (Service Level Agreement - SLA) व्यवस्थापन ही एक महत्त्वपूर्ण प्रक्रिया आहे, जी सेवा प्रदाता (service provider) आणि ग्राहक (customer) यांच्यात सहमती दिलेल्या सेवा स्तरांची सातत्याने पूर्तता सुनिश्चित करते. ही एक सतत चालणारी जीवनचक्र (continuous lifecycle) आहे, एकवेळची घटना नाही, ज्यात वाटाघाटी (negotiation), अंमलबजावणी (implementation), निरीक्षण (monitoring) आणि अंतिम समाप्ती (termination) किंवा नूतनीकरण (renewal) यांचा समावेश असतो. तुम्ही सूचीबद्ध केलेले पाच टप्पे—व्यवहार्यता (Feasibility), ऑन-बोर्डिंग (On-Boarding), प्री-प्रॉडक्शन (Pre-production), प्रॉडक्शन (Production) आणि समाप्ती (Termination)—या जीवनचक्राचे व्यवस्थापन करण्यासाठी एक संरचित दृष्टिकोन प्रदान करतात, विशेषतः क्लाउड कंप्युटिंग संदर्भात ते अधिक उपयुक्त ठरतात.

#### 1. व्यवहार्यता टप्पा (Feasibility Phase):

ही प्रारंभिक, अन्वेषणात्मक (exploratory) टप्पा आहे, जिथे सेवा प्रदाता आणि ग्राहक दोघेही प्रस्तावित सेवेची व्यवहार्यता (viability) आणि संभाव्य SLA चे मूल्यांकन करतात.

**उद्दिष्ट:** सेवा प्रदाता ग्राहकाच्या गरजा वास्तववादीपणे पूर्ण करू शकतो का आणि दोन्ही पक्षांसाठी तांत्रिक, कार्यात्मक आणि आर्थिकदृष्ट्या ते योग्य आहे का, हे निश्चित करणे.

**कृती (Activities):**

1. **आवश्यकता गोळा करणे (Requirements Gathering):** ग्राहक त्यांच्या सेवा गरजा स्पष्टपणे परिभाषित करतो, ज्यात कार्यप्रदर्शन मेट्रिक्स (उदा. अपटाइम, प्रतिसाद वेळ, थ्रुपुट), सुरक्षा आवश्यकता, डेटाचा निवास (data residency), सपोर्ट तास आणि आपत्ती पुनर्प्राप्तीचे (disaster recovery) उद्दिष्टे यांचा समावेश असतो.
2. **तांत्रिक मूल्यांकन (Technical Assessment):** सेवा प्रदाता त्याच्या सध्याच्या पायाभूत सुविधा, संसाधने आणि क्षमतांचे मूल्यांकन करतो की त्या नमूद केलेल्या आवश्यकतांना समर्थन देऊ शकतात का. यात स्केलेबिलिटी, कंपॅटिबिलिटी आणि आवश्यक असलेल्या कोणत्याही कस्टमायझेशन्सचे मूल्यांकन समाविष्ट आहे.
3. **आर्थिक व्यवहार्यता (Financial Feasibility):** दोन्ही पक्ष खर्चाच्या परिणामांचे विश्लेषण करतात. प्रदाता आवश्यक संसाधने आणि हमी दिलेल्या सेवा स्तरांवर आधारित किंमत निश्चित करतो, तर ग्राहक खर्च त्यांच्या बजेट आणि अपेक्षित मूल्यानुसार आहे का याचे मूल्यांकन करतो.
4. **जोखीम मूल्यांकन (Risk Assessment):** संभाव्य धोके (तांत्रिक, कार्यात्मक, सुरक्षा, अनुपालन) ओळखा जे SLA उद्दिष्टे साध्य करण्यास अडथळा आणू शकतात.

- 5. प्रारंभिक करार (Preliminary Agreement):** जर व्यवहार्य असेल, तर सेवा व्याप्ती आणि संभाव्य सेवा स्तरांची उच्च-स्तरीय समज स्थापित केली जाते, जी औपचारिक वाटाघाटींचा आधार बनते.

**परिणाम (Outcome):** सहभाग पुढे न्यायचा की नाही याबद्दलचा निर्णय आणि SLA मध्ये काय समाविष्ट असेल याची मूलभूत समज.

## 2. ऑन-बोर्डिंग टप्पा (On-Boarding Phase):

एकदा व्यवहार्यता स्थापित झाली आणि प्रारंभिक करार झाला की, ऑन-बोर्डिंग टप्प्यात ग्राहकाच्या ॲप्लिकेशन किंवा सेवेची प्रदात्याच्या प्लॅटफॉर्मवर प्रारंभिक मांडणी आणि एकत्रीकरण यावर लक्ष केंद्रित केले जाते.

**उद्दिष्ट:** ग्राहकाच्या सेवेचे प्रदात्याच्या वातावरणात सहज संक्रमण करणे आणि मूलभूत कार्यक्षमता व प्रारंभिक कार्यप्रदर्शन सुनिश्चित करणे.

### कृती (Activities):

- प्लॅटफॉर्म कॉन्फिगरेशन (Platform Configuration):** सेवा प्रदात्याच्या क्लाउड किंवा डेटा सेंटरवर आवश्यक पायाभूत सुविधा, खाती आणि वातावरण सेट करणे.
- ॲप्लिकेशन डिप्लॉयमेंट/स्थलांतर (Application Deployment/Migration):** ग्राहकाची ॲप्लिकेशन्स, डेटा आणि कॉन्फिगरेशन्स नवीन होस्टिंग प्लॅटफॉर्मवर हलवणे. यात डेटा हस्तांतरण, कोड डिप्लॉयमेंट आणि अवलंबित्व मांडणी (dependency setup) यांचा समावेश असू शकतो.
- प्रारंभिक चाचणी (Initial Testing):** नवीन वातावरणात ॲप्लिकेशन योग्यरित्या चालते याची खात्री करण्यासाठी मूलभूत कार्यात्मक चाचणी करणे.
- मॉनिटरिंग मांडणी (Monitoring Setup):** प्रारंभिक कार्यप्रदर्शन आणि संसाधन वापर ट्रॅक करण्यासाठी मॉनिटरिंग साधने आणि अलर्ट कॉन्फिगर करणे.
- दस्तऐवजीकरण (Documentation):** नवीन मांडणी, प्रवेश प्रक्रिया आणि प्रारंभिक कार्यात्मक मार्गदर्शक तत्वांशी संबंधित दस्तऐवजीकरण तयार करणे किंवा अद्यतनित करणे.
- ज्ञान हस्तांतरण (Knowledge Transfer):** नवीन वातावरण आणि सेवांशी कसे संवाद साधायचे याबद्दल ग्राहकाच्या टीमला (लागू असल्यास) प्रशिक्षण देणे.

**परिणाम (Outcome):** ॲप्लिकेशन किंवा सेवा प्रदात्याच्या प्लॅटफॉर्मवर कार्यान्वित आहे, अधिक कठोर चाचणीसाठी तयार.

## 3. प्री-प्रॉडक्शन टप्पा (Pre-production Phase):

हा टप्पा उत्पादन मांडणीशी (production setup) जवळून मिळत्याजुळत्या चाचणी वातावरणात (test environment) ॲप्लिकेशन आणि प्रस्तावित SLA च्या कठोर चाचणी आणि प्रमाणीकरणासाठी समर्पित आहे.

**उद्दिष्ट:** सेवा प्रत्यक्षात सुरू होण्यापूर्वी (going live) वास्तविक लोड परिस्थितीमध्ये सहमत झालेल्या SLA उद्दिष्टांना सातत्याने पूर्ण करू शकते हे प्रमाणित करणे.

### कृती (Activities):

- कार्यप्रदर्शन चाचणी (Performance Testing):** विविध स्तरांच्या वापरकर्ता ट्रॅफिक आणि डेटा लोडखाली ॲप्लिकेशन कसे कार्य करते हे निर्धारित करण्यासाठी लोड टेस्टिंग (Load testing), स्ट्रेस टेस्टिंग (stress testing) आणि स्केलेबिलिटी टेस्टिंग (scalability testing) करणे. हे अडथळे (bottlenecks) ओळखण्यास आणि कार्यप्रदर्शन उद्दिष्टे (उदा. प्रतिसाद वेळ, थ्रुपुट) पूर्ण केली जाऊ शकतात का हे सत्यापित करण्यास मदत करते.
- सुरक्षा चाचणी (Security Testing):** सुरक्षा उपाय प्रभावी आहेत आणि नियामक आवश्यकता पूर्ण करतात याची खात्री करण्यासाठी भेदक चाचणी (penetration testing), असुरक्षा स्कॅनिंग (vulnerability scanning) आणि अनुपालन तपासण्या (compliance checks) करणे.
- आपत्ती पुनर्प्राप्ती (DR) चाचणी (Disaster Recovery (DR) Testing):** बॅकअप, पुनर्प्राप्ती आणि फेलओव्हर यंत्रणांची प्रभावीता तपासण्यासाठी अपयशांचे अनुकरण करणे (उदा. सर्व्हर आउटजेस, नेटवर्क व्यत्यय). हे

पुनर्प्राप्ती वेळ उद्दिष्टे (Recovery Time Objectives - RTO) आणि पुनर्प्राप्ती बिंदू उद्दिष्टे (Recovery Point Objectives - RPO) प्रमाणित करते.

4. **सेवा स्तर मॉनिटरिंग सुधारणा** (Service Level Monitoring Refinement): SLA मेट्रिक्स अचूकपणे कॅप्चर करण्यासाठी मॉनिटरिंग साधने आणि डॅशबोर्डसची फाइन-ट्यूनिंग करणे.
5. **अभिप्राय आणि समायोजन** (Feedback and Adjustments): चाचणीदरम्यान ओळखल्या गेलेल्या कोणत्याही समस्या किंवा विसंगतींचे निराकरण केले जाते आणि वास्तविक-जगातील कार्यप्रदर्शनावर आधारित SLA दस्तऐवज सुधारित किंवा पुन्हा वाटाघाटी केले जाऊ शकते.

**परिणाम** (Outcome): उत्पादन-सदृश वातावरणात SLA पूर्ण करण्याची आपली क्षमता दर्शविणारी पूर्णपणे चाचणी केलेली आणि प्रमाणित सेवा

#### 4. प्रॉडक्शन टप्पा (Production Phase):

हा थेट कार्यान्वित टप्पा आहे जिथे सेवा ग्राहकाच्या अंतिम-वापरकर्त्याद्वारे सक्रियपणे वापरली जाते आणि SLA औपचारिकपणे लागू असतो आणि त्याचे सतत व्यवस्थापन केले जाते.

**उद्दिष्ट:** सहमत झालेल्या SLA नुसार सेवा प्रदान करणे आणि सतत ऑप्टिमायझेशन, मॉनिटरिंग आणि समस्या निराकरण सुनिश्चित करणे.

#### कृती (Activities):

1. **थेट सेवा वितरण** (Live Service Delivery): ॲप्लिकेशन किंवा सेवा पूर्णपणे कार्यान्वित आहे आणि अंतिम-वापरकर्त्यांना सेवा देत आहे.
2. **सतत मॉनिटरिंग** (Continuous Monitoring): सर्व प्रमुख SLA मेट्रिक्सचे (अपटाइम, कार्यप्रदर्शन, त्रुटी दर, सुरक्षा घटना) वास्तविक-वेळेत मॉनिटरिंग.
3. **घटना व्यवस्थापन** (Incident Management): परिभाषित प्रतिसाद आणि निराकरण वेळेनुसार कोणत्याही सेवा घटना किंवा आउटेजेसचे त्वरित शोधणे, निदान आणि निराकरण.
4. **समस्या व्यवस्थापन** (Problem Management): भविष्यातील घटना टाळण्यासाठी वारंवार घडणाऱ्या घटनांचे मूळ कारण विश्लेषण.
5. **बदल व्यवस्थापन** (Change Management): SLA वरील परिणाम कमी करण्यासाठी सेवा किंवा पायाभूत सुविधांमधील सर्व बदल नियंत्रित पद्धतीने व्यवस्थापित करणे.
6. **अहवाल देणे** (Reporting): SLA उद्दिष्टांचे अनुपालन दर्शवणारे कार्यप्रदर्शन अहवाल नियमितपणे तयार करणे, जे ग्राहकासोबत शेअर केले जातात.
7. **पुनरावलोकन बैठका** (Review Meetings): प्रदाता आणि ग्राहक यांच्यात कार्यप्रदर्शन, समस्यांवर चर्चा आणि भविष्यातील सुधारणांचे नियोजन करण्यासाठी वेळोवेळी (उदा. मासिक, त्रैमासिक) बैठका.

**परिणाम** (Outcome): सहमत झालेल्या SLA पॅरामीटर्समध्ये सेवेचे सातत्यपूर्ण वितरण, पारदर्शक अहवाल आणि सक्रिय व्यवस्थापनासह.

#### 5. समाप्ती टप्पा (Termination Phase):

हा टप्पा सेवा करार संपल्यावर येतो, मग तो कराराची मुदत संपल्यामुळे, नूतनीकरण न झाल्यामुळे किंवा लवकर संपवल्यामुळे असो.

**उद्दिष्ट:** डेटा हस्तांतरण, संसाधन डी-प्रोव्हिजनिंग (resource de-provisioning) आणि अंतिम आर्थिक तोडगा यासह सेवेची सहज आणि व्यवस्थित समाप्ती सुनिश्चित करणे.

#### कृती (Activities):

1. **सूचना** (Notification): कराराच्या अटीनुसार, कोणत्याही पक्षाद्वारे करार समाप्त करण्याचा किंवा नूतनीकरण न करण्याचा औपचारिक सूचना.
2. **डेटा स्थलांतर/हस्तांतरण** (Data Migration/Transfer): ग्राहकाला त्यांचा डेटा आणि ॲप्लिकेशन्स नवीन वातावरणात स्थलांतरित करण्यास (लागू असल्यास) किंवा धोरणानुसार डेटा सुरक्षितपणे हटवण्यास मदत करणे.

3. **संसाधन डी-प्रोव्हिजनिंग (Resource De-provisioning):** प्रदात्याच्या प्लॅटफॉर्मवर ग्राहकाच्या सेवेसाठी समर्पित असलेले सर्व संसाधने (VMs, स्टोरेज, नेटवर्क कॉन्फिगरेशन्स) वाटप रद्द करणे आणि निष्क्रिय करणे.
4. **अंतिम बिलिंग आणि सेटलमेंट (Final Billing and Settlement):** अंतिम इनव्हॉइसवर प्रक्रिया करणे, कोणतीही थकबाकी फेडणे आणि कोणतीही आर्थिक विसंगती किंवा दंड/क्रेडिट गणना सोडवणे.
5. **पोस्ट-मॉर्टेम विश्लेषण (ऐच्छिक परंतु शिफारस केलेले) (Post-Mortem Analysis - Optional but Recommended):** भविष्यातील करार किंवा सेवा वितरणातील सुधारणांसाठी शिकलेले धडे आणि क्षेत्रांची ओळख पटवण्यासाठी SLA च्या संपूर्ण जीवनचक्राचे पुनरावलोकन करणे.
6. **करारिक समाप्ती (Contractual Closure):** कराराची औपचारिक समाप्ती, दोन्ही पक्षांनी सर्व कायदेशीर आणि करारिक जबाबदाऱ्या पूर्ण केल्याची खात्री करणे.

**परिणाम (Outcome):** सेवा संबंधांचा पूर्ण आणि सलोख्याने अंत, ज्यामध्ये सर्व डेटा सुरक्षितपणे हाताळला जातो आणि आर्थिक बाबींचे निराकरण होते.

हे पाच टप्पे SLA व्यवस्थापनासाठी एक व्यापक फ्रेमवर्क (चौकट) प्रदान करतात, ज्यामुळे सेवा प्रदाते आणि ग्राहक दोघांनाही स्पष्ट अपेक्षा असतात आणि त्यांच्या संपूर्ण जीवनचक्रात सेवा प्रदान करण्यासाठी आणि वापरण्यासाठी एक संरचित प्रक्रिया मिळते.

### 3.5.2 SLA चे प्रकार: (Types of SLA ) पायाभूत सुविधा SLA (Infrastructure SLA) आणि ॲप्लिकेशन SLA (Application SLA)

सेवा स्तर करार (Service Level Agreements - SLAs) हे सेवा प्रदाता आणि ग्राहक यांच्यातील औपचारिक करार असतात, जे प्रदान करावयाच्या सेवेची पातळी परिभाषित करतात. IT सेवांच्या संदर्भात, विशेषतः क्लाउड कंप्युटिंगमध्ये, SLAs सहसा ते सेवेच्या कोणत्या पैलूला कव्हर करतात यावर आधारित वर्गीकृत केले जाऊ शकतात: अंतर्निहित पायाभूत सुविधा (underlying infrastructure) किंवा त्यावर चालणारे ॲप्लिकेशन.

#### 1. पायाभूत सुविधा SLA (Infrastructure SLA - I-SLA):

एक पायाभूत सुविधा SLA सेवा प्रदात्याने प्रदान केलेल्या IT वातावरणाच्या मूलभूत घटकांच्या कार्यप्रदर्शन (performance), उपलब्धता (availability) आणि विश्वासार्हतेवर (reliability) लक्ष केंद्रित करतो. यात सामान्यतः ॲप्लिकेशन्सना आधार देणारे अंतर्निहित हार्डवेअर, नेटवर्क आणि व्हर्च्युअलायझेशन लेयर्स (virtualization layers) समाविष्ट असतात.

#### यात काय समाविष्ट आहे (What it covers):

1. **कंप्युट (सर्व्हर/VMs):** व्हर्च्युअल मशीन्स किंवा भौतिक सर्व्हरचा अपटाइम, CPU उपलब्धता, मेमरी कार्यप्रदर्शन.
2. **स्टोरेज (Storage):** स्टोरेज व्हॉल्यूम्सची उपलब्धता, प्रति सेकंद इनपुट/आउटपुट ऑपरेशन्स (IOPS), स्टोरेज लेटन्सी (latency), डेटा टिकाऊपणा (उदा. AWS S3 सारख्या ऑब्जेक्ट स्टोरेजसाठी ९९.९९९९९९९९%), आणि डेटा गमावणे प्रतिबंध (data loss prevention).
3. **नेटवर्किंग (Networking):** नेटवर्क अपटाइम, बँडविड्थची हमी, प्रदेशांदरम्यान किंवा इंटरनेटवरील नेटवर्क लेटन्सी, आणि पॅकेट लॉस दर.
4. **भौतिक डेटा सेंटर (Physical Data Center):** पॉवर उपलब्धता, कूलिंग, भौतिक सुरक्षा.
5. **हायपरवायझर (Hypervisor):** व्हर्च्युअलायझेशन लेयरचे कार्यप्रदर्शन आणि स्थिरता.
6. **पॅचिंग आणि देखभाल (Patching and Maintenance):** देखभाल विंडो आणि सेवेवरील परिणामाबाबतच्या हमी.

#### सामान्यतः समाविष्ट मेट्रिक्स (Metrics typically included):

**अपटाइम/उपलब्धता टक्केवारी (Uptime/Availability Percentage):** उदा. VM साठी ९९.९% अपटाइम (म्हणजे प्रति वर्ष जास्तीत जास्त सुमारे ८.७६ तासांचा डाउनटाइम).

**लेटन्सी (Latency):** नेटवर्क प्रतिसाद वेळ (उदा. ५०ms च्या आत).

**थ्रुपुट (Throughput):** स्टोरेज किंवा नेटवर्कसाठी डेटा ट्रान्सफर दर (उदा. स्टोरेजसाठी ५०० MB/s).

**IOPS (Input/output operations per second):** स्टोरेजसाठी प्रति सेकंद इनपुट/आउटपुट ऑपरेशन्स (उदा. १०,००० IOPS).

**पुनर्प्राप्त होण्यासाठी लागणारा सरासरी वेळ (Mean Time To Recover - MTTR):** बिघाडानंतर सेवा पुनर्संचयित करण्यासाठी लागणारा सरासरी वेळ.

**बिघाडांमधील सरासरी वेळ (Mean Time Between Failures - MTBF):** प्रणालीच्या अंगभूत बिघाडांमधील अंदाजित वेळ.

**कोण सामान्यतः प्रदान करते/काळजी घेते (Who typically provides/cares):** क्लाउड पायाभूत सुविधा प्रदाते (AWS, Azure, Google Cloud Platform सारखे IaaS प्रदाते) पायाभूत सुविधा SLA प्रदान करतात. ग्राहकाचे IT ऑपरेशन्स टीम प्रामुख्याने या SLA शी संबंधित असतात.

**उदाहरण (Example):** "क्लाउड प्रदाता सर्व प्रोव्हिजन केलेल्या व्हर्च्युअल मशीन्ससाठी ९९.९५% मासिक अपटाइमची हमी देतो." किंवा "स्टोरेज व्हॉल्यूम्स १०ms पेक्षा जास्त नसलेल्या लेटन्सीसह किमान १,००० IOPS प्रदान करतील."

## 2. ॲप्लिकेशन SLA Application SLA (A-SLA):

एक ॲप्लिकेशन SLA अंतिम-वापरकर्त्याला अनुभवलेल्या विशिष्ट सॉफ्टवेअर ॲप्लिकेशन किंवा सेवेच्या एंड-टू-एंड कार्यप्रदर्शन आणि उपलब्धतेवर लक्ष केंद्रित करतो. ॲप्लिकेशन योग्यरित्या कार्य करण्यासाठी आणि त्याचे उद्दिष्ट मूल्य प्रदान करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या सर्व घटकांचा यात समावेश होतो, केवळ अंतर्निहित पायाभूत सुविधांच्या पलीकडे जाऊन.

**यात काय समाविष्ट आहे (What it covers):**

- ॲप्लिकेशन उपलब्धता (Application Availability):** ॲप्लिकेशन स्वतः ॲक्सेसिबल आणि कार्यात्मक आहे का (उदा. वेबसाइट पोहोचण्यायोग्य आहे, लॉगिन कार्य करत आहे). यात पायाभूत सुविधांचा अपटाइम समाविष्ट आहे, परंतु ॲप्लिकेशन क्रॅश किंवा डेटाबेस समस्यांसारखे घटक देखील समाविष्ट आहेत.
- प्रतिसाद वेळ (Response Time):** ॲप्लिकेशन वापरकर्ता इंटरॅक्शन्सना किती लवकर प्रतिसाद देते (उदा. वेबपेज लोड होण्यासाठी लागणारा वेळ, व्यवहार प्रक्रिया करण्यासाठी लागणारा वेळ).
- व्यवहार यशस्वी दर (Transaction Success Rate):** त्रुटीशिवाय यशस्वीरित्या पूर्ण झालेल्या व्यवहारांची टक्केवारी.
- त्रुटी दर (Error Rates):** ॲप्लिकेशन-स्तरीय त्रुटी किंवा बगची संख्या किंवा टक्केवारी.
- वैशिष्ट्य कार्यक्षमता (Feature Functionality):** विशिष्ट ॲप्लिकेशन वैशिष्ट्ये अपेक्षेनुसार कार्य करतील याची हमी.
- डेटा अखंडता (Data Integrity):** ॲप्लिकेशनमधील डेटा अचूक आणि दूषित होणार नाही याची हमी.
- बॅच प्रोसेसिंग पूर्णता (Batch Processing Completion):** बॅकग्राउंड जॉब्ससाठी, ते निर्दिष्ट वेळेत पूर्ण होतील याची हमी.
- सपोर्ट प्रतिसाद/निराकरण वेळ (Support Response/Resolution Times):** ॲप्लिकेशनच्या कार्यक्षमतेची संबंधित समस्यांसाठी.

**सामान्यतः समाविष्ट मेट्रिक्स (Metrics typically included):**

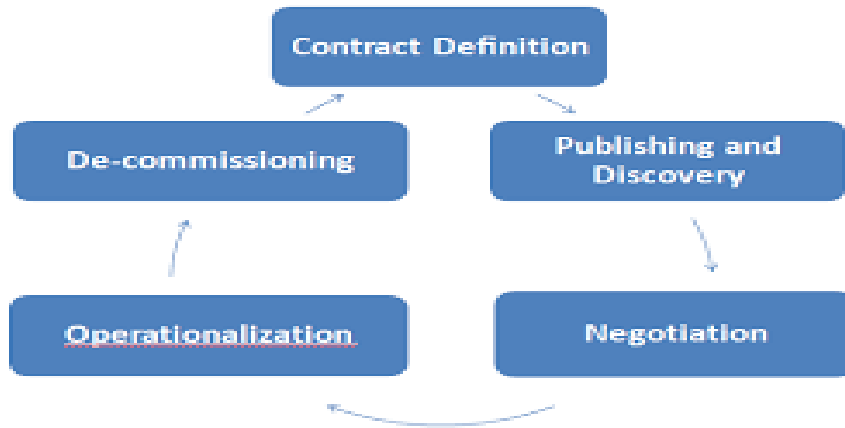
- अंतिम-वापरकर्ता प्रतिसाद वेळ (End-user Response Time):** उदा. "लॉगिन पेज ९५% वेळा २ सेकंदात लोड होते."
- व्यवहार प्रक्रिया वेळ (Transaction Processing Time):** उदा. "ऑर्डर प्रोसेसिंग ५००ms मध्ये पूर्ण होते."
- त्रुटी दर (Error Rate):** उदा. "०.१% पेक्षा कमी ग्राहक व्यवहारांमुळे त्रुटी निर्माण होईल."
- ॲप्लिकेशन अपटाइम (Application Uptime):** उदा. "वेब ॲप्लिकेशन ९९.९% वेळ उपलब्ध असेल." (हे पायाभूत सुविधांच्या अपटाइमवर आधारित आहे परंतु ॲप्लिकेशन-विशिष्ट बिघाडांचा देखील विचार करते).
- फर्स्ट कॉल रिझोल्यूशन दर (First Call Resolution Rate):** ॲप्लिकेशनशी संबंधित ग्राहक समर्थनासाठी.
- कोण सामान्यतः प्रदान करते/काळजी घेते (Who typically provides/cares):** हा SLA सामान्यतः सॉफ्टवेअर-ॲज-अ-सर्व्हिस (SaaS) प्रदात्यांद्वारे (उदा. Salesforce, Zoom) किंवा अंतर्गत IT विभागाद्वारे (जर

ते ॲप्लिकेशन विकसित आणि व्यवस्थापित करत असतील) त्यांच्या व्यावसायिक वापरकर्त्यांना प्रदान केला जातो. अंतिम-वापरकर्ते आणि व्यावसायिक भागधारक (business stakeholders) या SLA मध्ये सर्वाधिक स्वारस्य दाखवतात.

**उदाहरण (Example):** "ई-कॉमर्स प्लॅटफॉर्म ९९.८% च्या यश दराने ग्राहक ऑर्डरवर प्रक्रिया करेल." किंवा "ग्राहक समर्थन महत्त्वपूर्ण ॲप्लिकेशन समस्यांना १ तासाच्या आत प्रतिसाद देईल."

**3.5.3. SLA चे जीवनचक्र (Life cycle of SLA): करार व्याख्या (Contract Definition), प्रकाशन आणि शोध (Publishing and Discovery), वाटाघाटी (Negotiation), कार्यान्वित करणे (Operationalization) आणि सेवामुक्त करणे (De-commissioning):**

सेवा स्तर करार (Service Level Agreement - SLA) जीवनचक्र सेवा प्रदाता आणि ग्राहक यांच्यातील औपचारिक करार तयार करणे, व्यवस्थापित करणे आणि समाप्त करणे यात समाविष्ट असलेले विविध टप्पे (stages) वर्णन करते. हे जीवनचक्र सुनिश्चित करते की सेवा अपेक्षा स्पष्टपणे सेट केल्या जातात, कार्यप्रदर्शनाचे (performance) सातत्याने निरीक्षण केले जाते आणि संपूर्ण कालावधीत संबंधांचे व्यवस्थापन केले जाते.



**Fig.3.3: SLA चे जीवनचक्र (Life cycle of SLA)**

**1. करार व्याख्या टप्पा (Contract Definition Phase):**

हा पायाभूत टप्पा आहे जिथे सेवा आवश्यकता ओळखल्या जातात आणि सेवेचे नियम व अटी तसेच तिच्याशी संबंधित कार्यप्रदर्शन पातळीचे प्रारंभिक मसुदा (draft) तयार केले जाते.

**उद्दिष्ट:** कोणती सेवा प्रदान केली जाईल, अपेक्षित गुणवत्ता काय असेल आणि दोन्ही पक्षांच्या जबाबदाऱ्या काय असतील हे स्पष्टपणे मांडणे.

**कृती (Activities):**

- 1. आवश्यकता गोळा करणे (Requirements Gathering):** ग्राहक त्यांच्या व्यावसायिक गरजा, कार्यप्रदर्शन अपेक्षा (उदा. अपटाइम, प्रतिसाद वेळ, सुरक्षा, अनुपालन गरजा) आणि सेवेकडून आवश्यक असलेली विशिष्ट वैशिष्ट्ये स्पष्ट करतो.
- 2. सेवा व्याप्ती निश्चित करणे (Service Scoping):** सेवा प्रदाता ते देऊ करत असलेल्या सेवेच्या अचूक मर्यादा परिभाषित करतो, ज्यात काय समाविष्ट आहे आणि काय नाही याचा समावेश असतो.
- 3. मेट्रिक्स ओळखणे (Metric Identification):** सेवा गुणवत्ता मोजण्यासाठी वापरले जाणारे प्रमुख कार्यप्रदर्शन निर्देशक (KPIs) आणि मेट्रिक्स (उदा. अपटाइम टक्केवारी, व्यवहार यशस्वी दर, सपोर्ट प्रतिसाद वेळ) परिभाषित केले जातात.
- 4. दंड/क्रेडिटची व्याख्या (Penalty/Credit Definition):** SLA उद्दिष्टे पूर्ण न केल्यास होणारे परिणाम (उदा. आर्थिक दंड, सेवा क्रेडिट्स) आणि ते ओलांडल्यास मिळणारे फायदे (rewards) स्पष्ट केले जाऊ शकतात.
- 5. भूमिका आणि जबाबदाऱ्या (Roles & Responsibilities):** सेवा आणि SLA व्यवस्थापनाच्या कोणत्या पैलूसाठी कोण जबाबदार आहे हे स्पष्टपणे नियुक्त करणे.
- 6. मसुदा तयार करणे (Drafting):** या चर्चावर आधारित एक प्रारंभिक SLA दस्तऐवज तयार केला जातो.

**परिणाम (Outcome):** प्रस्तावित सेवा स्तर, मेट्रिक्स, नियम आणि अटी स्पष्ट करणारा SLA दस्तऐवजाचा एक व्यापक मसुदा.

### 2. प्रकाशन आणि शोध टप्पा (Publishing and Discovery Phase):

हा टप्पा संभाव्य ग्राहकांसाठी सेवा ऑफर्स आणि त्यांच्याशी संबंधित मानक SLAs उपलब्ध आणि शोधण्यायोग्य बनवण्यावर लक्ष केंद्रित करतो. सार्वजनिक क्लाउड प्रदात्यांसाठी, ही एक सतत चालणारी प्रक्रिया आहे.

**उद्दिष्ट:** सेवा प्रदात्यांनी त्यांच्या सेवा क्षमता आणि मानक SLA वचनबद्धता प्रसारित करणे आणि ग्राहकांनी या ऑफर्स शोधणे व समजून घेणे.

#### कृती (Activities):

- 1. सेवा कॅटलॉग तयार करणे (Service Catalog Creation):** सेवा प्रदाते त्यांच्या सेवांचे तपशीलवार वर्णन सेवा कॅटलॉगमध्ये तयार करतात आणि प्रकाशित करतात, ज्यात अनेकदा मानक SLA टेम्प्लेट्स असतात.
- 2. सार्वजनिक दस्तऐवजीकरण (Public Documentation):** क्लाउड प्रदाते त्यांच्या वेबसाइटवर विविध सेवांसाठी (उदा. AWS EC2 SLA, Azure VM SLA) SLA हमींचे तपशील देणारे विस्तृत दस्तऐवजीकरण प्रकाशित करतात.
- 3. API स्पेसिफिकेशन (API Specification):** प्रोग्रामॅटिक ॲक्सेससाठी, सेवा कशा वापरल्या जाऊ शकतात आणि त्यांचे निरीक्षण कसे केले जाऊ शकते हे परिभाषित करणारे API प्रकाशित केले जातात.
- 4. मार्केटिंग आणि विक्री (Marketing & Sales):** सेवा प्रदाते त्यांच्या ऑफर्सचे मार्केटिंग करतात, अनेकदा त्यांच्या SLA वचनबद्धतेवर स्पर्धात्मक फायदा म्हणून भर देतात.
- 5. ग्राहक संशोधन (Customer Research):** ग्राहक त्यांच्या गरजा पूर्ण करणारे संभाव्य प्रदाते ओळखण्यासाठी उपलब्ध सेवा आणि त्यांच्या संबंधित SLAs चे सक्रियपणे संशोधन करतात आणि शोध घेतात.

**परिणाम (Outcome):** सेवा ऑफर्स आणि त्यांच्या मानक SLA वचनबद्धता संभाव्य ग्राहकांसाठी स्पष्टपणे दृश्यमान आणि उपलब्ध आहेत, ज्यामुळे त्यांना योग्य पर्याय ओळखणे शक्य होते.

### 3. वाटाघाटी टप्पा (Negotiation Phase):

एकदा ग्राहकाने योग्य सेवा आणि तिचा मानक SLA ओळखला की, या टप्प्यात SLA अटींची तपशीलवार चर्चा आणि सुधारणा समाविष्ट असते, जोपर्यंत दोन्ही पक्ष परस्पर सहमत आणि बंधनकारक करारावर पोहोचत नाहीत.

**उद्दिष्ट:** ग्राहकाच्या विशिष्ट गरजांनुसार मानक SLA तयार करणे, वचनबद्धता औपचारिक करणे आणि कोणत्याही अद्वितीय आवश्यकता किंवा चिंतांचे निराकरण करणे.

#### कृती (Activities):

- 1. सानुकूलन (Customization):** ग्राहक मानक SLAs मधून विचलन (deviations) मागू शकतात, उदाहरणार्थ, उच्च अपटाइम हमी, विशिष्ट डेटा निवास आवश्यकता (data residency requirements) किंवा सानुकूलित समर्थन स्तर (customized support levels).
- 2. मेट्रिक समायोजन (Metric Adjustment):** कार्यप्रदर्शन मेट्रिक्ससाठी विशिष्ट लक्ष्य मूल्यांवर वाटाघाटी करणे (उदा. ९९.९% एवजी, ग्राहक ९९.९५% साठी प्रयत्न करू शकतो).
- 3. कायदेशीर पुनरावलोकन (Legal Review):** अंतिम करार स्पष्ट, अमलात आणण्यायोग्य आणि नियमांचे पालन करणारा आहे याची खात्री करण्यासाठी दोन्ही बाजूंच्या कायदेशीर टीमद्वारे पुनरावलोकन केले जाते.
- 4. किंमत चर्चा (Pricing Discussion):** सेवेची किंमत अनेकदा विनंती केलेल्या SLA स्तरांशी थेट संबंधित असते; या टप्प्यात किंमत निश्चित करणे समाविष्ट असते.
- 5. अवलंबित्व स्पष्टीकरण (Dependency Clarification):** ग्राहकाच्या जबाबदाऱ्या आणि प्रदात्याची SLA पूर्ण करण्याची क्षमता यांच्यातील अवलंबित्व परिभाषित करणे.
- 6. स्वाक्षरी (Sign-off):** दोन्ही पक्ष औपचारिकपणे अंतिम SLA दस्तऐवजावर सहमत होतात आणि स्वाक्षरी करतात, ज्यामुळे तो कायदेशीररित्या बंधनकारक ठरतो.

**परिणाम (Outcome):** स्वाक्षरी केलेला, कायदेशीररित्या बंधनकारक सेवा स्तर करार, जो परस्पर सहमत सेवा स्तर, जबाबदाऱ्या आणि अटी स्पष्टपणे परिभाषित करतो.

#### 4. कार्यान्वित करणे टप्पा (Operationalization Phase):

हा सर्वात लांब आणि सर्वात गंभीर टप्पा आहे, जिथे सेवा प्रत्यक्षात प्रदान केली जाते आणि सहमत झालेल्या SLA विरुद्ध कार्यप्रदर्शनाचे सतत निरीक्षण, व्यवस्थापन आणि अहवाल दिले जाते.

**उद्दिष्ट:** सहमत झालेल्या SLA नुसार सेवा सातत्याने प्रदान केली जात आहे याची खात्री करणे आणि कोणत्याही विचलनावर (deviations) त्वरित लक्ष देणे.

##### कृती (Activities):

1. **सेवा प्रोव्हिजनिंग (Service Provisioning):** आवश्यक पायाभूत सुविधा सेट करणे आणि ॲप्लिकेशन किंवा सेवा डिप्लॉय करणे.
2. **मॉनिटरिंग अंमलबजावणी (Monitoring Implementation):** सर्व परिभाषित SLA मेट्रिक्सचे (उदा. अपटाइम, प्रतिसाद वेळ, त्रुटी दर) सतत निरीक्षण करण्यासाठी साधने तैनात करणे आणि कॉन्फिगर करणे.
3. **घटना व्यवस्थापन (Incident Management):** सेवा घटना त्वरित शोधणे, लॉग करणे, निदान करणे आणि निराकरण करण्यासाठी प्रक्रिया स्थापित करणे, सहमत झालेल्या निराकरण वेळेचे पालन करणे.
4. **समस्या व्यवस्थापन (Problem Management):** भविष्यातील घटना टाळण्यासाठी वारंवार घडणाऱ्या घटनांचे मूळ कारण विश्लेषण करणे.
5. **बदल व्यवस्थापन (Change Management):** सेवा किंवा अंतर्निहित पायाभूत सुविधांमधील कोणत्याही बदलांसाठी नियंत्रित प्रक्रिया लागू करणे, ज्यामुळे व्यत्यय आणि SLA वरील परिणाम कमी होतो.
6. **कार्यप्रदर्शन अहवाल (Performance Reporting):** SLA उद्दिष्टांविरुद्ध वास्तविक सेवा कार्यप्रदर्शनावर नियमितपणे (उदा. दररोज, साप्ताहिक, मासिक) अहवाल तयार करणे आणि ते ग्राहकासोबत शेअर करणे.
7. **SLA पुनरावलोकने (SLA Reviews):** सेवा प्रदाता आणि ग्राहक यांच्यात कार्यप्रदर्शन, कोणत्याही उल्लंघनांवर किंवा समस्यांवर चर्चा आणि सतत सुधारणांचे नियोजन करण्यासाठी वेळोवेळी (उदा. त्रैमासिक) बैठका.
8. **क्रेडिट्स/दंड लागू करणे (Credits/Penalties Application):** SLA उद्दिष्टे पूर्ण न झाल्यास सहमत झालेले कोणतेही सेवा क्रेडिट्स किंवा दंड लागू करणे.

**परिणाम (Outcome):** SLA च्या अनुपालनात सेवेचे सातत्यपूर्ण वितरण, सेवा गुणवत्तेचे सक्रिय व्यवस्थापन आणि पारदर्शक अहवाल.

#### 5. सेवामुक्त करणे टप्पा (De-commissioning or Termination/Review Phase):

हा अंतिम टप्पा सेवा करार संपल्यावर येतो, जो कराराची मुदत संपल्यामुळे, नूतनीकरण न झाल्यामुळे, लवकर संपवल्यामुळे किंवा नवीन करार करण्यायोग्य गरजांमध्ये महत्त्वपूर्ण बदल झाल्यामुळे असू शकतो.

**उद्दिष्ट:** सेवेची सहज, व्यवस्थित आणि सुरक्षित समाप्ती तसेच करारिक संबंधांची औपचारिक सांगता सुनिश्चित करणे.

##### कृती (Activities):

1. **सूचना (Notification):** SLA मध्ये निर्दिष्ट केलेल्या सूचना कालावधीचे पालन करून, कोणत्याही पक्षाद्वारे कराराची समाप्ती किंवा नूतनीकरण न करण्याबाबतची औपचारिक सूचना.
2. **डेटा स्थलांतर/हस्तांतरण (Data Migration/Transfer):** ग्राहकाला त्यांचा डेटा आणि ॲप्लिकेशन्स नवीन वातावरणात स्थलांतरित करण्यास (लागू असल्यास) मदत करणे किंवा डेटा धारणा धोरणे (retention policies) आणि अनुपालन आवश्यकतांनुसार (compliance requirements) डेटा सुरक्षितपणे हटवणे सुनिश्चित करणे.
3. **संसाधन डी-प्रोव्हिजनिंग (Resource De-provisioning):** ग्राहकाच्या सेवेसाठी समर्पित असलेले सर्व व्हर्च्युअल आणि भौतिक संसाधने (VMs, स्टोरेज, नेटवर्क कॉन्फिगरेशन्स) वाटप रद्द करणे आणि निष्क्रिय करणे.
4. **अंतिम बिलिंग आणि सेटलमेंट (Final Billing & Settlement):** अंतिम इनव्हॉइसवर प्रक्रिया करणे, कोणतीही थकबाकी फेडणे आणि कोणतेही अंतिम दंड किंवा क्रेडिट्स मोजणे/लागू करणे.
5. **पोस्ट-मॉर्टेम Lessons Learned - ऐच्छिक परंतु शिफारस केलेले):** वैकल्पिकरित्या, भविष्यातील करार किंवा सेवा वितरण प्रक्रियेतील काय चांगले होते, काय नाही आणि सुधारणेची क्षेत्रे ओळखण्यासाठी संपूर्ण सेवा जीवनचक्राचे पुनरावलोकन करणे.

**6. करारिक समाप्ती (Contractual Closure):** कराराची औपचारिक समाप्ती, दोन्ही पक्षांनी सर्व कायदेशीर आणि करारिक जबाबदाऱ्या पूर्ण केल्याची खात्री करणे.

**परिणाम (Outcome):** सेवा संबंधांचा एक संघटित आणि सलोख्याने अंत, ज्यामध्ये सर्व डेटा सुरक्षितपणे हाताळला जातो, संसाधने परत मिळवली जातात आणि आर्थिक बाबींचे निराकरण होते.

हे पाच टप्पे सेवा स्तर कराराच्या संपूर्ण आयुष्याचे व्यवस्थापन करण्यासाठी एक व्यापक फ्रेमवर्क (चौकट) प्रदान करतात, ज्यामुळे सेवेच्या वितरणात स्पष्टता, जबाबदारी आणि सतत सुधारणा सुनिश्चित होते.

**3.6 क्लाउड सेवा जीवनचक्र टप्पे (Cloud Service life cycle phases):** सेवा नियोजन (Service Planning), सेवा निर्मिती (Service Creation), सेवा कार्यन्वयन (Service Operation) आणि सेवा समाप्ती (Service Termination):

क्लाउड सेवा जीवनचक्र हे क्लाउड सेवेच्या प्रारंभिक संकल्पनेपासून (initial conceptualization) तिच्या अंतिम निवृत्तीपर्यंत (eventual retirement) व्यवस्थापनामध्ये समाविष्ट असलेल्या पद्धतशीर टप्प्यांची रूपरेषा (outlines) दर्शवते. हा संरचित दृष्टिकोन क्लाउड सेवा प्रदात्यांना (CSPs) आणि अंतर्गत IT विभागांना क्लाउड-आधारित ऑफर्स कार्यक्षमतेने आणि प्रभावीपणे वितरित करण्यास, व्यवस्थापित करण्यास आणि विकसित करण्यास मदत करतो.

**1. सेवा नियोजन टप्पा (Service Planning Phase):**

हा प्रारंभिक आणि महत्त्वाचा टप्पा आहे, जिथे ओळखलेल्या व्यावसायिक गरजा आणि संधींवर आधारित नवीन क्लाउड सेवा तयार करण्याचा किंवा अस्तित्वात असलेल्या सेवेमध्ये लक्षणीय सुधारणा करण्याचा निर्णय घेतला जातो.

**उद्दिष्ट:** सेवा काय असेल, ती कोणाला सेवा देईल, तिची तांत्रिक आणि व्यावसायिक आवश्यकता काय आहेत आणि ती एकूण धोरणाशी कशी जुळते हे परिभाषित करणे.

**प्रमुख कृती (Key Activities):**

- 1. गरजांचे मूल्यांकन (Needs Assessment):** सेवा कोणत्या बाजारपेठेतील मागण्या, ग्राहकांच्या समस्या किंवा अंतर्गत व्यावसायिक गरजा पूर्ण करेल हे ओळखणे.
- 2. सेवा व्याख्या आणि व्याप्ती (Service Definition & Scope):** क्लाउड सेवेची कार्यक्षमता, वैशिष्ट्ये, लक्षित प्रेक्षक आणि मर्यादा स्पष्टपणे परिभाषित करणे. ती काय करेल? ती काय करणार नाही?
- 3. व्यवसाय प्रकरण विकास (Business Case Development):** खर्च-लाभ विश्लेषण, महसूल अंदाज (व्यावसायिक सेवांसाठी), संसाधन वाटप आणि गुंतवणुकीवरील परतावा (ROI) अंदाज यासह एक व्यापक योजना तयार करणे.
- 4. आर्किटेक्चरल डिझाइन (Architectural Design):** क्लाउड प्लॅटफॉर्म, सेवा (IaaS, PaaS, SaaS घटक), डेटाबेस सोल्यूशन्स, नेटवर्किंग कॉन्फिगरेशन्स आणि सुरक्षा मॉडेल्स निवडण्यासह सेवेचे तांत्रिक आर्किटेक्चर डिझाइन करणे.
- 5. SLA व्याख्या (SLA Definition):** कार्यप्रदर्शन मेट्रिक्स (उदा. अपटाइम, प्रतिसाद वेळ), विश्वासार्हता, सुरक्षा आणि समर्थन वचनबद्धता निर्दिष्ट करणारे प्रारंभिक सेवा स्तर करार (SLAs) तयार करणे.
- 6. अनुपालन आणि प्रशासन नियोजन (Compliance & Governance Planning):** नियामक अनुपालन (उदा. GDPR, HIPAA), सुरक्षा मानके आणि अंतर्गत प्रशासन धोरणांची ओळख आणि नियोजन करणे.
- 7. संसाधन नियोजन (Resource Planning):** सेवा निर्मिती आणि कार्यान्वयनासाठी आवश्यक मानवी संसाधने, तांत्रिक साधने आणि आर्थिक गुंतवणूकी निश्चित करणे.

**परिणाम (Outcome):** एक तपशीलवार सेवा आराखडा (blueprint), एक मजबूत व्यवसाय योजना आणि एक व्यापक तांत्रिक डिझाइन, जे विकास आणि अंमलबजावणी टप्प्यांसाठी तयार आहे.

**2. सेवा निर्मिती टप्पा (Service Creation Phase):**

या टप्प्यात मागील टप्प्यात विकसित केलेल्या योजनांवर आधारित क्लाउड सेवेचे प्रत्यक्ष बांधकाम, चाचणी आणि डिप्लॉयमेंट (deployment) समाविष्ट आहे.

**उद्दिष्ट:** क्लाउड सेवेचा विकास करणे, एकात्मिकरण करणे, चाचणी करणे आणि कार्यान्वित स्थितीत डिप्लॉय करणे.

**प्रमुख कृती (Key Activities):**

- विकास आणि कॉन्फिगरेशन (Development & Configuration):** ॲप्लिकेशन लॉजिकची कोडिंग करणे, क्लाउड इन्फ्रास्ट्रक्चर संसाधने (व्हर्च्युअल मशीन्स, कंटेनर्स, सर्वरलेस फंक्शन्स, स्टोरेज, नेटवर्किंग) कॉन्फिगर करणे आणि आवश्यक प्लॅटफॉर्म सेवा सेट करणे.
- एकात्मिकरण (Integration):** सेवेचे इतर अंतर्गत प्रणाली, तृतीय-पक्ष सेवा आणि आवश्यक APIs सह एकात्मिकरण करणे.
- चाचणी (युनिट, एकात्मिकरण, प्रणाली, कार्यप्रदर्शन, सुरक्षा) (Testing - Unit, Integration, System, Performance, Security):** विविध परिस्थितीत कार्यक्षमता, कार्यप्रदर्शन, स्केलेबिलिटी, सुरक्षा आणि विश्वासाहता सुनिश्चित करण्यासाठी सेवेच्या सर्व पैलूंची कठोरपणे चाचणी करणे. यात परिभाषित SLA उद्दिष्टांविरुद्ध पडताळणी समाविष्ट आहे.
- पायाभूत सुविधा प्रोव्हिजनिंग (Infrastructure Provisioning):** कोड म्हणून पायाभूत सुविधा (Infrastructure as Code - IaC) साधनांचा वापर करून क्लाउड इन्फ्रास्ट्रक्चरच्या प्रोव्हिजनिंगला स्वयंचलित करणे (उदा. Terraform, CloudFormation).
- डिप्लॉयमेंट (Deployment):** चाचणी केलेल्या सेवेला उत्पादन-सज्ज वातावरणात डिप्लॉय करणे, ज्यात सामान्यतः ॲटोमेशनसाठी CI/CD पाइपलाइन समाविष्ट असतात.
- दस्तऐवजीकरण आणि प्रशिक्षण (Documentation & Training):** वापरकर्ता मार्गदर्शक, कार्यात्मक मॅन्युअल तयार करणे आणि सपोर्ट कर्मचाऱ्यांसाठी तसेच संभाव्य वापरकर्त्यांसाठी प्रशिक्षण प्रदान करणे.

**परिणाम (Outcome):** पूर्णपणे तयार केलेली, कसून चाचणी केलेली आणि यशस्वीरित्या डिप्लॉय केलेली क्लाउड सेवा, जी थेट कार्यान्वित आणि वापरकर्त्यांद्वारे वापरण्यासाठी तयार आहे.

**3. सेवा कार्यन्वयन टप्पा (Service Operation Phase):**

हा क्लाउड सेवा जीवनचक्राचा सर्वात मोठा टप्पा आहे, जिथे ग्राहकांना सेवा सक्रियपणे प्रदान केली जाते, सतत निरीक्षण केले जाते, देखभाल केली जाते आणि ॲप्टिमाइझ केली जाते.

**उद्दिष्ट:** परिभाषित SLAs पूर्ण करत किंवा ओलांडत असताना आणि संसाधन वापराचे ॲप्टिमायझेशन करत असताना सेवेचे सतत, विश्वसनीय आणि सुरक्षित वितरण सुनिश्चित करणे.

**प्रमुख कृती (Key Activities):**

- मॉनिटरिंग आणि अलर्टिंग (Monitoring & Alerting):** समर्पित साधनांचा वापर करून सेवेचे कार्यप्रदर्शन, उपलब्धता, सुरक्षा आणि संसाधन वापराचे सतत निरीक्षण करणे. विसंगती किंवा संभाव्य समस्यांसाठी अलर्ट सेट करणे.
- घटना व्यवस्थापन (Incident Management):** परिभाषित प्रतिसाद आणि निराकरण वेळेनुसार सेवा घटना, आउटेज (outages) किंवा कार्यप्रदर्शन घट त्वरित शोधणे, निदान करणे आणि निराकरण करणे.
- समस्या व्यवस्थापन (Problem Management):** अंतर्निहित समस्या ओळखण्यासाठी आणि भविष्यातील घटना टाळण्यासाठी वारंवार घडणाऱ्या घटनांचे मूळ कारण विश्लेषण करणे.
- बदल व्यवस्थापन (Change Management):** सेवा, तिची कॉन्फिगरेशन्स किंवा अंतर्निहित पायाभूत सुविधांमध्ये होणारे सर्व बदल नियंत्रित आणि पद्धतशीरपणे व्यवस्थापित करणे, ज्यामुळे व्यत्यय कमी होतो.
- क्षमता व्यवस्थापन आणि स्केलिंग (Capacity Management & Scaling):** मागणीतील चढ-उतार आणि वाढीच्या अंदाजानुसार संसाधनांचे सक्रियपणे व्यवस्थापन आणि स्केलिंग (वाढवणे किंवा कमी करणे) करणे, ज्यामुळे इष्टतम कार्यप्रदर्शन आणि खर्च-कार्यक्षमता सुनिश्चित होते.
- सुरक्षा व्यवस्थापन (Security Management):** सतत सुरक्षा मॉनिटरिंग, असुरक्षा व्यवस्थापन (vulnerability management), पॅच व्यवस्थापन आणि सुरक्षा घटनांना प्रतिसाद देणे.
- बॅकअप आणि आपत्ती पुनर्प्राप्ती (Backup & Disaster Recovery):** डेटा आणि कॉन्फिगरेशन्सचा नियमितपणे बॅकअप घेणे आणि आपत्ती पुनर्प्राप्ती योजनांची चाचणी करणे आणि त्यांची देखभाल करणे सुनिश्चित करणे.

8. **ग्राहक समर्थन (Customer Support):** सेवेच्या संबंधित कोणत्याही समस्या, प्रश्न किंवा वैशिष्ट्य विनंत्यांसाठी वापरकर्त्यांना समर्थन प्रदान करणे.
9. **कार्यप्रदर्शन अहवाल आणि पुनरावलोकन (Performance Reporting & Review):** SLA पालनावर, वापराबाबत आणि कार्यप्रदर्शनावर नियमित अहवाल तयार करणे आणि भागधारकांसोबत वेळोवेळी पुनरावलोकने आयोजित करणे.

**परिणाम (Outcome):** सुसंगत, उच्च-गुणवत्तेची सेवा वितरण, कार्यान्वित कार्यक्षमता आणि सेवा आरोग्य तसेच ग्राहक समाधान राखण्यासाठी एक सक्रिय दृष्टिकोन.

#### 4. सेवा समाप्ती टप्पा (Service Termination Phase):

हा अंतिम टप्पा तेव्हा येतो जेव्हा क्लाउड सेवा तिच्या उपयुक्त आयुष्याच्या शेवटी पोहोचते, नवीन सेवेद्वारे बदलली जाते किंवा तिची यापुढे आवश्यकता नसते.

**उद्दिष्ट:** डेटा हाताळणी, संसाधन डी-प्रोव्हिजनिंग (resource de-provisioning) आणि आर्थिक तोडगा यासह सेवेची सहज, सुरक्षित आणि व्यवस्थित समाप्ती सुनिश्चित करणे.

#### प्रमुख कृती (Key Activities):

1. **सेवामुक्त करणे नियोजन (De-commissioning Planning):** सेवेच्या व्यवस्थित निवृत्तीसाठी योजना विकसित करणे, ज्यात वेळेचे वेळापत्रक (timelines) आणि जबाबदार पक्ष (responsible parties) यांचा समावेश आहे.
2. **ग्राहक सूचना (Customer Notification):** प्रभावित ग्राहकांना आणि भागधारकांना सेवा समाप्तीबद्दल वेळेपूर्वी माहिती देणे, स्थलांतर मार्ग (migration paths) किंवा डेटा पुनर्प्राप्ती (data retrieval) याबाबत मार्गदर्शन प्रदान करणे.
3. **डेटा बॅकअप आणि स्थलांतर (Data Backup & Migration):** ग्राहकांना (लागू असल्यास) त्यांचा डेटा बॅकअप घेण्यास किंवा पर्यायी सोल्यूशनवर स्थलांतरित करण्यास मदत करणे.
4. **डेटा हटवणे आणि सॅनिटायझेशन (Data Deletion & Sanitization):** डेटा धारणा धोरणे (data retention policies) आणि नियमांनुसार (regulations) क्लाउड इन्फ्रास्ट्रक्चरमधून सर्व ग्राहक डेटा आणि सेवा-संबंधित माहिती सुरक्षितपणे हटवणे.
5. **संसाधन डी-प्रोव्हिजनिंग (Resource De-provisioning):** अनावश्यक खर्च टाळण्यासाठी सेवेला समर्थन देत असलेले सर्व क्लाउड इन्फ्रास्ट्रक्चर संसाधने (VMs, स्टोरेज, नेटवर्क घटक) पद्धतशीरपणे वाटप रद्द करणे आणि काढून टाकणे.
6. **अंतिम आर्थिक तोडगा (Final Financial Settlement):** अंतिम इनव्हॉइसवर प्रक्रिया करणे, कोणतीही थकबाकी फेडणे आणि सर्व आर्थिक बाबी बंद केल्या आहेत याची खात्री करणे.
7. **पोस्ट-मॉर्टेम पुनरावलोकन (Post-Mortem Review):** संपूर्ण सेवा जीवनचक्रातून शिकलेले धडे कॅप्चर करण्यासाठी, भविष्यातील सेवा ऑफर्समध्ये सर्वोत्तम पद्धती आणि सुधारणेची क्षेत्रे ओळखण्यासाठी अंतिम पुनरावलोकन करणे.
8. **औपचारिक समाप्ती (Formal Closure):** सेवा कॅटलॉगमधून आणि अंतर्गत रेकॉर्डमधून सेवेची अधिकृतपणे निवृत्ती करणे.

#### References:

1. Cloud Computing, Principals and Paradigms by Rajkumar Buyya, James Broberg, Andrzej Goscinski A John Willy & Sons, Inc., Publication, ISBN: 978-0-470-88799-8
2. Cloud Computing by Sharma Rishabh Wiley Publication, ISBN: 978-81-265-5306-8
3. Mastering Cloud Computing by Christian Vecchiola, Rajkumar Buyya, and S.Thamarai Selvi, McGraw Hill Publication, ISBN 978-1-25-902995-0
4. Cloud Computing by Singh Shailendra, Oxford University Press, ISBN: 978-0199477388

5. Cloud Computing: A Hands-On Approach by Arshdeep Bahga, Vijay Madisetti, Self published, ISBN 1494435144, 9781494435141

**Websites:**

1. <https://www.geeksforgeeks.org/>
2. <https://www.tutorialspoint.com/>
3. <https://techsparks.co.in/>

**E-learning material (Video lectures)**

1. <https://www.youtube.com/watch?v=nZbeTvS93jA>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=PEzLsgjNqd0>

## युनिट-4

### क्लाऊड कॉम्प्युटिंगची सुरक्षा

#### (Security in Cloud Computing)

#### विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

CO4: क्लाऊड कंप्युटिंगमध्ये सुरक्षितता वापरणे.

#### घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcome-TLO):

- क्लाऊड कंप्युटिंगमधील सुरक्षा आणि संबंधित धोके स्पष्ट करा दिलेल्या सेवांवर क्लाऊड डिप्लॉयमेंट मॉडेलची तुलना करा.
- डेटा सुरक्षेची प्रमुख वैशिष्ट्ये स्पष्ट करा.
- क्लाऊड डेटा सुरक्षा लागू करण्याची पावले स्पष्ट करा.
- क्लाऊड कंप्युटिंगमध्ये ओळख व्यवस्थापन आणि प्रवेश सुविधा हा सुरक्षेचा कणा आहे.
- सिक्युरिटी-अॅज-अ-सर्व्हिस ची प्रमुख वैशिष्ट्ये स्पष्ट करा.

#### 4.1 क्लाऊड सुरक्षा ( Cloud Security Concepts):

क्लाऊड सुरक्षा म्हणजे क्लाऊडमधील डेटा, ॲप्लिकेशन्स आणि पायाभूत सुविधांना हॅकर्स व धोक्यांपासून वाचवणारे तंत्रज्ञान, धोरणे, नियंत्रणे आणि सेवा. क्लाऊडमध्ये साठवलेल्या त्यांच्या डेटाच्या सुरक्षिततेबद्दल चिंतित असलेल्या अनेक वापरकर्त्यांसाठी क्लाऊड सुरक्षा अत्यंत आवश्यक आहे. क्लाऊडमध्ये साठवलेला डेटा अधिक सुरक्षित असतो, कारण क्लाऊड सेवा प्रदात्यांकडे (Cloud Service Providers) उत्कृष्ट सुरक्षा उपाय असतात आणि त्यांचे कर्मचारी उच्च श्रेणीचे सुरक्षा तज्ञ असतात..

**4.1.1 मल्टी-टेनन्सी (Multi-tenancy):** हा एक प्रकारचा सॉफ्टवेअर आर्किटेक्चर आहे, जिथे सॉफ्टवेअरचा एकच इन्स्टन्स (single software instance) अनेक भिन्न वापरकर्ता गटांना सेवा देऊ शकतो. याचा अर्थ असा की, क्लाऊड विक्रेत्याचे (cloud vendor) अनेक ग्राहक एकाच कंप्युटिंग संसाधनांचा (computing resources) वापर करत असतात. जरी ते समान कंप्युटिंग संसाधने वापरत असले तरी, प्रत्येक क्लाऊड ग्राहकाचा डेटा पूर्णपणे वेगळा आणि सुरक्षित ठेवला जातो. क्लाऊड कंप्युटिंगमध्ये ही एक अतिशय महत्त्वाची संकल्पना आहे. क्लाऊड कंप्युटिंगमध्ये मल्टी-टेनन्सीला 'शेअर्ड होस्ट' (shared host) असेही संबोधले जाते, जिथे समान संसाधने वेगवेगळ्या ग्राहकांमध्ये विभागली जातात. क्लाऊड कंप्युटिंगमध्ये मल्टी-टेनन्सी सुरक्षा (Multi-tenancy security) म्हणजे, अशा सामायिक वातावरणात (shared environment) डेटा आणि संसाधनांचे संरक्षण करण्यासाठी उपाययोजना करणे, जिथे अनेक वापरकर्ते (टेनन्ट्स) समान पायाभूत सुविधांचा (infrastructure) उपयोग करतात.

#### 4.1.2 व्हर्च्युअलायझेशन (Virtualization):

व्हर्च्युअलायझेशन (Virtualization) हे क्लाऊड कंप्युटिंगचा पाया आहे. या तंत्रज्ञानामुळे एकाच भौतिक हार्डवेअरवर (उदा. सर्व्हर) अनेक व्हर्च्युअल मशीन्स (Virtual Machines - VMs) किंवा इतर व्हर्च्युअल संसाधने (virtual resources) तयार करता येतात आणि चालवता येतात. यामुळे संसाधनांचा (resources) अधिक चांगल्या प्रकारे वापर होतो आणि लवचिकता (flexibility) वाढते. मात्र, याच व्हर्च्युअलायझेशनमुळे क्लाऊड सुरक्षिततेसाठी काही विशिष्ट आव्हाने आणि धोके (risks) निर्माण होतात, तसेच काही सुरक्षा फायदेही मिळतात.

व्हर्च्युअलायझेशन तंत्रज्ञान हायपरवायझर (Hypervisor) नावाच्या सॉफ्टवेअरवर आधारित आहे. हायपरवायझर भौतिक हार्डवेअर आणि त्यावरील व्हर्च्युअल मशीन यांच्यामध्ये एक थर (layer) म्हणून काम करतो. तो भौतिक संसाधने (CPU, मेमरी, स्टोरेज, नेटवर्क) व्हर्च्युअल मशीन्समध्ये विभागून देतो, ज्यामुळे प्रत्येक VM ला स्वतःचे स्वतंत्र ऑपरेटिंग सिस्टीम (OS) आणि ॲप्लिकेशन्स चालवता येतात.

#### व्हर्च्युअलायझेशनमुळे मिळणारे सुरक्षा फायदे (Security Benefits provided by Virtualization):

- विलगीकरण (Isolation):** प्रत्येक VM दुसऱ्या VM पासून स्वतंत्रपणे चालते. जर एका VM ला मालवेअरचा संसर्ग झाला, तर तो सहसा दुसऱ्या VM मध्ये पसरत नाही.

2. **जलद प्रोव्हिजनिंग आणि पॅचिंग (Rapid Provisioning and Patching):** VMs जलद गतीने तयार करता येतात आणि अपडेट (पॅच) करता येतात. यामुळे असुरक्षितता आढळल्यास जलद प्रतिसाद देणे शक्य होते.
3. **स्नॅपशॉट आणि रोलबॅक (Snapshots and Rollbacks):** VMs चे स्नॅपशॉट (एका विशिष्ट क्षणाचे रेकॉर्ड) घेऊन ठेवता येतात. यामुळे सुरक्षा उल्लंघनाच्या किंवा बिघाडाच्या बाबतीत, VM ला मागील सुरक्षित स्थितीत (rollback) आणणे सोपे होते.
4. **संदिग्ध क्रियाकलापांचे विश्लेषण (Malware Analysis/Sandboxing):** संशयास्पद सॉफ्टवेअर किंवा मालवेअर तपासण्यासाठी वेगळ्या, विलगीकृत VMs (सँडबॉक्स) वापरल्या जाऊ शकतात, ज्यामुळे मुख्य वातावरणाची सुरक्षा धोक्यात येत नाही.
5. **आपत्कालीन पुनर्प्राप्ती (Disaster Recovery):** VMs चे बॅकअप घेणे आणि त्यांना वेगळ्या भौतिक सर्व्हरवर किंवा डेटा सेंटरमध्ये त्वरित रिस्टोर करणे सोपे होते, ज्यामुळे आपत्कालीन परिस्थितीत डेटा आणि सेवांची उपलब्धता सुनिश्चित होते.

#### 4.1.3 डेटा आउटसोर्सिंग (Data Outsourcing):

क्लाउड कंप्युटिंगमध्ये **डेटा आउटसोर्सिंग (Data Outsourcing)**, जेव्हा क्लाउड सुरक्षेच्या दृष्टिकोनातून पाहिले जाते, तेव्हा संस्थांना त्यांच्या माहितीचे संरक्षण करण्यासाठी काही महत्त्वपूर्ण संकल्पना समजून घेणे आवश्यक असते. हे केवळ डेटा हलवण्यापुरते मर्यादित नाही, तर सामायिक (shared) आणि वितरित (distributed) वातावरणात संबंधित धोके (risks) आणि जबाबदाऱ्या (responsibilities) व्यवस्थापित करण्याबद्दल आहे.

**सामायिक जबाबदारीचे मॉडेल (Shared Responsibility Model):** ही एक मूलभूत संकल्पना आहे. जेव्हा तुम्ही डेटा क्लाउडवर आउटसोर्स करता, तेव्हा सुरक्षेची जबाबदारी केवळ तुमची एकट्याची राहत नाही. ती तुमच्या (ग्राहक) आणि क्लाउड सेवा प्रदात्याच्या (CSP) यांच्यातील **सामायिक प्रयत्न** असते. CSP मूलभूत पायाभूत सुविधांच्या सुरक्षिततेसाठी जबाबदार असतो – म्हणजेच भौतिक डेटा सेंटर्स, नेटवर्किंग हार्डवेअर, हायपरवायझर्स आणि ते प्रदान करत असलेल्या सेवांची सुरक्षितता. ते 'क्लाउड स्वतः सुरक्षित' असल्याची खात्री करतात.

#### 4.1.4 विश्वास व्यवस्थापन (Trust Management):

क्लाउड सुरक्षेमध्ये विश्वास व्यवस्थापन (Trust Management) ही एक अत्यंत महत्त्वाची संकल्पना आहे, जी क्लाउड सेवा प्रदाते (CSPs), ग्राहक (customers) आणि क्लाउड इकोसिस्टममध्ये कार्यरत असलेल्या विविध घटकांमधील संपूर्ण संबंधाचा आधार आहे. सोप्या भाषेत सांगायचे तर, क्लाउड वातावरणातील सर्व सहभागी आणि घटकांची विश्वसनीयता (trustworthiness) स्थापित करणे, ती टिकवून ठेवणे आणि तिचे मूल्यांकन करणे म्हणजे विश्वास व्यवस्थापन होय.

**विश्वास व्यवस्थापनाचे प्रमुख पैलू आणि आव्हाने (Key Aspects and Challenges of Trust Management):**

##### 1. पारदर्शकता आणि दृश्यमानता (Transparency and Visibility):

**आव्हानात्मक पैलू:** क्लाउड सेवा प्रदाते (CSPs) अनेकदा काही प्रमाणात अमूर्ततेमध्ये (abstraction) कार्य करतात, याचा अर्थ ग्राहकांना त्यांच्या मूलभूत पायाभूत सुविधांची (underlying infrastructure) पूर्ण दृश्यमानता नसते. ही पारदर्शकतेची कमतरता विश्वास निर्माण करणे आणि तो टिकवून ठेवणे आव्हानात्मक बनवू शकते.

**उपाय:** CSPs नी स्पष्ट दस्तऐवजीकरण (documentation), ऑडिट अहवाल (audit reports) आणि देखरेख क्षमता (monitoring capabilities) प्रदान करणे आवश्यक आहे, ज्यामुळे ग्राहकांना त्यांच्या डेटाची सुरक्षा कशी व्यवस्थापित केली जाते हे पाहता येईल.

##### 2. क्लाउडचे गतिशील स्वरूप (Dynamic Nature of Cloud):

**आव्हानात्मक पैलू:** क्लाउड वातावरण अत्यंत गतिशील (dynamic) असते, जिथे संसाधने सतत वाढत (scaling up) किंवा कमी होत (scaling down) असतात. या प्रवाहीपणामुळे (fluidity) पारंपारिक, स्थिर वातावरणापेक्षा सतत विश्वासाचे मूल्यांकन करणे आणि धोरणे (policies) लागू करणे अधिक जटिल होते.

**परिणाम:** जलद बदलणाऱ्या क्लाउडमध्ये सुरक्षेची मानके आणि विश्वास पातळी सातत्याने राखणे हे एक मोठे आव्हान आहे.

### 3. विषम स्वरूप आणि आंतरकार्यक्षमता (Heterogeneity and Interoperability):

**आव्हानात्मक पैलू:** संस्था अनेकदा एकापेक्षा जास्त CSPs आणि हायब्रिड क्लाउड मॉडेल्स वापरतात, ज्यामुळे विषम (heterogeneous) वातावरण निर्माण होते. वेगवेगळ्या प्लॅटफॉर्मवर विश्वास व्यवस्थापन सातत्यपूर्णपणे स्थापित करणे आणि विविध विश्वास यंत्रणांना (trust mechanisms) एकत्रित करणे हे एक महत्त्वपूर्ण आव्हान आहे.

**गरज:** विविध क्लाउड सेवांमध्ये आणि ऑन-प्रिमायसेस प्रणालींमध्ये अखंड विश्वासाहता सुनिश्चित करण्यासाठी प्रमाणित आणि सुसंगत विश्वास व्यवस्थापन प्रणाली आवश्यक आहे.

### 4. विश्वासाचे प्रमाणीकरण (Quantifying Trust):

**आव्हानात्मक पैलू:** विश्वासाहतेचे वस्तुनिष्ठपणे प्रमाणीकरण करण्यासाठी मेट्रिक्स (metrics) आणि पद्धती (methodologies) परिभाषित करणे कठीण असू शकते.

**मूल्यांकन:** यामध्ये सहसा प्रतिष्ठा (reputation), मागील वर्तन (past behavior), सुरक्षा प्रमाणपत्रे (security certifications), ऑडिटचे निकाल (audit results) आणि सेवा स्तर करार (SLAs - Service Level Agreements) चे पालन यासारख्या घटकांचे मूल्यांकन करणे समाविष्ट असते.

### 5. अंतर्गत धोके (Insider Threats):

**आव्हानात्मक पैलू:** CSP च्या अंतर्गत तसेच ग्राहक संस्थेमध्ये, अंतर्गत धोके (सद्देतू नसलेले किंवा निष्काळजी) महत्त्वपूर्ण विश्वास आव्हाने निर्माण करतात. विश्वासाह मानल्या गेलेल्या व्यक्तीकडून डेटाची गळती किंवा गैरवापर होण्याची शक्यता असते.

**उपाय:** कठोर प्रवेश नियंत्रण, सतत मॉनिटरिंग आणि कर्मचाऱ्यांसाठी सुरक्षा प्रशिक्षण या धोक्यांना कमी करण्यास मदत करते.

### 6. विश्वासाचे प्रतिनिधीकरण (Trust Delegation):

**आव्हानात्मक पैलू:** जटिल क्लाउड आर्किटेक्चरमध्ये, विश्वास एका घटकाकडून दुसऱ्या घटकाकडे प्रतिनिधीकरण (delegated) करण्याची आवश्यकता असू शकते (उदा. ग्राहक SaaS प्रदात्यावर विश्वास ठेवतो, जो बदलेत IaaS प्रदात्यावर विश्वास ठेवतो). या विश्वास साखळ्या (trust chains) व्यवस्थापित करणे खूप महत्त्वाचे आहे.

**गरज:** या साखळ्यांमधील प्रत्येक दुवा सुरक्षित आणि विश्वसनीय असल्याची खात्री करणे आवश्यक आहे, कारण साखळीतील कोणताही कमकुवत दुवा संपूर्ण प्रणालीला धोक्यात आणू शकतो.

#### 4.1.5 मेटाडेटा सुरक्षा (Metadata security):

क्लाउड वातावरणातील मेटाडेटा सुरक्षा (Metadata Security) हा एकूण क्लाउड सुरक्षिततेचा एक महत्त्वाचा पैलू आहे. क्लाउड मेटाडेटा म्हणजे तुमच्या क्लाउड संसाधनांमधील (cloud resources) "डेटाबद्दलचा डेटा" (data about data). यात व्हर्च्युअल मशीन्सबद्दलची माहिती (उदाहरणार्थ, इन्स्टन्स आयडी, आयपी अॅड्रेस, मशीनचा प्रकार, सुरक्षा सेटिंग्ज), स्टोरेज बकेट्सबद्दलची माहिती (मालक, स्थान, टॅग्स), नेटवर्क्स, ॲप्लिकेशन्स आणि बरेच काही समाविष्ट असते.

मेटाडेटा सुरक्षा क्लाउड सुरक्षिततेवर कसा परिणाम करते (How Metadata Security Impacts Cloud Security):

**हल्लेखोरांसाठी हेरगिरी (Reconnaissance for Attackers):** हल्लेखोर तुमच्या क्लाउड पायाभूत सुविधांबद्दल (cloud infrastructure) महत्त्वाची माहिती गोळा करण्यासाठी उघड किंवा असुरक्षित मेटाडेटाचा वापर करू शकतात. ही माहिती त्यांना तुमच्या संरचनेत कमजोरी शोधण्यासाठी मदत करते.

**सॉफ्टवेअर पुरवठा साखळीचे तपशील (Software Supply Chain Details):** मेटाडेटा ऑपरेटिंग सिस्टीम (operating systems), दस्तऐवज व्यवस्थापन पद्धती (document management practices) आणि ज्ञात असुरक्षितता (known vulnerabilities) असलेल्या सॉफ्टवेअर आवृत्त्या (software versions) उघड करू शकतो. याचा वापर हल्लेखोर विशिष्ट हल्ले करण्यासाठी करू शकतात.

**क्रियाकलाप लॉग्स (Activity Logs):** मेटाडेटा सक्रिय प्रकल्प (active projects), उच्च-मूल्याचा डेटा (high-value data) आणि वापर नमुने (usage patterns) उघड करू शकतो. यामुळे हल्लेखोरांना सर्वात महत्त्वाच्या लक्ष्यांची माहिती मिळते.

**नियमांचे पालन आणि गोपनीयतेचे उल्लंघन (Compliance and Privacy Violations):** उघड झालेला मेटाडेटा, विशेषतः ज्यात वैयक्तिक ओळखण्यायोग्य माहिती (PII) किंवा गोपनीय व्यावसायिक तपशील आहेत, यामुळे गोपनीयतेचे उल्लंघन, प्रतिष्ठेचे नुकसान, आर्थिक तोटा आणि कायदेशीर परिणाम (legal repercussions) होऊ शकतात.

**पुरवठा साखळीवरील हल्ले (Supply Chain Attacks):** सॉफ्टवेअर आवृत्त्या किंवा पायाभूत सुविधांच्या घटकांबद्दल तपशील उघड करणारा मेटाडेटा हल्लेखोरांना ज्ञात असुरक्षितता ओळखण्याची आणि लक्षित हल्ले (targeted attacks) तयार करण्याची परवानगी देऊ शकतो.

थोडक्यात, क्लाउडमधील मेटाडेटा जरी तांत्रिक व्यवस्थापनासाठी आवश्यक असला तरी, त्याचे योग्य सुरक्षा व्यवस्थापन करणे अत्यंत महत्त्वाचे आहे. दुर्लक्षित किंवा असुरक्षित मेटाडेटा हा हॅकर्ससाठी तुमच्या क्लाउड वातावरणात प्रवेश मिळवण्याचा एक सोपा मार्ग बनू शकतो.

**मेटाडेटा सुरक्षिततेतील आव्हाने (Challenges in Metadata Security):**

**1. प्रचंड प्रमाण आणि गुंतागुंत (Volume and Complexity):**

क्लाउड वातावरणामुळे विविध स्रोतांकडून (उदा. व्हर्च्युअल मशीन, स्टोरेज, नेटवर्क) मोठ्या प्रमाणात मेटाडेटा तयार होतो. या प्रचंड डेटाचा मागोवा घेणे, त्याचे वर्गीकरण करणे आणि त्याला सर्वसमावेशकपणे सुरक्षित करणे हे अत्यंत कठीण होते. एकाच वेळी इतक्या मोठ्या प्रमाणात आणि विविध प्रकारच्या मेटाडेटाचे व्यवस्थापन करणे हे एक मोठे आव्हान आहे.

**2. दृश्यमानतेचा अभाव (Lack of Visibility):**

क्लाउड वातावरणात पुरेशी दृश्यमानता (visibility) नसल्यामुळे संसाधनांचे कॉन्फिगरेशन (resource configurations), नेटवर्क ट्रॅफिक (network traffic) आणि वापरकर्त्यांच्या क्रियाकलापांची (user activities) माहिती अस्पष्ट राहू शकते.

यामुळे चुकीच्या कॉन्फिगरेशन्स (misconfigurations) किंवा संशयास्पद मेटाडेटा अॅक्सेस ओळखणे कठीण होते, कारण नेमके काय घडत आहे हे स्पष्ट दिसत नाही.

**3. गतिशील स्वरूप (Dynamic Nature):**

क्लाउड वातावरण सतत बदलत असते; संसाधने वारंवार तयार केली जातात (provisioned) आणि काढून टाकली जातात (de-provisioned). या सततच्या बदलामुळे अद्ययावित (up-to-date) आणि अचूक मेटाडेटा सुरक्षा धोरणे (security policies) राखणे आव्हानात्मक बनते, कारण धोरणे बदलत्या वातावरणाशी जुळवून घेणे आवश्यक असते.

**4. सामायिक जबाबदारीचे मॉडेल (Shared Responsibility Model):**

क्लाउड प्रदाता (Cloud Providers) मूलभूत पायाभूत सुविधांची (underlying infrastructure) सुरक्षा करतात हे खरे असले, तरी ग्राहक म्हणून तुमच्या डेटाची, ॲप्लिकेशन्सची आणि कॉन्फिगरेशन्सची सुरक्षा करण्याची जबाबदारी तुमची असते. तुमच्या संसाधनांशी संबंधित मेटाडेटाची सुरक्षा करण्याची जबाबदारी देखील यामध्ये समाविष्ट असते. ही सामायिक जबाबदारी कधीकधी सुरक्षा धोरणांमध्ये गोंधळ किंवा अंतर (gaps) निर्माण करू शकते, ज्यामुळे मेटाडेटा असुरक्षित राहण्याची शक्यता असते.

**4.2 क्लाउड धोका (Cloud Risk: Concept, Types of Cloud Risks):**

क्लाउड धोका म्हणजे क्लाउड कंप्युटिंग सेवा वापरताना एखाद्या संस्थेला आर्थिक नुकसान, प्रतिष्ठेला हानी, कामकाजात व्यत्यय किंवा नियामक दंड यांसारख्या नकारात्मक परिणामांची शक्यता. हे धोके क्लाउड वातावरणाशी संबंधित विविध घटकांमुळे निर्माण होतात, जसे की त्याचे सामायिक स्वरूप (shared nature), गतिशील पायाभूत सुविधा (dynamic infrastructure) आणि नियंत्रण ग्राहकाकडून क्लाउड सेवा प्रदात्याकडे (CSP) हस्तांतरित होणे.

**a. क्लाउड धोक्याचे प्रमुख पैलू (Key Aspects of Cloud Risk):**

**1. तृतीय पक्षावर अवलंबून असणे (Reliance on a Third Party):** क्लाउड कंप्युटिंगमधील मूलभूत बदल म्हणजे तुम्ही तुमचा डेटा, ॲप्लिकेशन्स आणि पायाभूत सुविधा एका तृतीय पक्ष क्लाउड सेवा प्रदात्याकडे (CSP) सोपवता. यामुळे लगेचच धोक्याचा एक नवीन थर (layer) निर्माण होतो, कारण तुमची सुरक्षा स्थिती आता अंशतः CSP च्या सुरक्षा पद्धतींवर अवलंबून असते. याचा अर्थ असा की, CSP च्या सुरक्षा कमतरतांचा थेट परिणाम तुमच्या सुरक्षिततेवर होऊ शकतो.

**2. सामायिक जबाबदारीचे मॉडेल (Shared Responsibility Model):** क्लाउड धोक्याचा एक महत्त्वाचा घटक म्हणजे "सामायिक जबाबदारीचे मॉडेल." हे मॉडेल सुरक्षेच्या कोणत्या पैलूसाठी कोण जबाबदार आहे हे परिभाषित करते. CSP सामान्यतः क्लाउडच्या सुरक्षिततेसाठी (security of the cloud) जबाबदार असतो (उदा. मूलभूत भौतिक पायाभूत सुविधा, नेटवर्क, व्हर्चुअलायझेशन). तर, ग्राहक क्लाउडमधील सुरक्षिततेसाठी (security in the cloud) जबाबदार असतो (उदा. त्यांचा डेटा, ॲप्लिकेशन्स, ऑपरेटिंग सिस्टीम, कॉन्फिगरेशन्स, वापरकर्ता प्रवेश). ग्राहकाच्या जबाबदाऱ्या समजून घेण्यात किंवा त्याकडे दुर्लक्ष करण्यातूनच क्लाउड धोक्याचा एक मोठा स्रोत निर्माण होतो.

**b. क्लाउड धोक्याचे प्रकार (Types of Cloud Risks):**

**1. डेटा-संबंधित धोके (Data-Related Risks):** हे धोके संवेदनशील डेटाच्या सुरक्षिततेशी थेट संबंधित आहेत.

**अनधिकृत प्रवेश किंवा डेटा गमावणे:** संवेदनशील डेटाचा अनधिकृत प्रवेश (unauthorized access), उघड होणे (disclosure), बदलणे (alteration) किंवा नष्ट होणे. यामुळे होणारे गंभीर परिणाम (आर्थिक, प्रतिष्ठेला हानी, कायदेशीर) यामुळे हा धोका सर्वात जास्त भीतीदायक मानला जातो.

**मानवी चुका:** मानवी चुकांमुळे (human error), चुकीच्या शेअरिंग सेटिंग्जमुळे (misconfigured sharing settings) किंवा असुरक्षित ॲप्लिकेशन डेव्हलपमेंटमुळे (insecure application development) संवेदनशील माहिती चुकून उघड होणे.

**डेटा भ्रष्टाचार:** डेटा खराब होणे (corrupted), चुकीच्या पद्धतीने बदलला जाणे (modified incorrectly), किंवा वितरित क्लाउड सिस्टममध्ये (distributed cloud systems) डेटा सिंक्रोनायझेशनच्या (synchronization) समस्यांमुळे विसंगती (inconsistencies) निर्माण होणे.

**2. ओळख आणि प्रवेश व्यवस्थापन (IAM) धोके (Identity and Access Management (IAM) Risks):**

हे धोके वापरकर्ते आणि सिस्टमना क्लाउड संसाधनांमध्ये प्रवेश कसा मिळतो आणि त्यांची ओळख कशी पटवली जाते याच्याशी संबंधित आहेत.

**कमकुवत प्रवेश नियंत्रणे:** प्रवेश नियंत्रणे कमकुवत असणे, अपुरी प्रमाणीकरण यंत्रणा (insufficient authentication mechanisms) (उदा. मल्टी-फॅक्टर ऑथेंटिकेशन - MFA चा अभाव), किंवा वापरकर्ते/भूमिका (user/role) यांना आवश्यकतेपेक्षा जास्त परवानग्या (overly permissive permissions) असणे.

**खाते हॅक होणे:** हॅक झालेल्या क्रेडेन्शियल्स (compromised credentials), फिशिंग (phishing) किंवा इतर मार्गांनी हल्लेखोरांना वैध क्लाउड खात्यांवर (legitimate cloud accounts) अनधिकृत नियंत्रण मिळवणे.

**3. कॉन्फिगरेशन आणि असुरक्षिततेचे धोके (Configuration and Vulnerability Risks):**

हे धोके क्लाउड सेवा कशा सेट केल्या जातात आणि त्यांची देखभाल कशी केली जाते किंवा सॉफ्टवेअरमधील जन्मजात कमतरतांमुळे निर्माण होतात.

**चुकीची कॉन्फिगरेशन:** क्लाउड संसाधने, सेवा किंवा सुरक्षा नियंत्रणे सेट करताना चुका होणे. क्लाउडमध्ये सुरक्षा उल्लंघनाचे (cloud breaches) हे सर्वात सामान्य कारण आहे. उदाहरणांमध्ये सार्वजनिकरित्या ॲक्सेस करण्यायोग्य स्टोरेज बकेट्स (publicly accessible storage buckets), उघडे नेटवर्क पोर्ट्स (open network ports), डिफॉल्ट पासवर्ड (default passwords), किंवा चुकीचे कॉन्फिगर केलेले सुरक्षा गट नियम (misconfigured security group rules) यांचा समावेश होतो.

**API असुरक्षितता:** क्लाउड सेवांशी संवाद साधण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या ॲप्लिकेशन प्रोग्रामिंग इंटरफेस (APIs) आणि व्यवस्थापन इंटरफेसमध्ये (management interfaces) असुरक्षितता असणे. हॅक झालेले API हल्लेखोरांना मोठ्या प्रमाणावर प्रवेश देऊ शकतात.

**सॉफ्टवेअरमधील असुरक्षितता:** क्लाउड वातावरणात तैनात केलेल्या ऑपरेटिंग सिस्टीम किंवा ॲप्लिकेशन्समध्ये पॅच न केलेले सॉफ्टवेअर (unpatched software), झीरो-डे एक्सप्लॉइट्स (zero-day exploits) किंवा असुरक्षित कोडिंग पद्धती (insecure coding practices) असणे.

**4. ऑपरेशनल आणि व्यवस्थापन धोके (Operational and Management Risks):**

यात क्लाउड वातावरणाचे दैनंदिन कामकाज आणि पर्यवेक्षण यांचा समावेश असतो.

**दृश्यमानतेचा अभाव:** क्लाउड असेट्स (assets), नेटवर्क ट्रॅफिक, वापरकर्त्यांच्या क्रियाकलाप आणि डेटा प्रवाहांबद्दल (data flows) सर्वसमावेशक माहिती मिळवण्यात अडचण येणे, ज्यामुळे धोके ओळखणे आणि घटनांना प्रतिसाद देणे कठीण होते.

**DDoS हल्ले:** क्लाउड सेवांवर मोठ्या प्रमाणावर ट्रॅफिकने हल्ला करणे, ज्यामुळे त्या कायदेशीर वापरकर्त्यांसाठी अनुपलब्ध होतात.

**संसाधनांचा अतिवापर:** ॲप्लिकेशन्सद्वारे (वैध किंवा दुर्भावनापूर्ण हेतूने) जास्त क्लाउड संसाधने वापरली जाणे, ज्यामुळे कार्यक्षमतेत घट होते किंवा खर्च वाढतो.

**सेवा व्यत्यय:** नैसर्गिक आपत्त्या (natural disasters), तांत्रिक बिघाड (technical failures) किंवा CSP च्या कर्मचाऱ्यांच्या मानवी चुकांमुळे क्लाउड सेवांमध्ये व्यत्यय येणे.

#### 5. अनुपालन आणि कायदेशीर धोके (Compliance and Legal Risks)

क्लाउडचा वापर करण्याच्या जटिलतेमुळे विशिष्ट उद्योग-नियमां (उदा. GDPR, HIPAA, PCI DSS, IRDAI, SEBI) किंवा सरकारी कायदांचे पालन करण्यात अपयश येणे, विशेषतः डेटा रेसिडेन्सी (data residency) आणि गोपनीयतेबद्दलचे नियम.

#### 6. पर्यावरणीय आणि बाह्य धोके (Environmental and External Risks)

**राजकीय अस्थिरता:** राजकीय अस्थिरता, संघर्ष किंवा आंतरराष्ट्रीय कायदांमधील बदल, ज्यामुळे क्लाउड सेवेची उपलब्धता किंवा डेटा सार्वभौमत्वावर (data sovereignty) परिणाम होऊ शकतो.

**तृतीय पक्ष असुरक्षितता:** क्लाउड वातावरणात समाकलित केलेल्या तृतीय पक्ष सेवा किंवा सॉफ्टवेअरमुळे (third-party services or software) निर्माण होणाऱ्या असुरक्षितता.

#### 7. आर्थिक धोके (Financial Risks)

**अकार्यक्षम संसाधन वापर:** संसाधनांचे अकार्यक्षम प्रोव्हिजनिंग (inefficient resource provisioning), "क्लाउड स्प्राऊल" (cloud sprawl - अनावश्यक संसाधनांचा साठा), किंवा क्लाउड खर्चाचे ऑप्टिमायझेशन करण्यात अयशस्वी होणे, ज्यामुळे अनपेक्षितपणे जास्त बिले येऊ शकतात.

**डेटा उल्लंघनाचे परिणाम:** डेटा उल्लंघनामुळे (data breaches) किंवा नियामक नियमांचे पालन न केल्यामुळे (regulatory non-compliance) होणारे आर्थिक नुकसान (उदा. दंड, कायदेशीर शुल्क).

#### 4.2.1 Policy and Organizational Risks:

क्लाउड धोक्यामध्ये **धोरणात्मक आणि संस्थात्मक धोके (Policy and Organizational Risks)** ही एक वेगळी श्रेणी आहे. हे धोके नेहमी तांत्रिक असुरक्षितता नसतात, तर क्लाउड कंप्युटिंग स्वीकारणाऱ्या संस्थेतील स्पष्ट मार्गदर्शक तत्वांचा अभाव, अपुरी प्रक्रिया, मानवी घटक आणि एकूण प्रशासन संरचनेमुळे उद्भवणाऱ्या प्रणालीगत समस्या (systemic issues) असतात. तांत्रिक सुरक्षा बिघाडांचे मूळ कारण अनेकदा हेच धोके असू शकतात.

**धोरणात्मक आणि संस्थात्मक धोक्याचे प्रकार (Types of Policy and Organizational Risks)**

#### 1. अपुरे क्लाउड प्रशासन आणि धोरण (Inadequate Cloud Governance and Strategy):

क्लाउड स्वीकारण्यासाठी (cloud adoption) सुस्पष्ट क्लाउड धोरणाचा अभाव असणे, क्लाउड वापराचे पर्यवेक्षण करण्यासाठी स्पष्ट नियम किंवा योग्य प्रशासन संरचना नसणे. यात क्लाउड सेंटर ऑफ एक्सलन्स (Cloud Center of Excellence - CCoE) किंवा अशाच प्रकारची समर्पित टीम नसणे समाविष्ट आहे, जी क्लाउडच्या वापराचे नियोजन, मार्गदर्शन आणि अंमलबजावणी करते. यामुळे क्लाउडचा वापर विस्कळीत आणि असुरक्षित होऊ शकतो.

**सामायिक जबाबदारी मॉडेलची गैरसमज (Misunderstanding of the Shared Responsibility Model):**

संस्था क्लाउडमधील तिच्या विशिष्ट सुरक्षा जबाबदाऱ्या आणि CSP च्या क्लाउडच्या सुरक्षा जबाबदाऱ्या पूर्णपणे समजून घेण्यात किंवा त्यांची नोंद ठेवण्यात अयशस्वी होते. हा एक अतिशय सामान्य आणि गंभीर संस्थात्मक धोका आहे. या गैरसमजामुळे सुरक्षा नियंत्रणांमध्ये मोठी पोकळी (gaps) निर्माण होऊ शकते, कारण ग्राहकाला नेमके काय सुरक्षित करायचे आहे याची माहिती नसते.

## 2. क्लाउड सुरक्षा कौशल्ये आणि प्रशिक्षणाचा अभाव (Lack of Cloud Security Skills and Training):

IT, सुरक्षा आणि विकास टीममध्ये क्लाउड-नेटिव्ह सुरक्षा साधने, सर्वोत्तम पद्धती आणि क्लाउड वातावरणाला सुरक्षित करण्याच्या अद्वितीय आव्हानांबद्दल पुरेशा कौशल्याचा अभाव असणे. कर्मचाऱ्यांसाठी सुरक्षित क्लाउड वापराबाबत सतत प्रशिक्षणाचा अभाव असणे, ज्यामुळे मानवी चुकांमुळे सुरक्षा धोके निर्माण होऊ शकतात.

**3. कमकुवत किंवा अस्तित्वात नसलेली क्लाउड सुरक्षा धोरणे (Weak or Non-Existent Cloud Security Policies):** क्लाउड वातावरणासाठी तयार केलेली विशिष्ट, तपशीलवार सुरक्षा धोरणे नसणे. यात डेटा वर्गीकरण (data classification), प्रवेश नियंत्रण (access control), घटना प्रतिसाद (incident response), नेटवर्क सेगमेंटेशन (network segmentation) आणि क्लाउड सेवांच्या स्वीकार्य वापरासारख्या पैलूंना समाविष्ट न करणे. धोरणांच्या अभावामुळे असुरक्षित प्रथांना प्रोत्साहन मिळते.

## 4. अप्रभावी क्लाउड सुरक्षा कार्यप्रणाली (Ineffective Cloud Security Operations):

क्लाउड सुरक्षेला सध्याच्या सुरक्षा कार्यप्रणाली (Security Operations Center - SOC) मध्ये समाकलित करण्यात अयशस्वी होणे. किंवा, क्लाउड-नेटिव्ह सुरक्षा निरीक्षण (monitoring), लॉगिंग (logging) आणि घटना प्रतिसाद क्षमतांचा (incident response capabilities) अभाव असणे. यामुळे सुरक्षा घटना ओळखणे, त्यांना प्रतिसाद देणे आणि त्यांचे निराकरण करणे कठीण होते.

### 4.2.2 तांत्रिक धोके (Technical Risks):

#### तांत्रिक धोक्याचे प्रकार (Types of Technical Risks)

**1. डेटाचा भंग आणि डेटा गमावणे (Data Breaches and Data Loss):** क्लाउडमध्ये साठवलेल्या किंवा प्रक्रिया केलेल्या संवेदनशील डेटाचा अनधिकृत प्रवेश (unauthorized access), उघड होणे (disclosure), बदलणे (alteration) किंवा नष्ट होणे. हे अनेकदा इतर तांत्रिक धोक्यांचा फायदा घेतल्याने घडते.

**2. डेटा गमावणे (Data loss)** म्हणजे डेटा खराब झाल्यामुळे (corruption), हटवल्यामुळे (deletion) किंवा सिस्टम बिघाडामुळे (system failures) डेटा परत मिळवता न येणे किंवा तो अॅक्सेस करता न येणे.

#### 3. असुरक्षित इंटरफेस आणि API (Insecure Interfaces and APIs):

क्लाउड सेवा मूलतः ॲप्लिकेशन प्रोग्रामिंग इंटरफेस (APIs) आणि वेब-आधारित व्यवस्थापन कन्सोलद्वारे (web-based management consoles) प्रोग्रामेटिकली व्यवस्थापित आणि अॅक्सेस केल्या जातात. जर हे इंटरफेस योग्यरित्या डिझाइन केलेले आणि सुरक्षित नसतील, तर ते हल्ल्याचे गंभीर मार्ग (critical attack vectors) बनतात.

#### 4. चुकीची कॉन्फिगरेशन्स (Misconfigurations):

यात क्लाउड संसाधने, सेवा किंवा सुरक्षा नियंत्रणे सेट करताना किंवा त्यांची देखभाल करताना होणाऱ्या चुकांचा समावेश होतो. या चुका अनेकदा अपघाती (accidental) असतात परंतु त्यांचे गंभीर परिणाम होऊ शकतात. उदाहरणांमध्ये सार्वजनिकरित्या अॅक्सेस करण्यायोग्य स्टोरेज बकेट्स (publicly accessible storage buckets), उघडे नेटवर्क पोर्ट्स (open network ports), डिफॉल्ट पासवर्ड (default passwords), किंवा चुकीचे कॉन्फिगर केलेले सुरक्षा गट नियम (misconfigured security group rules) यांचा समावेश आहे.

#### 5. ओळख आणि प्रवेश व्यवस्थापनातील कमतरता (Identity and Access Management - IAM Deficiencies):

वापरकर्ते आणि सेवांना क्लाउड संसाधनांमध्ये प्रवेश देण्यासाठी त्यांची ओळख कशी पटवली जाते (authenticated) आणि त्यांना कसे अधिकार दिले जातात (authorized) यात असलेल्या कमतरता. यात कमकुवत प्रमाणीकरण पद्धती (उदा. मल्टी-फॅक्टर ॲथेंटिकेशन - MFA चा अभाव) आणि जास्त परवानग्या (overly permissive permissions) देणे यांचा समावेश होतो.

#### 6. लॉगिंग आणि मॉनिटरिंगमधील कमतरता (Logging and Monitoring Deficiencies):

क्लाउड वातावरणात निर्माण होणारे सुरक्षा-संबंधित लॉग्स (logs) आणि इव्हेंट्स (events) गोळा करण्यात, त्यांचे विश्लेषण करण्यात आणि त्यावर कारवाई करण्यात असमर्थता. यामुळे सुरक्षा घटना ओळखणे आणि त्यांना प्रतिसाद देणे कठीण होते.

**7. सामायिक तंत्रज्ञानातील असुरक्षितता (Shared Technology Vulnerabilities):**

हे धोके प्रामुख्याने CSP च्या जबाबदारीत येतात (सामायिक जबाबदारी मॉडेलनुसार). हे मूलभूत क्लाउड इन्फ्रास्ट्रक्चर घटकांशी (underlying cloud infrastructure components) संबंधित धोके आहेत, जे संभाव्यतः अनेक टेनन्ट्सवर (tenants) परिणाम करू शकतात. उदाहरणांमध्ये हायपरवायझर (hypervisor) किंवा इतर सामायिक सेवांमधील असुरक्षितता यांचा समावेश असू शकतो.

**8. नेटवर्क आणि कनेक्टिव्हिटी धोके (Network and Connectivity Risks):**

क्लाउड नेटवर्क पायाभूत सुविधांमधील (network infrastructure) असुरक्षितता, ज्यामुळे अनधिकृत प्रवेश (unauthorized access) किंवा सेवांमध्ये व्यत्यय (disruption) येऊ शकतो. यात क्लाउड नेटवर्कचे चुकीचे कॉन्फिगरेशन, दुर्भावनापूर्ण नेटवर्क ट्रॅफिक किंवा DDoS हल्ले (Distributed Denial of Service attacks) यांचा समावेश असू शकतो.

**4.2.3 कायदेशीर धोके (Legal Risks):**

क्लाउड कंप्युटिंगमधील कायदेशीर धोके (Legal Risks) अनेक पैलूंनी भरलेले आहेत आणि ते तंत्रज्ञान, अधिकार क्षेत्र (jurisdiction), डेटा गोपनीयता कायदे, करारनामे आणि क्लाउड सेवांच्या जागतिक स्वरूपामुळे निर्माण होतात.

**कायदेशीर धोक्याचे प्रकार (Types of Legal Risks)****1. डेटा संरक्षण आणि गोपनीयता कायदांचे उल्लंघन (Data Protection and Privacy Law Violations):**

हा कदाचित सर्वात महत्त्वाचा कायदेशीर धोका आहे. संस्थांना वैयक्तिक आणि संवेदनशील डेटाचे संरक्षण करणे कायदेशीररित्या बंधनकारक आहे आणि क्लाउड सेवा वापरल्याने या जबाबदारीतून त्यांना सूट मिळत नाही.

**2. भारताचा डिजिटल वैयक्तिक डेटा संरक्षण कायदा, (DPDP Act, 2023)** सारखे कायदे कंपन्यांना डेटा कसे संकलित करावे, साठवावे, प्रक्रिया करावी आणि संरक्षित करावे याबद्दल कठोर नियम लावतात. या नियमांचे उल्लंघन केल्यास मोठे दंड आणि कायदेशीर कारवाई होऊ शकते.

**3. क्षेत्र-विशिष्ट नियम (Sector-Specific Regulations):**

काही विशिष्ट उद्योगांसाठी (उदा. वित्तीय, विमा, आरोग्यसेवा) नियम असतात. उदाहरणार्थ, भारतात, नियामक संस्था (उदा. RBI, IRDAI, SEBI) काही संवेदनशील डेटा (उदा. आर्थिक, जोखीम, सिस्टम कॉन्फिगरेशन डेटा) क्लाउड सेवा वापरत असतानाही **भारतातच साठवला जावा** अशी आवश्यकता ठेवू शकतात. आंतरराष्ट्रीय स्तरावर, युरोपमधील GDPR (General Data Protection Regulation) किंवा अमेरिकेतील HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act) सारखे नियम डेटाच्या हाताळणीवर कठोर मर्यादा घालतात.

**4. क्लाउडचे जागतिक स्वरूप (Global Nature of Cloud):**

क्लाउड डेटा सेंटर्स जगामध्ये कुठेही असू शकतात. यामुळे डेटा जेव्हा सीमा ओलांडतो (traverses borders) तेव्हा कोणत्या देशाचे कायदे लागू होतात हे निश्चित करणे कठीण होते. डेटा 'रेसिडेन्सी' (Data Residency) आणि 'डेटा सॉवरेनटी' (Data Sovereignty) च्या चिंता यामुळे वाढतात, कारण एका देशाच्या कायदेशीर आदेशाचा परिणाम दुसऱ्या देशातील डेटावर होऊ शकतो.

**5. क्लाउड सेवा प्रदात्यांसोबतचे करारनाम्याचे धोके (Contractual Risks with Cloud Service Providers - CSPs):**

सेवा स्तर करार (SLAs - Service Level Agreements) जे सुरक्षा जबाबदाऱ्या, कार्यक्षमतेची हमी (performance guarantees), डेटाची मालकी (data ownership), डेटा पोर्टेबिलिटी (data portability - डेटा दुसऱ्या प्रदात्याकडे नेण्याची क्षमता), घटना प्रतिसादाची वेळ (incident response times) आणि सेवा समाप्तीचे नियम (termination clauses) स्पष्टपणे परिभाषित करत नाहीत, यामुळे वाद आणि आर्थिक नुकसान होऊ शकते. करारातील अस्पष्टता किंवा कमतरता ग्राहकाला कायदेशीररित्या असुरक्षित बनवू शकते.

**6. बौद्धिक संपदा (IP) अधिकारांचे मुद्दे (Intellectual Property (IP) Rights Issues):**

क्लाउड कंप्युटिंगमध्ये संवेदनशील बौद्धिक संपदा (उदा. सोर्स कोड, मालकीचे अल्गोरिदम) सामायिक (shared) क्लाउड वातावरणात तैनात करताना तिचे पुरेसे संरक्षण सुनिश्चित करणे महत्त्वाचे आहे. आयपीच्या मालकी हक्कांबद्दल

(ownership rights) किंवा अनधिकृत वापराबाबत वाद निर्माण होऊ शकतात, विशेषतः जर करारनाम्यात याबद्दल स्पष्टता नसेल.

### 4.3 डेटा सुरक्षितता तंत्रज्ञान (Data security technologies, Data Security risks):

**4.3.1 डेटा सुरक्षितता तंत्रज्ञान (Data security technologies):** क्लाउड कंप्युटिंगमध्ये **डेटा सुरक्षितता (Data Security)** अत्यंत महत्त्वाची आहे, कारण संस्था अनेकदा त्यांची सर्वात मौल्यवान आणि संवेदनशील माहिती क्लाउड वातावरणात साठवतात. या डेटाचे संरक्षण करण्यासाठी विविध सुरक्षा तंत्रज्ञान (Data Security Technologies) वापरली जातात.

#### 1. एन्क्रिप्शन (Encryption):

क्लाउड सेवा प्रदाता (CSPs) ऑब्जेक्ट स्टोरेज (उदा. AWS S3, Azure Blob Storage, Google Cloud Storage), ब्लॉक स्टोरेज (उदा. AWS EBS, Azure Disks) आणि डेटाबेसमध्ये (उदा. AWS RDS, Azure SQL Database) साठवलेला डेटा **एन्क्रिप्ट (गुप्त भाषेत रूपांतरित)** करण्यासाठी सेवा देतात.

ग्राहकांना सहसा **प्लॅटफॉर्म-व्यवस्थापित कीज (platform-managed keys)** किंवा **ग्राहक-व्यवस्थापित कीज (Customer-Managed Keys - CMK)** की व्यवस्थापन सेवांमार्फत (Key Management Services - KMS) वापरण्याचे पर्याय मिळतात. क्लाउड प्रदाते (उदा. AWS KMS, Azure Key Vault, Google Cloud KMS) एन्क्रिप्शन कीज (encryption keys) सुरक्षितपणे तयार करण्यासाठी, साठवण्यासाठी आणि व्यवस्थापित करण्यासाठी सेवा देतात, ज्या अनेकदा मजबूत संरक्षणासाठी हार्डवेअर सिव्युरिटी मॉड्युल्स (HSMs) सह समाकलित असतात. यामुळे जटिल की व्यवस्थापनाचा भार ग्राहकाकडून कमी होतो.

#### 2. डेटा लॉस प्रिव्हेंशन (Data Loss Prevention - DLP):

CSPs एकात्मिक DLP क्षमता (उदा. Google Cloud DLP, AWS Macie, Azure Information Protection) प्रदान करतात, ज्या स्टोरेज, डेटाबेस आणि नेटवर्क ट्रॅफिकमध्ये संवेदनशील डेटा पॅटर्न (उदा. PII - वैयक्तिक ओळखण्यायोग्य माहिती, आर्थिक डेटा, बौद्धिक संपदा) स्कॅन करू शकतात.

**3. क्लाउड ॲक्सेस सिव्युरिटी ब्रोकर्स (Cloud Access Security Brokers - CASBs)** क्लाउड वापरकर्ते आणि क्लाउड सेवांमध्ये मध्यस्थ (intermediaries) म्हणून कार्य करतात. CASBs डेटा प्रवाहित असताना (in transit) त्याची तपासणी करून, अनधिकृत अपलोड/डाउनलोडला प्रतिबंधित करून किंवा क्लाउड ॲप्सद्वारे शेअर केलेल्या संवेदनशील फाइल्सना एन्क्रिप्ट करून DLP धोरणे लागू करू शकतात. ते अधिकृत (sanctioned) आणि अनधिकृत (unsanctioned) क्लाउड वापराची (Shadow IT) दृश्यमानता (visibility) प्रदान करतात.

#### 4. डेटा सिव्युरिटी पोस्चर मॅनेजमेंट (Data Security Posture Management - DSPM):

ही उदयोन्मुख साधने विशेषतः संपूर्ण क्लाउड डेटा इस्टेटमध्ये (cloud data estate) संवेदनशील डेटा शोधण्यावर, त्याचे वर्गीकरण करण्यावर आणि त्याला सुरक्षित करण्यावर लक्ष केंद्रित करतात. DSPM साधनांद्वारे डेटा प्रवाह (data flows), प्रवेश नमुने (access patterns) आणि संबंधित धोके यांची दृश्यमानता मिळते, ज्यामुळे डेटा सुरक्षितता वाढते.

#### 5. क्लाउड सिव्युरिटी पोस्चर मॅनेजमेंट (Cloud Security Posture Management - CSPM):

हे तंत्रज्ञान क्लाउड गैर-कॉन्फिगरेशनच्या (misconfigurations) व्यापक धोक्याला थेट संबोधित करते. CSPM साधने सुरक्षा सर्वोत्तम पद्धती (security best practices), उद्योग मानके (उदा. CIS बेंचमार्क्स) आणि अनुपालन फ्रेमवर्क (compliance frameworks) विरुद्ध क्लाउड वातावरणाचे सतत निरीक्षण करतात. यामुळे चुकीच्या कॉन्फिगरेशनमुळे होणारे धोके स्वयंचलितपणे ओळखले जातात आणि दुरुस्त केले जातात.

#### 6. कॉन्फिडेन्शियल कंप्युटिंग (Confidential Computing):

हे हार्डवेअर-आधारित **ट्रस्टेड एक्झिक्यूशन एन्व्हायरमेंट्स (Trusted Execution Environments - TEEs)** चा वापर करते. TEEs मध्ये डेटा आणि कोड एन्क्रिप्ट केले जातात, ज्यामुळे ते मूलभूत ऑपरेटिंग सिस्टीम, हायपरवायझर आणि अगदी क्लाउड प्रदात्यासाठी देखील दुर्गम (inaccessible) राहतात. हे अत्यंत संवेदनशील वर्कलोडसाठी उच्च पातळीचे विलगीकरण (isolation) प्रदान करते.

## 7. झिरो ट्रस्ट नेटवर्क ॲक्सेस (Zero Trust Network Access - ZTNA):

ZTNA क्लाउड संसाधनांना सुरक्षित प्रवेश प्रदान करणारी एक एकत्रित, क्लाउड-नेटिव्ह सुरक्षा आर्किटेक्चर देते. हे नेटवर्क सुरक्षा कार्ये (उदा. फायरवॉल-एज-अ-सर्व्हिस, सुरक्षित वेब गेटवे) वाइड एरिया नेटवर्किंग (WAN) क्षमतांसह क्लाउड-वितरित मॉडेलमध्ये (cloud-delivered model) समाकलित करते. 'झिरो ट्रस्ट' म्हणजे कोणत्याही वापरकर्त्यावर किंवा डिव्हाइसवर आपोआप विश्वास न ठेवता, प्रत्येक प्रवेशाची पडताळणी करणे.

### 4.3.2 डेटा सुरक्षिततेचे धोके (Data Security risks):

क्लाउडमध्ये डेटा सुरक्षिततेचे धोके म्हणजे, संस्थेचा डेटा क्लाउड वातावरणात साठवला जात असताना, त्यावर प्रक्रिया केली जात असताना किंवा तो प्रसारित केला जात असताना त्याची गोपनीयता (confidentiality), अखंडता (integrity) किंवा उपलब्धता (availability) धोक्यात आणणाऱ्या कोणत्याही संभाव्य धोक्यांना किंवा असुरक्षिततांना (vulnerabilities) सूचित करते.

### डेटा सुरक्षिततेच्या धोक्यांचे प्रकार (Types of Data Security Risks)

#### 1. डेटाचा भंग आणि अनधिकृत प्रवेश (Data Breaches and Unauthorized Access):

संवेदनशील माहिती (उदा. वैयक्तिक ओळखण्यायोग्य माहिती - PII, आर्थिक डेटा, बौद्धिक संपदा, आरोग्य नोंदी) अनधिकृत व्यक्तींद्वारे ॲक्सेस केली जाणे, उघड होणे, बदलली जाणे किंवा नष्ट केली जाणे. हा धोका अनेकदा इतर तांत्रिक धोक्यांचा फायदा घेतल्यामुळे उद्भवतो.

#### 2. डेटा गमावणे (Data Loss):

डेटा कायमचा अनुपलब्ध होणे (permanently unavailable), खराब होणे (corrupted) किंवा हटवला जाणे (deleted). हे अपघाती कृती (accidental actions), दुर्भावनापूर्ण हल्ले (malicious attacks) किंवा सिस्टम बिघाडामुळे (system failures) होऊ शकते.

#### 3. अपुरे ओळख आणि प्रवेश व्यवस्थापन (Inadequate Identity and Access Management - IAM):

कोणकोणत्या डेटाला प्रवेश करू शकतो यावर चुकीचे परिभाषित केलेले किंवा खराब अंमलात आणलेले नियंत्रण (controls) यामुळे अनेकदा डेटाचा भंग आणि अनधिकृत प्रवेश वाढतो, कारण योग्य व्यक्तींनाच योग्य अधिकार दिले जात नाहीत.

#### 4. दृश्यमानता आणि नियंत्रणाचा अभाव (Lack of Visibility and Control):

संस्थांना त्यांच्या सर्व डेटा मालमत्ता (data assets), वापरकर्त्यांच्या क्रियाकलाप (user activities) आणि जटिल क्लाउड वातावरणातील डेटा प्रवाहांचे (data flows) निरीक्षण करणे आणि त्यांच्याबद्दल सर्वसमावेशक माहिती मिळवणे कठीण होते. या अभावामुळे धोके ओळखणे आणि त्यावर वेळेवर कारवाई करणे शक्य होत नाही.

#### 5. असुरक्षित डेटा स्थलांतर (Insecure Data Migration):

डेटाला ऑन-प्रीमिसेस (on-premises) वातावरणातून क्लाउडवर स्थलांतरित करताना किंवा वेगवेगळ्या क्लाउड सेवांमध्ये डेटा हलवताना निर्माण होणारे धोके डेटा स्थलांतरित करत असताना डेटा एन्क्रिप्टेड आहे की नाही, किंवा स्थलांतर प्रक्रियेत डेटा अनधिकृतपणे उघड होण्याची शक्यता आहे का, हे पाहणे महत्त्वाचे असते.

#### 6. डेटा वापरादरम्यानचे एक्सपोजर (Data In-Use Exposure):

डेटा साठवलेला असताना (at rest) आणि प्रवासात असताना (in transit) एन्क्रिप्शनद्वारे संरक्षित असला तरी, प्रक्रिया करण्यासाठी (data in use) डेटाला डिक्रिप्ट (decrypt) करणे आवश्यक असते. ही प्रक्रिया करताना एक असुरक्षित विंडो (vulnerable window) निर्माण होते, जिथे डेटाला धोका असू शकतो. कॉन्फिडेंशियल कंप्युटिंग (Confidential Computing) सारखे तंत्रज्ञान या धोक्याला कमी करण्याचा प्रयत्न करते.

#### 7. अनुपालन आणि नियामक नियमांचे उल्लंघन (Compliance and Regulatory Violations):

क्लाउड सेवा वापरताना डेटा संरक्षण, गोपनीयता आणि डेटा रेसिडेन्सी (data residency) संबंधित कायदेशीर किंवा नियामक नियमांचे पालन करण्यात अपयश येणे. यामुळे मोठे दंड, कायदेशीर कारवाई आणि संस्थेच्या प्रतिष्ठेला हानी होऊ शकते.

#### 4.4 डिजिटल ओळख आणि प्रवेश व्यवस्थापन (Digital Identity and Access Management):

**डिजिटल ओळख आणि प्रवेश व्यवस्थापन (Digital Identity and Access Management - DIAM)**, ज्याला अनेकदा फक्त ओळख आणि प्रवेश व्यवस्थापन (Identity and Access Management - IAM) असेही म्हटले जाते, हा क्लाउडमधील सुरक्षिततेचा पाया आहे. थोडक्यात, यात वापरकर्ते (कर्मचारी, ग्राहक, भागीदार), ॲप्लिकेशन्स, सेवा आणि उपकरणे यांसारख्या डिजिटल ओळखीची व्याख्या करणे आणि त्यांचे व्यवस्थापन करणे, तसेच क्लाउड वातावरणात प्रत्येक ओळखीला काय प्रवेश आहे आणि ते काय करू शकतात हे नियंत्रित करणे समाविष्ट आहे.

##### प्रमुख घटक (Core Components)

##### 1. ओळख व्यवस्थापन (Identity Management):

वापरकर्ता खाती, भूमिका (roles) आणि संबंधित परवानग्या तयार करणे, बदलणे आणि निष्क्रिय करणे. यामध्ये मानवी वापरकर्ते, सेवा खाती (ॲप्लिकेशन्ससाठी) आणि अगदी मशीन ओळखीचा (machine identities) समावेश असतो.

सिंगल साइन-ऑन (Single Sign-On - SSO): वापरकर्त्यांना त्यांच्या अस्तित्वातील एंटरप्राइझ ओळखीने (उदा. ॲक्टिव्ह डायरेक्टरी) एकदा प्रमाणीकरण (authenticate) करून अनेक क्लाउड सेवांमध्ये क्रेडेन्शियल्स पुन्हा एंटर न करता प्रवेश मिळवण्याची परवानगी देणे (उदा. SAML, OAuth, OIDC वापरून). यामुळे SSO शक्य होते, जे वापरकर्त्यांचा अनुभव सुधारते.

##### 2. प्रमाणीकरण (Authentication):

वापरकर्ता किंवा घटक तेच आहेत ज्याचा ते दावा करतात, याची पुष्टी करण्याची प्रक्रिया.

मल्टी-फॅक्टर ॲथेंटिकेशन (Multi-Factor Authentication - MFA): वापरकर्त्यांना पडताळणीचे दोन किंवा अधिक भिन्न प्रकार (उदा. पासवर्ड + OTP, बायोमेट्रिक + फिजिकल टोकन) प्रदान करणे आवश्यक करते. क्लाउड प्रवेशासाठी, विशेषतः विशेषाधिकार असलेल्या खात्यांसाठी (privileged accounts) हे अत्यंत महत्त्वाचे आणि अनिवार्य आहे.

पासवर्डविरहित प्रमाणीकरण (Passwordless Authentication): पासवर्ड पूर्णपणे काढून टाकणाऱ्या उदयोन्मुख पद्धती (उदा. बायोमेट्रिक्स, FIDO2 सुरक्षा कीज, मॅजिक लिंक्स), ज्यामुळे सुरक्षा आणि वापरकर्ता अनुभव दोन्ही सुधारतात.

##### 3. अधिकार निश्चिती (Authorization):

प्रमाणीकृत वापरकर्ता किंवा घटकाला विशिष्ट क्लाउड संसाधनांसह (उदा. फाइल वाचणे, व्हर्च्युअल मशीन तयार करणे, डेटाबेस हटवणे) काय करण्याची परवानगी आहे हे निश्चित करणे.

भूमिका-आधारित परवानग्या (Role-based permissions): पूर्वनिर्धारित भूमिकांवर आधारित परवानग्या नियुक्त करणे (उदा. "डेव्हलपर" भूमिकेतील वापरकर्ता ॲप्स तयार करू शकतो, "ॲडिटर" भूमिकेतील वापरकर्ता फक्त लॉग पाहू शकतो). यामुळे व्यवस्थापन सोपे होते. किमान विशेषाधिकाराचे तत्व (Principle of Least Privilege): वापरकर्त्यांना आणि सेवांना त्यांची कार्ये करण्यासाठी फक्त किमान आवश्यक परवानग्या देणे. यामुळे हॅक झालेल्या खात्यामुळे होणारे नुकसान (blast radius) मोठ्या प्रमाणात मर्यादित होते.

##### 4. ॲडिट आणि मॉनिटरिंग (Auditing and Monitoring):

क्लाउड वातावरणातील सर्व प्रवेश प्रयत्न (access attempts), परवानगी बदल (permission changes) आणि संसाधन परस्परसंवाद (resource interactions) रेकॉर्ड करणे. रिअल-टाइम विश्लेषण, असामान्य क्रियाकलाप ओळखणे (anomaly detection) आणि धोक्यांची माहिती (threat intelligence) मिळवण्यासाठी क्लाउड लॉग एका केंद्रीकृत SIEM (Security Information and Event Management) प्रणालीमध्ये फीड करणे. अनुपालन (compliance), फॉरेंसिक्स (forensics) आणि घटना प्रतिसादासाठी (incident response) सर्वसमावेशक, अपरिवर्तनीय नोंदी (immutable records) राखणे.

#### डिजिटल ओळख आणि प्रवेश व्यवस्थापनाचे (Digital Identity and Access Management - DIAM) प्रमुख फायदे

डिजिटल ओळख आणि प्रवेश व्यवस्थापन (DIAM) तुमच्या संस्थेच्या क्लाउड सुरक्षिततेसाठी महत्त्वाचे आहे. त्याचे मुख्य फायदे खालीलप्रमाणे आहेत:

**1. वर्धित सुरक्षा (Enhanced Security):**

DIAM अनधिकृत प्रवेशास प्रतिबंध करते. जर एखादे खाते हॅक झाले, तरी ते सुरक्षा उल्लंघनाचा प्रभाव मर्यादित करते आणि तुमच्या एकूण सुरक्षा स्थितीला (security posture) मजबूत करते.

**2. उत्तम अनुपालन (Improved Compliance):**

हे ऑडिट करण्यायोग्य प्रवेश नियंत्रणे (auditable access controls) आणि स्पष्ट नोंदी (clear records) प्रदान करून

**3. नियामक आवश्यकता पूर्ण करणे सोपे** करते. यामुळे ऑडिट प्रक्रिया सुव्यवस्थित होते आणि कायदेशीर नियमांचे पालन करण्यास मदत करते.

**4. सुव्यवस्थित वापरकर्ता अनुभव (Streamlined User Experience):**

**सिंगल साइन-ऑन (Single Sign-On - SSO)** सारखी वैशिष्ट्ये वापरकर्त्यांचा पासवर्ड लक्षात ठेवण्याचा ताण (password fatigue) कमी करतात आणि त्यांची उत्पादकता (productivity) वाढवतात, कारण त्यांना अनेक सिस्टमसाठी वारंवार लॉगिन करण्याची गरज नसते.

**5. कार्यक्षम परिचालन (Operational Efficiency):**

हे वापरकर्ता प्रोव्हिजनिंग (user provisioning - नवीन खाते तयार करणे) आणि डी-प्रोव्हिजनिंग (de-provisioning - खाते काढणे) स्वयंचलित (automates) करते. यामुळे प्रशासकीय भार (administrative burden) कमी होतो आणि IT कार्यप्रणाली (IT workflows) अधिक कार्यक्षम बनतात.

**6. स्केलेबिलिटी आणि लवचिकता (Scalability and Flexibility):**

DIAM सुरक्षिततेशी कोणतीही तडजोड न करता वाढत्या वापरकर्ता बेसला आणि गतिशील क्लाउड वातावरणाशी (dynamic cloud environments) सहजपणे जुळवून घेते. यामुळे तुमच्या व्यवसायाच्या वाढीनुसार सुरक्षा व्यवस्थापित करणे सोपे होते.

**4.5.1 Content level security: Pros and Cons, Features of Security-As-A-Cloud Service**

क्लाउड कॅम्प्युटिंगमध्ये सुरक्षा नियंत्रणे थेट डेटा किंवा सामग्रीवरच (data or content itself) लागू करण्याला महत्त्व दिले जाते, केवळ पायाभूत सुविधा (infrastructure), नेटवर्क किंवा ॲप्लिकेशन स्तरावर नाही. यामध्ये विशिष्ट फाइल्स, नोंदी (records) किंवा डेटा घटकांचे सूक्ष्म संरक्षण (granular protection) समाविष्ट आहे, ज्यामुळे केवळ अधिकृत वापरकर्ते किंवा प्रक्रिया (processes) त्या विशिष्ट सामग्रीला ॲक्सेस किंवा हाताळू शकतील, जरी त्यांना संबंधित प्रणाली किंवा स्टोरेजमध्ये व्यापक प्रवेश असला तरीही.

**1.क्लाउडमध्ये कंटेंट-लेव्हल सिव्युरिटीचे फायदे (Pros of Content-level Security in the Cloud):****1. वर्धित डेटा गोपनीयता (Enhanced Data Confidentiality):**

परिमिती (perimeter), नेटवर्क किंवा सिस्टिम-लेव्हलवरील संरक्षण भेदले गेले (breached) तरीही, कंटेंट स्वतः त्याच्या एन्क्रिप्शन (encryption) किंवा ॲक्सेस कंट्रोलमुळे संरक्षित राहतो.यामुळे विश्वसनीय कर्मचारी किंवा प्रशासक काय ॲक्सेस करू शकतात यावर मर्यादा येतात, ज्यामुळे दुर्भावनापूर्ण अंतर्गत धोके (malicious insiders) किंवा मानवी चुकांमुळे होणारे धोके कमी होतात.

**2. सूक्ष्म नियंत्रण आणि किमान विशेषाधिकाराचे तत्व (Granular Control and Principle of Least Privilege):**

अत्यंत अचूक प्रवेश धोरणांना (access policies) परवानगी देते, ज्यामुळे वापरकर्ते आणि ॲप्लिकेशन्स त्यांना आवश्यक असलेल्या विशिष्ट डेटाशीच संवाद साधतात, त्याहून अधिक नाही.

**3. किमान विशेषाधिकाराचे तत्व (Principle of Least Privilege)** खऱ्या अर्थाने लागू करण्यासाठी हे अत्यंत महत्त्वाचे आहे.

**4. डेटा शेअरिंग आणि कोलॅबोरेशनसाठी लवचिकता (Flexibility for Data Sharing and Collaboration):**

संस्थांना कंटेंट शेअर करतानाही, त्याचे विशिष्ट भाग कोण ॲक्सेस करू शकतो यावर नियंत्रण राखण्याची परवानगी देऊन सुरक्षित सहकार्य (secure collaboration) सक्षम करते, अगदी बाहेरील पक्षांसहही.हे मल्टी-टेनन्ट आर्किटेक्चर्सना (multi-tenant architectures) समर्थन देते जिथे वेगवेगळ्या टेनन्ट्सचा डेटा एकाच भौतिक स्टोरेजमध्ये कठोरपणे वेगळा (strictly isolated) ठेवला जाणे आवश्यक असते.

### 5. मूलभूत पायाभूत सुविधांवरील विश्वास कमी होतो (Reduced Trust in Underlying Infrastructure):

कंटेंट-लेव्हलवर डेटा एन्क्रिप्ट करून, संस्था मूलभूत क्लाउड पायाभूत सुविधांच्या (underlying cloud infrastructure) सुरक्षा नियंत्रणांवर (CSPs) अवलंबून राहणे कमी करू शकतात. गोपनीय कंप्युटिंगमध्ये (Confidential Computing) हे विशेषतः संबंधित आहे, जिथे डेटा क्लाउड प्रदात्यापासूनही (CSP) संरक्षित असतो.

### 2. क्लाउडमध्ये कंटेंट-लेव्हल सिक्युरिटीचे तोटे (Cons of Content-Level Security in the Cloud):

#### 1. जटिलता आणि व्यवस्थापनाचा भार (Complexity and Management Overhead):

कंटेंट-लेव्हल सिक्युरिटी लागू करणे हे व्यापक नेटवर्क किंवा सिस्टिम-लेव्हल नियंत्रणे लागू करण्यापेक्षा खूप अधिक जटिल आहे. वैयक्तिक फाइल्स, नोंदी किंवा स्तंभांसाठी (columns) धोरणे व्यवस्थापित करणे कष्टदायक असू शकते. जर प्रत्येक कंटेंटला एक अद्वितीय एन्क्रिप्शन की (unique encryption key) असेल, तर मोठ्या संख्येने कीज व्यवस्थापित करणे एक मोठे परिचालन आव्हान (operational challenge) बनते. जरी KMS (Key Management Service) मदत करत असले तरी, प्रचंड प्रमाण अजूनही कठीण असू शकते.

#### 2. कार्यक्षमतेवरील परिणाम (Performance Overhead):

सूक्ष्म स्तरावर डेटा एन्क्रिप्ट आणि डिक्రిप्ट केल्याने संगणकीय भार (computational overhead) वाढतो, ज्यामुळे ऑप्लिकेशनच्या कार्यक्षमतेवर परिणाम होऊ शकतो, विशेषतः उच्च-प्रमाणातील व्यवहार (high-volume transactions) किंवा रिअल-टाइम डेटा अॅक्सेससाठी.

#### 3. खर्चाचे परिणाम (Cost Implications):

एन्क्रिप्शन/डिक्రిप्शनसाठी मोठ्या प्रमाणावर आवश्यक असलेल्या संगणकीय संसाधनांमुळे क्लाउड कंप्युट खर्च वाढू शकतो.

#### 4. डेटा वापरण्यायोग्यतेच्या समस्यांचा धोका (Risk of Data Usability Issues):

जर कंटेंट-लेव्हल एन्क्रिप्शनसाठी एन्क्रिप्शन कीज गमावल्या (lost) गेल्या किंवा हॅक झाल्या (compromised), तर डेटा कायमचा अनुपलब्ध (permanently inaccessible) किंवा असुरक्षित बनतो. एन्क्रिप्टेड किंवा मास्क केलेल्या कंटेंटमध्ये शोध घेणे (searching) डिक्రిप्ट/अनमास्क केल्याशिवाय कठीण किंवा अशक्य असू शकते, ज्यामुळे अॅनालिटिक्स आणि ई-डिस्कव्हरी (e-discovery) क्षमतांवर मर्यादा येतात.

#### 4.5.2 सिक्युरिटी-अॅज-अ-सर्व्हिस (Features of Security-As-A-Cloud Service):

सिक्युरिटी-अॅज-अ-सर्व्हिस (SECaaS) हे सुरक्षा सेवांसाठी एक क्लाउड-आधारित वितरण मॉडेल (cloud-based delivery model) आहे. यामध्ये संस्थांना सुरक्षा हार्डवेअर आणि सॉफ्टवेअर त्यांच्या स्वतःच्या आवारात (on-premises) स्थापित करण्याची आणि व्यवस्थापित करण्याची आवश्यकता नसते, त्याऐवजी त्या इंटरनेटद्वारे तृतीय-पक्ष प्रदात्याने (third-party provider) ऑफर केलेल्या सुरक्षा सेवांची सदस्यता घेतात. हे मॉडेल क्लाउड कंप्युटिंगच्या अंतर्भूत फायद्यांचा लाभ घेते.

#### सिक्युरिटी-अॅज-अ-सर्व्हिसची प्रमुख वैशिष्ट्ये (Key Features of Security-as-a-Service):

##### 1. क्लाउड-नेटिव्ह वितरण (Cloud-Native Delivery):

सेवा इंटरनेटद्वारे वितरित केल्या जातात आणि कोणत्याही ठिकाणाहून, कोणत्याही डिव्हाइसवरून अॅक्सेस करता येतात. यामुळे संस्थांना भौतिक सुरक्षा उपकरणे (physical security appliances) किंवा सॉफ्टवेअर परवाने खरेदी करणे, स्थापित करणे आणि त्यांची देखभाल करण्याची आवश्यकता नाहीशी होते.

##### 2. स्केलेबिलिटी आणि लवचिकता (Scalability and Elasticity):

संस्था त्यांच्या बदलत्या गरजांनुसार (उदा. अधिक वापरकर्ते जोडणे, नवीन प्रदेशांमध्ये विस्तारणे, ट्रॅफिक वाढल्यास) सुरक्षा सेवा सहजपणे वाढवू किंवा कमी करू शकतात, त्यासाठी महत्त्वपूर्ण प्रारंभिक गुंतवणूक (upfront investment) किंवा जटिल प्रोव्हिजनिंगची आवश्यकता नसते. ही सेवा मागणी पूर्ण करण्यासाठी संसाधने स्वयंचलितपणे समायोजित करते, ज्यामुळे सातत्यपूर्ण सुरक्षा कार्यप्रदर्शन सुनिश्चित होते.

**3. केंद्रित व्यवस्थापन आणि दृश्यमानता (Centralized Management and Visibility):**

SECaaS प्रदाते अनेकदा ग्राहकांसाठी एक केंद्रीकृत वेब-आधारित व्यवस्थापन पोर्टल किंवा डॅशबोर्ड देतात. यातून ग्राहक धोरणे कॉन्फिगर करू शकतात, सुरक्षा घटनांवर लक्ष ठेवू शकतात आणि त्यांच्या संपूर्ण डिजिटल फुटप्रिंटवरील अहवाल पाहू शकतात.

**4. सतत संरक्षण आणि अद्यतने (Always-on Protection and Updates):**

सुरक्षा व्याख्या (Security definitions), धोक्यांची माहिती (threat intelligence feeds) आणि सॉफ्टवेअर अद्यतने (software updates) प्रदात्याद्वारे स्वयंचलितपणे व्यवस्थापित आणि तैनात केली जातात, ज्यामुळे ग्राहकांच्या हस्तक्षेपाशिवाय नवीनतम धोक्यांपासून संरक्षण मिळते. अनेक सेवा अज्ञात हल्ल्यांपासून (previously unknown attacks) संरक्षण देण्यासाठी प्रगत धोक्यांची माहिती आणि सँडबॉक्सिंगचा (sandboxing) वापर करतात.

**5. तज्ञांची उपलब्धता आणि प्रगत साधने (Access to Expertise and Advanced Tools):**

संस्थांना सायबर सुरक्षिततेमध्ये विशेषज्ञ असलेल्या समर्पित सुरक्षा व्यावसायिक (security professionals), विश्लेषक (analysts) आणि धोका शोधक (threat hunters) यांच्या टीममध्ये प्रवेश मिळतो, यासाठी त्यांना घरातच (in-house) भरती करण्याची किंवा विस्तृत प्रशिक्षण देण्याची आवश्यकता नसते.

**6. सेवांची विस्तृत श्रेणी (Comprehensive Service Offerings):**

यामध्ये सुरक्षा घटना शोधणे (detecting), विश्लेषण करणे (analyzing), समाविष्ट करणे (containing), नष्ट करणे (eradicating) आणि त्यातून पुनर्प्राप्त होण्यास (recovering) मदत करणाऱ्या सेवांचा समावेश असतो. व्यवसायाची निरंतरता (business continuity) सुनिश्चित करण्यासाठी क्लाउड-आधारित बॅकअप आणि पुनर्प्राप्ती उपाय (recovery solutions) देखील प्रदान केले जातात.

**7. खर्च-प्रभावीता (Cost-Effectiveness):**

हार्डवेअर आणि सॉफ्टवेअरसाठी लागणारा प्रारंभिक खर्च (upfront costs) नाहीसा होतो. कर्मचारी, प्रशिक्षण, देखभाल, वीज आणि कूलिंगशी संबंधित खर्च कमी होतात. यामुळे मालकीचा एकूण खर्च (Total Cost of Ownership - TCO) कमी होतो.

**8. लवचिकता आणि चपळता (Flexibility and Agility):**

सुरक्षा सेवा जलद आणि सहजपणे तैनात केल्या जाऊ शकतात, अनेकदा कोणत्याही जटिल एकीकरणशिवाय (complex integration). यामुळे संस्था सायबर धोक्यांना आणि बदलत्या व्यवसायाच्या गरजांना अधिक जलद प्रतिसाद देऊ शकतात.

**References:**

1. Cloud Computing, Principals and Paradigms by Rajkumar Buyya, James Broberg, Andrzej Goscinski A John Willy & Sons, Inc., Publication, ISBN: 978-0-470-88799-8
2. Cloud Computing by Sharma Rishabh Wiley Publication, ISBN: 978-81-265-5306-8
3. Mastering Cloud Computing by Christian Vecchiola, Rajkumar Buyya, and S.Thamarai Selvi, McGraw Hill Publication, ISBN 978-1-25-902995-0
4. Cloud Computing by Singh Shailendra, Oxford University Press, ISBN: 978-0199477388
5. Cloud Computing: A Hands-On Approach by Arshdeep Bahga, Vijay Madiseti, Self published, ISBN 1494435144, 9781494435141

**Websites:**

1. <https://www.geeksforgeeks.org/>
2. <https://www.tutorialspoint.com/>
3. <https://techsparks.co.in/>

**E-learning material (Video lectures)**

1. <https://www.youtube.com/watch?v=sF014G2BUXM>
2. [https://www.youtube.com/watch?v=Qt9lhZfHW\\_c](https://www.youtube.com/watch?v=Qt9lhZfHW_c)

## युनिट-5 क्लाउड मधील ट्रेंड (Trends in Cloud)

### विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

CO 5: विविध क्लाउड प्लॅटफॉर्म.

### घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcome-TLO):

1. IoT (इंटरनेट ऑफ थिंग्ज) सक्षम करणाऱ्या तंत्रज्ञानाची वैशिष्ट्ये स्पष्ट करा.
2. विकासासाठी क्लाउड प्लॅटफॉर्म निवडण्यासाठी महत्त्वाचे घटक स्पष्ट करा.
3. क्लाउड-आधारित स्मार्ट उपकरणांची वैशिष्ट्ये स्पष्ट करा.
4. विविध क्लाउड प्लॅटफॉर्मच्या वैशिष्ट्यांची तुलना करा.

### 5.1 सर्वव्यापी कंप्युटिंग क्लाउड कंप्युटिंगला समर्थन(Cloud trends in supporting Ubiquitous Computing):

सर्वव्यापी कंप्युटिंग (Ubiquitous Computing), किंवा "यूबिकॉम्प" (ubicomp), अशा जगाची कल्पना करते जिथे कंप्युटिंग पॉवर दैनंदिन वस्तू आणि वातावरणात अखंडपणे (seamlessly) समाकलित होते, ज्यामुळे ती वापरकर्त्याला प्रभावीपणे अदृश्य होते. हे असे तंत्रज्ञान आहे जे नेहमी उपस्थित असते, नेहमी उपलब्ध असते आणि संदर्भाची जाणीव (context-aware) असते, स्पष्ट आज्ञेशिवाय (explicit commands) आपल्या गरजांना प्रतिसाद देते.

#### क्लाउडचा विस्तार म्हणून एज कंप्युटिंग (Edge Computing as an Extension of the Cloud):

- **कमी विलंब (Reduced Latency):** एजवर डेटावर स्थानिक प्रक्रिया केल्याने उपकरणांना प्रतिसाद देण्यासाठी लागणारा वेळ लक्षणीयरीत्या कमी होतो, जो स्वायत्त वाहने (autonomous vehicles), स्मार्ट ट्रॅफिक लाइट आणि औद्योगिक स्वयंचलन (industrial automation) यांसारख्या रिअल-टाइम ॲप्लिकेशन्ससाठी महत्त्वाचा आहे.
- **बँडविड्थ आणि खर्चाची बचत (Bandwidth and Cost Savings):** केंद्रीकृत क्लाउड डेटा सेंटर्सना परत पाठवण्याची गरज असलेला डेटा कमी होतो, ज्यामुळे बँडविड्थ आणि खर्च वाचतो.
- **गोपनीयता (Privacy):** संवेदनशील डेटा स्थानिक पातळीवर प्रक्रिया आणि विश्लेषण केला जाऊ शकतो, ज्यामुळे तो क्लाउडवर प्रसारित करण्याची गरज कमी होते, सर्वव्यापी सेन्सिंगच्या (ubiquitous sensing) गोपनीयतेच्या चिंता दूर होतात.

#### 1. सर्व्हरलेस कंप्युटिंग (Serverless Computing):

सर्वव्यापी कंप्युटिंग मूळतः **इव्हेंट-ड्रिव्हन (event-driven)** आहे (उदा. सेन्सर हालचाल ओळखतो, तापमान बदलते). सर्व्हरलेस फंक्शन्स IoT उपकरणांकडून येणाऱ्या या विशिष्ट इव्हेंट्सना प्रतिसाद देण्यासाठी, डेटावर प्रक्रिया करण्यासाठी आणि कृती ट्रिगर (trigger actions) करण्यासाठी आदर्श आहेत. विकासक मूलभूत पायाभूत सुविधांची (underlying infrastructure) काळजी न करता सर्वव्यापी ॲप्लिकेशन्सच्या लॉजिकवर (logic) पूर्णपणे लक्ष केंद्रित करू शकतात, ज्यामुळे नवोपक्रमाला गती मिळते.

#### 2. आर्टिफिशियल इंटेलिजन्स (AI) आणि मशीन लर्निंग (ML) एकीकरण (AI & ML Integration):

क्लाउडमधील (आणि एजवरील) AI/ML सर्वव्यापी प्रणालींना संदर्भ (वापरकर्त्यांचे स्थान, क्रियाकलाप, प्राधान्ये, पर्यावरणीय परिस्थिती) समजून घेण्यास आणि त्यांच्या वर्तनाला गतिशीलपणे (dynamically) जुळवून घेण्यास सक्षम करते.

हे सर्वव्यापी उपकरणांना वापरकर्त्यांच्या गरजांचा अंदाज घेण्यास आणि वातावरणाला सक्रियपणे समायोजित करण्यास सक्षम करते. सर्वव्यापी सेन्सर्सद्वारे गोळा केलेला प्रचंड डेटा क्लाउड-आधारित AI/ML द्वारे प्रक्रिया आणि विश्लेषण केला जातो, ज्यामुळे उपयुक्त माहिती (insights) काढली जाते आणि बुद्धिमान कृतींना चालना मिळते.

### 3. हायब्रिड आणि मल्टी-क्लाउड स्ट्रॅटेजीज (Hybrid and Multi-Cloud Strategies):

हे सर्वव्यापी कंप्युटिंग घटकांना (उदा. एज गेटवे, डेटा प्रोसेसिंग) सर्वात योग्य वातावरणात ठेवण्याची परवानगी देते, मग ते विशिष्ट सार्वजनिक क्लाउड रीजन असो, खाजगी डेटा सेंटर असो किंवा एज लोकेशन असो, विलंब (latency), डेटा रेसिडेन्सी (data residency) किंवा सुरक्षिततेच्या गरजांवर आधारित.

### 4 वर्धित क्लाउड सुरक्षा आणि अनुपालन (Enhanced Cloud Security and Compliance):

सर्वव्यापी कंप्युटिंगमुळे हल्ल्याची पृष्ठभाग (attack surface) लक्षणीयरीत्या वाढते. क्लाउड सुरक्षा तंत्रज्ञान (उदा. IAM - ओळख आणि प्रवेश व्यवस्थापन, DLP - डेटा लॉस प्रिव्हेंशन, CSPM - क्लाउड सिक्युरिटी पोस्चर मॅनेजमेंट, CWPP - क्लाउड वर्कलोड प्रोटेक्शन प्लॅटफॉर्म) प्रवेश व्यवस्थापित करण्यासाठी, प्रवाहित (in motion) आणि विश्राम करताना (at rest) डेटाचे संरक्षण करण्यासाठी, आणि मोठ्या संख्येने जोडलेल्या उपकरणांना व त्यांच्या डेटाला सुरक्षित ठेवण्यासाठी महत्त्वपूर्ण आहेत. "कधीही विश्वास ठेवू नका, नेहमी पडताळा" (Never trust, always verify) हे तत्व सर्वव्यापी वातावरणात आणखी महत्त्वाचे ठरते जिथे उपकरणे आणि वापरकर्ते विविध नेटवर्कवर सतत संवाद साधत असतात.

### 5. 5G आणि प्रगत कनेक्टिव्हिटी (5G and Advanced Connectivity):

**1. उच्च क्षमता (High Capacity):** 5G ची क्षमता अब्जावधी सर्वव्यापी उपकरणांना एकाच वेळी संवाद साधण्यास समर्थन देते.

**2. अति-कमी विलंब (Ultra-low Latency):** यामुळे उपकरणे आणि क्लाउड/एज कंप्युटमध्ये रिअल-टाइम संवाद शक्य होतो, जो अत्यंत प्रतिसाद देणाऱ्या सर्वव्यापी ॲप्लिकेशन्ससाठी (highly responsive ubiquitous applications) महत्त्वाचा आहे. हे ट्रेन्स क्लाउडला सर्वव्यापी कंप्युटिंगच्या वाढीसाठी आणि विकासासाठी एक आवश्यक पायाभूत सुविधा बनवत आहेत, ज्यामुळे तंत्रज्ञान आपल्या जीवनाचा एक अदृश्य आणि बुद्धिमान भाग बनण्यास मदत होते.

### 5.2 इंटरनेट ऑफ थिंग्ज (IoT) मधील सक्षम करणारे तंत्रज्ञान (Enabling Technology in the Internet of Things (RFID, Sensor Networks and ZigBee Technologies, GPS))

**इंटरनेट ऑफ थिंग्ज (IoT)** म्हणजे भौतिक वस्तूंना इंटरनेटशी जोडणे, ज्यामुळे त्या डेटा गोळा करू शकतात आणि त्यांची देवाणघेवाण करू शकतात. दैनंदिन वस्तूंना "स्मार्ट" उपकरणांमध्ये रूपांतरित करणे हे विविध सक्षम तंत्रज्ञानांवर (enabling technologies) मोठ्या प्रमाणावर अवलंबून असते

#### 5.2.1 रेडिओ-फ्रिक्वेन्सी आयडेंटिफिकेशन (Radio-Frequency Identification RFID):

RFID तंत्रज्ञान **विद्युतचुंबकीय क्षेत्रांचा** (electromagnetic fields) वापर करून वस्तूंना जोडलेल्या टॅग्सना आपोआप ओळखते आणि त्यांचा मागोवा घेते. IoT साठी हे एक महत्त्वाचे सक्षम करणारे तंत्रज्ञान आहे, विशेषतः स्वयंचलित मालमत्ता ट्रॅकिंग (automated asset tracking) आणि वस्तूची यादी व्यवस्थापनाची (inventory management) आवश्यकता असलेल्या परिस्थितींमध्ये.

- 1. स्वयंचलित ओळख (Automatic Identification):** RFID टॅग्समध्ये अद्वितीय ओळखकर्ते (unique identifiers) असतात, ज्यामुळे IoT प्रणाली बारकोडच्या विपरीत, थेट दृष्टीरेषा स्कॅनिंगशिवाय (without line-of-sight scanning) वैयक्तिक वस्तू आपोआप ओळखू शकतात.
- 2. रिअल-टाइम डेटा कॅप्चर (Real-time Data Capture):** RFID रीडर्स टॅग्सना सतत स्कॅन करू शकतात, ज्यामुळे टॅग केलेल्या वस्तूचे स्थान (location), हालचाल (movement) आणि उपस्थिती (presence) याबद्दल रिअल-टाइम डेटा मिळतो. हा डेटा थेट IoT ॲनालिटिक्स प्लॅटफॉर्मवर (analytics platforms) फीड केला जातो.
- 3. बॅच रीडिंग (Batch Reading):** अनेक RFID टॅग्स एकाच वेळी वाचले जाऊ शकतात, ज्यामुळे वस्तूची गणना (inventory counts) करण्यासारख्या प्रक्रिया लक्षणीयरीत्या वेगवान होतात.
- 4. स्वयंचलन (Automation):** RFID ला IoT सह एकत्रित केल्याने, मालमत्ता ट्रॅकिंग (asset tracking), वस्तूची यादी व्यवस्थापन (inventory management) आणि गुणवत्ता नियंत्रण (quality control) यांसारख्या प्रक्रिया पूर्णपणे स्वयंचलित केल्या जाऊ शकतात, ज्यामुळे मानवी चुका (human error) आणि मानवी हस्तक्षेप (manual intervention) कमी होतो.

5. **स्थितीचे निरीक्षण (सेन्सर्ससह) (Condition Monitoring - with sensors):** मूलभूत RFID टॅग्स केवळ ओळख (ID) प्रदान करतात, परंतु अधिक प्रगत टॅग्स सेन्सर्ससह (उदा. तापमान, आर्द्रता) एकत्रित केले जाऊ शकतात. हे ओळख माहितीसह पर्यावरणीय डेटा (environmental data) देखील प्रदान करते, ज्यामुळे "वस्तू" खऱ्या अर्थाने "स्मार्ट" बनते आणि तिची स्थिती देखील कळते.

### IoT ॲप्लिकेशन्समध्ये RFID चा वापर (IoT Applications with RFID):

रेडिओ-फ्रिक्वेन्सी आयडेंटिफिकेशन (RFID) तंत्रज्ञान इंटरनेट ऑफ थिंग्ज (IoT) सह एकत्रित केल्याने विविध क्षेत्रांमध्ये क्रांती घडवून आणली आहे, ज्यामुळे कार्यक्षमता, दृश्यमानता आणि स्वयंचलन वाढले आहे.

येथे RFID सह IoT च्या काही प्रमुख ॲप्लिकेशन्सची माहिती दिली आहे:

#### 1. सप्लाय चेन आणि लॉजिस्टिक्स (Supply Chain & Logistics):

- **रिअल-टाइम ट्रॅकिंग:** वस्तूच्या उत्पादनापासून ते वितरणापर्यंत (delivery) त्यांचा रिअल-टाइम मागोवा घेणे. यामुळे वस्तूचे सध्याचे स्थान आणि स्थिती कळते.
- **गोदाम व्यवस्थापन (Inventory Management):** गोदामांमध्ये वस्तूची यादी (inventory) अधिक अचूकपणे आणि स्वयंचलितपणे व्यवस्थापित करणे, ज्यामुळे स्टॉकची अचूक माहिती मिळते.
- **कोल्ड चेन मॉनिटरिंग (Cold Chain Monitoring):** नाशवंत वस्तूच्या (perishable goods) वाहतुकीदरम्यान त्यांच्या तापमानाचे निरीक्षण करणे, ज्यामुळे त्यांची गुणवत्ता राखली जाते.
- **किरकोळ विक्री (Retail):**
- **स्वयंचलित यादी गणना (Automated Inventory Counts):** दुकानातील वस्तूची यादी स्वयंचलितपणे मोजणे, ज्यामुळे मानवी हस्तक्षेप कमी होतो आणि अचूकता वाढते.
- **चोरी प्रतिबंध (Theft Prevention):** RFID टॅग्स वापरून वस्तूच्या अनधिकृत हालचाली ओळखणे आणि चोरी रोखणे.
- **स्मार्ट फिटिंग रूम्स (Smart Fitting Rooms):** फिटिंग रूममध्ये आणलेल्या कपड्यांची माहिती RFID द्वारे ओळखणे, ग्राहकांना संबंधित सूचना किंवा इतर आकार उपलब्ध असल्याची माहिती देणे.
- **वर्धित ग्राहक अनुभव (Enhanced Customer Experiences):** ग्राहकांच्या आवडीनिवडीनुसार उत्पादनांची माहिती देणे किंवा चेकआउट प्रक्रिया वेगवान करणे.

#### 2. आरोग्यसेवा (Healthcare):

- **वैद्यकीय उपकरणांचा मागोवा घेणे (Tracking Medical Equipment):** हॉस्पिटलमध्ये वैद्यकीय उपकरणे (उदा. व्हीलचेअर्स, पंप) कुठे आहेत याचा रिअल-टाइम मागोवा घेणे, ज्यामुळे ती सहज उपलब्ध होतात
- **फार्मास्युटिकल यादी व्यवस्थापन (Managing Pharmaceutical Inventory):** औषधांच्या साठ्याचा अचूक मागोवा घेणे, त्यांची मुदतची तारीख (expiry dates) तपासणे आणि बनावट औषधांना आळा घालणे.
- **रुग्णांचा मागोवा (Patient Tracking):** रुग्णालयातील रुग्णांचा मागोवा घेणे (उदा. औषधांचे वेळापत्रक पाळले जात आहे का, किंवा त्यांची हालचाल कशी आहे हे तपासणे).

#### 3. स्मार्ट शहरे (Smart Cities):

- **RFID-सक्षम टोल सिस्टम (RFID-enabled Toll Systems):** टोल नाक्यांवर वाहनांना न थांबवता स्वयंचलित टोल गोळा करणे.
- **स्मार्ट कचरा व्यवस्थापन (Smart Waste Management):** कचरापेट्या (bins) किती भरल्या आहेत याचे निरीक्षण करणे, ज्यामुळे कचरा गोळा करण्याची प्रक्रिया अधिक कार्यक्षम होते.

4. **सार्वजनिक वाहतूक ट्रॅकिंग (Public Transport Tracking):** बस किंवा इतर सार्वजनिक वाहतुकीच्या साधनांचा रिअल-टाइम मागोवा घेणे, ज्यामुळे प्रवाशांना योग्य माहिती मिळते.

#### 5. मालमत्ता व्यवस्थापन (Asset Management):

**उच्च-मूल्याच्या मालमत्तांचे स्थान निश्चित करणे आणि व्यवस्थापन (Locating and Managing High-value Assets):** बांधकाम साइट्स (construction sites), डेटा सेंटर्स (data centers), कॉर्पोरेट कार्यालये (corporate offices)

यांसारख्या विविध वातावरणात उच्च-मूल्याच्या मालमत्तांचा (उदा. साधने, उपकरणे, IT हार्डवेअर) मागोवा घेणे आणि त्यांचे व्यवस्थापन करणे.

RFID तंत्रज्ञान IoT ॲप्लिकेशन्सना अधिक स्वयंचलित, कार्यक्षम आणि अचूक बनवण्यासाठी मदत करते, ज्यामुळे डेटावर आधारित निर्णय घेणे सोपे होते.

### 5.2.2 सेन्सर नेटवर्क्स (Sensor Networks):

सेन्सर नेटवर्क्स हे IoT साठी पायाभूत (foundational) आहेत, कारण ते जोडलेल्या जगाचे “डोळे आणि कान” आहेत, जे भौतिक वातावरणातून डेटा गोळा करतात. वायरलेस सेन्सर नेटवर्क (Wireless Sensor Network – WSN) मध्ये भौगोलिकदृष्ट्या वितरित (spatially distributed) स्वायत्त उपकरणे (autonomous devices) (ज्यांना सेन्सर नोड्स म्हणतात) असतात. ही उपकरणे भौतिक किंवा पर्यावरणीय परिस्थितीचे (उदा. तापमान, आवाज, दाब, गती, प्रकाश, आर्द्रता) निरीक्षण करतात आणि एकत्रितपणे (collaboratively) त्यांचा डेटा नेटवर्कद्वारे मुख्य ठिकाणी (ज्याला सिंक किंवा गेटवे म्हणतात) पाठवतात.

#### सेन्सर नेटवर्क्सची प्रमुख वैशिष्ट्ये:

**1. डेटा संकलन (Data Collection):** सेन्सर्स हे प्राथमिक माध्यम आहेत ज्याद्वारे भौतिक घटनांचे (physical phenomena) डिजिटल डेटामध्ये रूपांतर केले जाते, जे IoT प्रणाली समजू शकतात आणि त्यावर कार्य करू शकतात. उदाहरणार्थ, एक तापमान सेन्सर उष्णता (भौतिक घटना) मोजतो आणि ती डिजिटल मूल्यात (उदा. 25°C) रूपांतरित करतो, जी IoT प्रणालीद्वारे वाचली आणि प्रक्रिया केली जाते.

**2. पर्यावरणीय निरीक्षण (Environmental Monitoring):** सेन्सर नेटवर्क्स स्मार्ट घरांपासून ते औद्योगिक प्लांट्सपर्यंत (industrial plants) आणि दुर्गम नैसर्गिक क्षेत्रांपर्यंत (remote natural areas) विविध वातावरणातील विविध पॅरामीटर्सचे सतत (continuous) आणि रिअल-टाइम (real-time) निरीक्षण सक्षम करतात. यामुळे वातावरणातील बदलांची त्वरित माहिती मिळते आणि धोके (उदा. आग, पूर) किंवा कार्यक्षमतेतील त्रुटी (उदा. मशीनचा बिघाड) वेळेवर ओळखता येतात.

**3. संदर्भाची जाणीव (Context Awareness):** परिस्थितीबद्दल डेटा गोळा करून, सेन्सर्स महत्त्वपूर्ण संदर्भ (context) प्रदान करतात, ज्यामुळे IoT प्रणाली बुद्धिमान आणि अनुकूली (adaptive) निर्णय घेऊ शकतात. उदाहरणार्थ, एका स्मार्ट घरात, सेन्सर्स (प्रकाश, उपस्थिती, तापमान) डेटा गोळा करतात, ज्यामुळे प्रणालीला घराच्या वर्तमान "संदर्भ" ची जाणीव होते आणि त्यानुसार लाइट, हीटिंग किंवा कूलिंग समायोजित केले जाते.

#### 4. फीडबॅक लूप्स (Feedback Loops):

सेन्सर्स अनेकदा ॲक्ट्युएटर्ससोबत (actuators) काम करतात, ज्यामुळे फीडबॅक लूप्स (feedback loops) तयार होतात. हे फीडबॅक लूप्स IoT प्रणालींना परिस्थिती ओळखण्याची आणि नंतर त्यांना नियंत्रित करण्यासाठी किंवा प्रतिसाद देण्यासाठी कृती सुरू करण्याची परवानगी देतात. उदाहरणार्थ, तापमान सेन्सर उच्च तापमान ओळखतो (डेटा संकलन), प्रणाली हे तापमान खूप जास्त असल्याचे ठरवते (संदर्भ जागरूकता), आणि नंतर ॲक्ट्युएटर (उदा. एअर कंडीशनर) चालू करण्याची कृती सुरू करते (फीडबॅक लूप पूर्ण).

#### IoT Applications with Sensor Networks:

सेन्सर नेटवर्क्ससह IoT च्या काही प्रमुख ॲप्लिकेशन्सची माहिती खालीलप्रमाणे आहे:

##### 1. स्मार्ट होम्स (Smart Homes):

**तापमान, आर्द्रता, गती, प्रकाश सेन्सर्स:** स्वयंचलित हवामान नियंत्रण (automated climate control), लाइटिंग आणि सुरक्षा प्रणालीसाठी वापरले जातात.

**उदाहरण:** जेव्हा तुम्ही खोलीत प्रवेश करता, तेव्हा मोशन सेन्सर गती ओळखतो आणि लाइट आपोआप चालू होतात, किंवा तापमान सेन्सरनुसार एअर कंडीशनर नियंत्रित होतो.

##### 2. स्मार्ट शहरे (Smart Cities):

**हवेच्या गुणवत्तेचे निरीक्षण (Air Quality Monitoring):** शहरातील हवेतील प्रदूषकांचे प्रमाण सतत तपासण्यासाठी सेन्सर वापरले जातात.

**ध्वनी प्रदूषणाची ओळख (Noise Pollution Detection):** शहरांमधील आवाजाच्या पातळीचे निरीक्षण करून ध्वनी प्रदूषणाचे स्रोत ओळखणे.

**स्मार्ट पार्किंग (Smart Parking):** पार्किंगमधील जागेची उपलब्धता (occupancy sensors) ओळखण्यासाठी सेन्सरचा वापर, ज्यामुळे वाहनचालकांना रिकाम्या जागा शोधण्यात मदत होते.

**पुलांचे संरचनात्मक आरोग्य निरीक्षण (Structural Health Monitoring of Bridges):** पूल आणि इतर पायाभूत सुविधांच्या स्थिरतेचे निरीक्षण करण्यासाठी (उदा. कंप, ताण) सेन्सर्सचा वापर, संभाव्य समस्या लवकर ओळखण्यासाठी.

### 3. शेती (Agriculture):

**मातीतील आर्द्रता सेन्सर्स (Soil Moisture Sensors):** जमिनीतील पाण्याची पातळी मोजण्यासाठी, ज्यामुळे पाण्याची बचत होऊन योग्य सिंचन (optimizing irrigation) करता येते.

**पोषक घटक सेन्सर्स (Nutrient Sensors):** मातीतील पोषक घटकांचे प्रमाण तपासण्यासाठी, पिकांच्या वाढीसाठी आवश्यक खतांचे प्रमाण निश्चित करण्यासाठी.

**4. हवामान केंद्रे (Weather Stations):** शेतात लहान हवामान केंद्रे स्थापित करून तापमान, पाऊस, वाऱ्याची गती यांसारख्या घटकांचे निरीक्षण करणे, ज्यामुळे **प्रिसिजन फार्मिंग (precision farming)** शक्य होते आणि पिकाचे उत्पादन वाढण्यास मदत होते.

### 5. औद्योगिक IoT (Industrial IoT - IIoT):

**यंत्रसामग्रीच्या स्थितीचे निरीक्षण (Condition Monitoring of Machinery):** यंत्रांचे कंप (vibration), तापमान आणि इतर कार्यात्मक मापदंड (parameters) मोजण्यासाठी सेन्सर वापरले जातात.

**भविष्यातील देखभाल (Predictive Maintenance):** या डेटाच्या आधारे यंत्र बिघडण्यापूर्वीच संभाव्य बिघाड ओळखणे, ज्यामुळे वेळेवर देखभाल करून खर्च वाचतो आणि कामात व्यत्यय येत नाही.

**6. प्रक्रिया निरीक्षण (Process Monitoring) आणि पर्यावरणीय सुरक्षा (Environmental Safety):** औद्योगिक प्रक्रियांचे निरीक्षण करणे आणि कार्यस्थळावरील पर्यावरणीय सुरक्षितता सुनिश्चित करणे.

### पर्यावरण निरीक्षण (Environmental Monitoring):

**वनवा ओळखणे (Forest Fire Detection):** जंगलातील तापमान, धूर आणि कार्बन मोनोऑक्साइडच्या पातळीचे निरीक्षण करून वनव्याची लवकर सूचना देणे.

**पाण्याच्या गुणवत्तेचे निरीक्षण (Water Quality Monitoring):** नद्या, तलाव आणि पिण्याच्या पाण्याच्या स्रोतांमध्ये पाण्याचा pH, ऑक्सीजन पातळी आणि प्रदूषक घटकांचे निरीक्षण करणे.

**7. भूकंपीय हालचालींची ओळख (Seismic Activity Detection):** भूकंपाच्या लहान हालचाली ओळखण्यासाठी सेन्सरचा वापर, ज्यामुळे संभाव्य भूकंपाची लवकर माहिती मिळू शकते.

### 5.3.3 झिगबी तंत्रज्ञान (ZigBee Technologies):

झिगबी हे IEEE 802.15.4 मानकावर (standard) आधारित एक कमी-ऊर्जेचे (low-power), कमी-डेटा-दराचे (low-data-rate) वायरलेस संप्रेषण प्रोटोकॉल (wireless communication protocol) आहे. हे विशेषतः वायरलेस पर्सनल एरिया नेटवर्कसाठी (Wireless Personal Area Networks - WPANs) डिझाइन केले गेले आहे आणि त्याच्या कार्यक्षमतेमुळे (efficiency) आणि मेश नेटवर्किंग क्षमतेमुळे (mesh networking capabilities) IoT मध्ये ते मोठ्या प्रमाणावर स्वीकारले गेले आहे.

### झिगबी तंत्रज्ञानाची प्रमुख वैशिष्ट्ये:

**1. कमी ऊर्जा वापर (Low Power Consumption):** बॅटरीवर चालणाऱ्या IoT उपकरणांसाठी (उदा. सेन्सर्स, स्मार्ट लॉक्स) हे आदर्श आहे, कारण त्यांना बॅटरी बदलण्याची आवश्यकता न पडता अनेक महिने किंवा वर्षे कार्य करणे शक्य होते. यामुळे उपकरणांची देखभाल कमी होते.

**2. मेश नेटवर्किंग (Mesh Networking):** झिगबी उपकरणे **रिपीटर (repeaters)** म्हणून कार्य करू शकतात, म्हणजे ती इतर उपकरणांमधील डेटा पुढे पाठवू शकतात (relay data). यामुळे एक अत्यंत मजबूत (robust) आणि स्वयं-दुरुस्त (self-healing) नेटवर्क तयार होते, जे श्रेणी (range) वाढवते आणि विश्वासार्हता (reliability) सुधारते, जरी काही नोड्स (nodes) निकामी झाले तरीही नेटवर्क चालू राहते.

**3. कमी खर्च (Low Cost):** झिगबी चिप्स तुलनेने स्वस्त असतात, ज्यामुळे मोठ्या संख्येने उपकरणे (उदा. स्मार्ट घरातील अनेक सेन्सर्स) तैनात करण्यासाठी ते योग्य आहे. यामुळे IoT सोल्यूशन्सची किंमत कमी होते.

**4. स्केलेबिलिटी (Scalability):** हे ६५,००० पर्यंत नोड्स असलेल्या मोठ्या नेटवर्कना समर्थन देते, ज्यामुळे ते व्यापक स्मार्ट होम (smart home) किंवा बिल्डिंग ऑटोमेशन (building automation) प्रणालींसाठी योग्य ठरते. यामुळे भविष्यातील वाढीसाठी सोयीस्कर ठरते.

**5. आंतरकार्यक्षमता (Interoperability):** कनेक्टिव्हिटी स्टँडर्ड्स अलायन्सने (Connectivity Standards Alliance - पूर्वीचे Zigbee Alliance) व्यवस्थापित केलेले एक खुले मानक (open standard) असल्याने, ते वेगवेगळ्या उत्पादकांच्या (different manufacturers) उपकरणांमध्ये आंतरकार्यक्षमतेला (interoperability) प्रोत्साहन देते. याचा अर्थ, विविध कंपन्यांची झिगबी-सक्षम उपकरणे एकमेकांशी संवाद साधू शकतात.

### IoT ॲप्लिकेशन्समध्ये झिगबीचा वापर (IoT Applications with ZigBee):

#### 1. स्मार्ट होम्स (Smart Homes):

- **स्मार्ट लाइटिंग (Smart Lighting):** Philips Hue, IKEA Tradfri सारख्या उत्पादनांमध्ये झिगबीचा वापर केला जातो, ज्यामुळे लाइट वायरलेस पद्धतीने नियंत्रित करता येतात, त्यांची चमक आणि रंग बदलता येतात.
- **थर्मोस्टॅट्स (Thermostats):** घराचे तापमान नियंत्रित करण्यासाठी स्मार्ट थर्मोस्टॅट्स.
- **दरवाजाची कुलुपे (Door Locks):** स्मार्ट डोअर लॉक्स, जे दूरस्थपणे (remotely) उघडता किंवा बंद करता येतात.
- **सुरक्षा सेन्सर्स (Security Sensors):** खिडक्या/दरवाजावरील सेन्सर्स, मोशन सेन्सर्स, जे घुसखोरीची सूचना देतात.
- **स्मार्ट प्लग्स (Smart Plugs):** साध्या उपकरणांना स्मार्ट बनवण्यासाठी, जे दूरस्थपणे चालू/बंद करता येतात किंवा वेळापत्रकानुसार (schedule) नियंत्रित करता येतात.

#### 2. बिल्डिंग ऑटोमेशन (Building Automation):

- **HVAC नियंत्रण (HVAC Control):** व्यावसायिक इमारतींमध्ये हीटिंग, व्हेंटिलेशन आणि एअर कंडीशनिंग (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) प्रणाली स्वयंचलितपणे नियंत्रित करणे.
- **ऊर्जा व्यवस्थापन प्रणाली (Energy Management Systems):** इमारतींच्या ऊर्जा वापराचे निरीक्षण आणि ऑप्टिमायझेशन करणे.
- **प्रवेश नियंत्रण (Access Control):** इमारतींमध्ये प्रवेश व्यवस्थापित करण्यासाठी सुरक्षा प्रणाली.
- **लाइटिंग प्रणाली (Lighting Systems):** इमारतीतील लाइटिंग स्वयंचलित करणे आणि ऊर्जा वाचवणे.

#### 3. औद्योगिक IoT (Industrial IoT - IIoT):

- **प्रेडिक्टिव्ह मटेनन्ससाठी वायरलेस सेन्सर नेटवर्क्स (Wireless Sensor Networks for Predictive Maintenance):** कारखान्यांमधील यंत्रसामग्रीच्या कंप (vibration), तापमान आणि इतर स्थितीचे वायरलेस सेन्सर्सद्वारे निरीक्षण करणे. यामुळे यंत्र बिघडण्यापूर्वीच संभाव्य समस्या ओळखता येतात.
- **कारखान्यांमध्ये मालमत्ता ट्रॅकिंग (Asset Tracking within Factories):** कारखान्यातील उपकरणांचा किंवा उत्पादनांचा मागोवा घेणे.
- **औद्योगिक ऊर्जा व्यवस्थापन (Industrial Energy Management):** औद्योगिक सुविधांमध्ये ऊर्जा वापराचे निरीक्षण आणि ऑप्टिमायझेशन करणे.
- **स्मार्ट ऊर्जा व्यवस्थापन (Smart Energy Management):**
- स्मार्ट मीटर्स (Smart Meters) आणि इतर ऊर्जा उपभोग करणाऱ्या उपकरणांना जोडणे, ज्यामुळे ऊर्जेच्या वापराचे **रिअल-टाइम निरीक्षण** (real-time monitoring) करता येते. हे वापरकर्त्यांना आणि ऊर्जा कंपन्यांना ऊर्जा वापर अधिक कार्यक्षमतेने व्यवस्थापित करण्यास मदत करते.

#### 4. आरोग्यसेवा (Healthcare):

- **दूरस्थ रुग्ण निरीक्षण (Remote Patient Monitoring):** रुग्णांच्या महत्त्वपूर्ण लक्षणांचे (vital signs) (उदा. हृदय गती, रक्तदाब) वायरलेस सेन्सर्सद्वारे दूरस्थपणे निरीक्षण करणे, विशेषतः जुनाट आजार (chronic conditions) असलेल्या रुग्णांसाठी.
- **असिस्टेड लिव्हिंग सिस्टिम्स (Assisted Living Systems):** वृद्धांसाठी किंवा मर्यादित हालचाल असलेल्या व्यक्तींसाठी त्यांच्या घरात सुरक्षितता आणि सोयीसाठी सेन्सर्स आणि ॲक्च्युएटर्स वापरणे.

#### 5.2.4. ग्लोबल पोजिशनिंग सिस्टिम (Global Positioning System (GPS) :

GPS ही एक उपग्रह-आधारित नेव्हिगेशन प्रणाली (satellite-based navigation system) आहे जी पृथ्वीवर कोठेही स्थान (location) आणि वेळेची माहिती (time information) प्रदान करते. पारंपरिक अर्थाने GPS 'सेन्सर' नसले तरी, स्थान-जागरूक ॲप्लिकेशन्ससाठी (location-aware applications) त्याचा IoT उपकरणांमध्ये समावेश करणे अत्यंत महत्त्वाचे आहे.

#### IoT ॲप्लिकेशन्समध्ये GPS चे महत्त्व (Importance of GPS in IoT Applications):

1. **अचूक स्थान ट्रॅकिंग (Precise Location Tracking):** GPS मोबाईल मालमत्ता (mobile assets) आणि व्यक्तींसाठी अचूक रिअल-टाइम भौगोलिक निर्देशांक (real-time geographical coordinates) प्रदान करते. उदाहरण: लॉजिस्टिक्स कंपनी त्यांच्या वस्तूंचा किंवा वाहनांचा नेमका मागोवा घेऊ शकतात.
2. **जिओफेन्सिंग (Geofencing):** GPS व्हर्च्युअल सीमा (virtual boundaries) निश्चित करण्यास अनुमती देते. जेव्हा GPS-सक्षम IoT उपकरण पूर्वनिर्धारित क्षेत्रात प्रवेश करते किंवा त्यातून बाहेर पडते, तेव्हा ते एक अलर्ट (alert) किंवा कृती (action) ट्रिगर करते. सुरक्षा, मालमत्ता व्यवस्थापन (asset management) आणि लॉजिस्टिक्ससाठी हे आवश्यक आहे. उदाहरण एखादी वस्तू विशिष्ट कार्यक्षेत्रातून बाहेर पडल्यास त्वरित सूचना मिळणे.
3. **मार्ग ऑप्टिमायझेशन आणि नेव्हिगेशन (Route Optimization & Navigation):** GPS ताफ्यांसाठी (fleets) डायनॅमिक मार्ग नियोजनास (dynamic route planning) सक्षम करते, ज्यामुळे वितरण वेळ (delivery times) आणि इंधनाचा वापर (fuel consumption) ऑप्टिमाइझ होतो. उदाहरण वाहतूक कंपनी कमी वेळेत आणि कमी इंधनात वस्तू पोहोचवण्यासाठी सर्वोत्तम मार्ग निवडू शकतात.
4. **स्थान-आधारित सेवा (Location-Based Services - LBS):** GPS उपकरणाच्या वर्तमान स्थानावर आधारित सेवा किंवा माहिती देणाऱ्या ॲप्लिकेशन्सना शक्ती देते. उदाहरण: कनेक्ट केलेल्या वाहनासाठी (connected vehicle) सर्वात जवळचे सर्विस स्टेशन शोधणे किंवा वापरकर्त्यांच्या स्थानानुसार जाहिराती प्रदर्शित करणे.
5. **वेळेचे सिंक्रोनायझेशन (Time Synchronization):** GPS रिसीव्हर्स अत्यंत अचूक वेळेचे सिग्नल देखील प्रदान करतात, जे वितरित IoT प्रणालींमध्ये (distributed IoT systems) डेटा लॉग्स (data logs) आणि घटनांचे (events) सिंक्रोनायझेशन करण्यासाठी महत्त्वाचे आहेत. उदाहरण: अनेक सेन्सर्स आणि उपकरणांकडून येणारा डेटा अचूक वेळेनुसार जुळवून, घटनांचा योग्य क्रम समजून घेणे.

#### IoT ॲप्लिकेशन्समध्ये GPS चा वापर (IoT Applications with GPS)

#### लॉजिस्टिक्स आणि फ्लीट व्यवस्थापन (Logistics & Fleet Management):

1. **वाहनांचा रिअल-टाइम ट्रॅकिंग:** वाहतूक कंपन्यांना त्यांच्या वाहनांचे (ट्रक, व्हॅन) सध्याचे स्थान आणि गती यांचा तात्काळ मागोवा घेता येतो.
2. **वितरण मार्गांचे ऑप्टिमायझेशन (Optimizing Delivery Routes):** सर्वात कार्यक्षम आणि जलद वितरण मार्ग योजना तयार करणे, ज्यामुळे वेळ आणि इंधनाची बचत होते.
3. **ड्रायव्हरच्या वर्तनाचे निरीक्षण (Monitoring Driver Behavior):** ड्रायव्हरच्या ड्रायव्हिंग सवयींचे (उदा. वेग, अचानक ब्रेक) निरीक्षण करणे, सुरक्षितता आणि कार्यक्षमता सुधारण्यासाठी.

4. **वितरण क्षेत्रांसाठी जिओफेन्सिंग (Geofencing for Delivery Zones):** विशिष्ट वितरण क्षेत्रांसाठी व्हर्चुअल सीमा निश्चित करणे; जेव्हा वाहन या क्षेत्रात प्रवेश करते किंवा बाहेर पडते तेव्हा अलर्ट मिळवणे.

#### मालमत्ता ट्रॅकिंग (Asset Tracking):

1. **उच्च-मूल्याच्या मोबाईल मालमत्तांचे स्थान निश्चित करणे:** बांधकाम उपकरणे, शिपिंग कंटेनर्स (shipping containers), भाड्याने दिलेल्या गाड्या (rental cars) यांसारख्या उच्च-मूल्याच्या आणि सहज हलवता येणाऱ्या मालमत्तांचे स्थान निश्चित करणे.
2. **नुकसान किंवा चोरी प्रतिबंध (Prevent Loss or Theft):** मालमत्ता गहाळ होण्यापासून किंवा चोरीला जाण्यापासून रोखण्यासाठी त्यांचा सतत मागोवा घेणे.

#### स्मार्ट शेती (Smart Agriculture):

1. **प्रिसिजन फार्मिंग ॲप्लिकेशन्स (Precision Farming Applications):** शेताच्या विशिष्ट भागांमधील परिस्थितीचे निरीक्षण करणे आणि त्यानुसार पाण्याची आणि खतांची मात्रा समायोजित करणे.
2. **स्वायत्त शेती वाहनांसाठी मार्गदर्शन (Guidance for Autonomous Farm Vehicles):** स्वयंचलित ट्रॅक्टर किंवा ड्रोनला शेतात अचूकपणे नेव्हिगेट करण्यासाठी मार्गदर्शन करणे.
3. **पशुधनाचा मागोवा (Tracking Livestock):** मोठ्या कुरणात (pastures) फिरणाऱ्या पशुधनाचा (उदा. गायी, मेंढ्या) मागोवा घेणे, ज्यामुळे त्यांच्या स्थानाची आणि आरोग्याची माहिती मिळते.

#### वैयक्तिक ट्रॅकिंग (Personal Tracking):

1. **वेअरेबल उपकरणे (Wearable Devices):** लहान मुले, वृद्ध व्यक्ती किंवा पाळीव प्राणी यांच्यासाठी वेअरेबल डिव्हाइसेसद्वारे त्यांचे स्थान ट्रॅक करणे, सुरक्षेसाठी.
2. **फिटनेस ट्रॅकर्स (Fitness Trackers):** फिटनेस ट्रॅकर्समध्ये मार्ग मॅपिंग (route mapping) करण्यासाठी GPS चा वापर, ज्यामुळे जॉगिंग किंवा सायकलिंगच्या मार्गाची नोंद होते.

#### कनेक्टेड वाहने (Connected Vehicles):

1. **नेव्हिगेशन (Navigation):** वाहनांमध्ये रिअल-टाइम नेव्हिगेशन आणि मार्गदर्शन.
2. **चोरी झालेल्या वाहनाची पुनर्प्राप्ती (Stolen Vehicle Recovery):** चोरीला गेलेल्या वाहनाचे स्थान निश्चित करणे आणि ते परत मिळवण्यात मदत करणे.
3. **आणीबाणी सेवा (Emergency Services):** अपघाताच्या वेळी स्वयंचलितपणे आणीबाणी सेवांना (उदा. eCall सिस्टिम) वाहनाचे स्थान पाठवणे.

#### सप्लाय चेन दृश्यमानता (Supply Chain Visibility):

1. **संवेदनशील वस्तूंचे निरीक्षण (Monitoring Sensitive Goods):** वाहतुकीदरम्यान संवेदनशील वस्तूंचे स्थान आणि पर्यावरणीय परिस्थिती (उदा. तापमान, आर्द्रता) यांचे निरीक्षण करणे.
2. **गुणवत्ता नियंत्रण (Quality Control):** विशेषतः फार्मास्युटिकल्स किंवा नाशवंत वस्तूंच्या वाहतुकीमध्ये गुणवत्ता राखण्यासाठी हे महत्त्वाचे आहे.

### 5.3 इंटरनेट ऑफ थिंग्ज (IoT) सह नाविन्यपूर्ण ॲप्लिकेशन्स (Innovative Applications with the Internet of Things) (Ex: Health care: ECG Analysis in Cloud and its access, CRM and ERP: Business and Consumer Application)

#### आरोग्यसेवा: क्लाउडमध्ये ECG विश्लेषण आणि त्याचा प्रवेश (Healthcare: ECG Analysis in Cloud and its Access)

**समस्या:** हृदयविकाराच्या काळजीसाठी अनेकदा रुग्णांना ECG चाचण्यांसाठी रुग्णालयात जावे लागते, ज्यामुळे विलंब (delays), रुग्णांना अस्वस्थता (discomfort) आणि आरोग्यसेवा पायाभूत सुविधांवर (healthcare infrastructure) ताण येतो. धोका असलेल्या रुग्णांसाठी (at-risk patients) क्लिनिकल सेटिंगबाहेर सततचे निरीक्षण (continuous monitoring) करणे कठीण होते.

**हे कसे कार्य करते (How it Works):**

- 1. डेटा संकलन (Data Collection):** वेअरेबल ECG सेन्सर्स (wearable ECG sensors) रुग्णाच्या शरीरातून रिअल-टाइम इलेक्ट्रोकार्डिओग्राम (ECG) डेटा गोळा करतात. हे सेन्सर्स लहान, हलके आणि सतत वापरता येण्याजोगे असतात.
- 2. एज प्रक्रिया (ऐच्छिक परंतु वाढत आहे) (Edge Processing - Optional but Growing):** काही प्रारंभिक प्रक्रिया (initial processing) किंवा विसंगती ओळखणे (anomaly detection) डिव्हाइसवर किंवा जवळील गेटवेवर (उदा. स्मार्टफोन) होऊ शकते. यामुळे डेटा फिल्टर केला जातो किंवा गंभीर घटनांसाठी (critical events) त्वरित अलर्ट ट्रिगर केले जातात, ज्यामुळे क्लाउडवरील भार कमी होतो आणि रिअल-टाइम प्रतिसाद सुधारतो.
- 3. क्लाउड विश्लेषण आणि AI/ML (Cloud Analysis & AI/ML):** क्लाउडमध्ये, शक्तिशाली कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI) आणि मशीन लर्निंग (ML) अल्गोरिदम ECG डेटाच्या विशाल प्रवाहांचे (vast streams) विश्लेषण करतात. हे अल्गोरिदम हृदयाच्या ठोक्यांमधील अनियमितता, अरिथ्मिया (arrhythmias) आणि इतर महत्त्वाच्या पॅटर्नची (patterns) ओळख करतात, जे मानवी डोळ्यांना सहजासहजी दिसू शकत नाहीत.
- 4. संबंधित भागधारकांसाठी सुरक्षित प्रवेश (Secure Access for Stakeholders):**
- 5.** या क्लाउड-आधारित प्रणालीमुळे विविध भागधारकांना सुरक्षितपणे आणि प्रभावीपणे ECG डेटा अॅक्सेस करता येतो:
- 6. डॉक्टर/हृदयविकार तज्ञ (Doctors/Cardiologists):** डॉक्टर आणि हृदयविकार तज्ञ त्यांच्या संगणक, टॅब्लेट किंवा स्मार्टफोनवर वेब पोर्टल्स किंवा विशेष मोबाइल ॲप्लिकेशन्सद्वारे रिअल-टाइम आणि ऐतिहासिक ECG डेटा, विश्लेषण अहवाल (analysis reports) आणि अलर्ट्स सुरक्षितपणे अॅक्सेस करू शकतात. यामुळे जगातील कोणत्याही ठिकाणाहून दूरस्थ निदान (remote diagnosis) आणि सल्लामसलत (consultation) करणे शक्य होते, ज्यामुळे रुग्णांना त्वरित काळजी मिळते.
- 7. रुग्ण (Patients):** रुग्ण स्वतःच्या ECG ट्रेंड्स, क्रियाकलाप डेटा पाहू शकतात आणि रुग्णासाठी तयार केलेल्या मोबाइल ॲपद्वारे उपयुक्त माहिती (insights) किंवा स्मरणपत्रे (reminders) प्राप्त करू शकतात. यामुळे रुग्णांना त्यांचे आरोग्य सक्रियपणे व्यवस्थापित करण्यास (actively manage their health) सक्षम करते.
- 8. आपत्कालीन सेवा (Emergency Services):** गंभीर परिस्थितींमध्ये (critical situations), ही प्रणाली आपत्कालीन संपर्क (emergency contacts) किंवा सेवांना (उदा. रुग्णवाहिका) रुग्णाचे स्थान (location) आणि गंभीर ECG डेट्यासह आपोआप सूचित (automatically alert) करू शकते, ज्यामुळे जलद प्रतिसाद (rapid response) मिळतो आणि जीव वाचू शकतो.
- 9. कुटुंब/काळजी घेणारे (Family/Caregivers):** अधिकृत कुटुंबातील सदस्य किंवा काळजी घेणारे (विशेषतः वृद्ध किंवा दीर्घकाळ आजारी रुग्णांसाठी) रुग्णाच्या स्थितीचे दूरस्थपणे निरीक्षण करू शकतात. यामुळे त्यांना मानसिक शांती मिळते आणि गरज पडल्यास ते मदत देऊ शकतात.

**Benefits:**

- 1. दूरस्थ रुग्ण निरीक्षण (Remote Patient Monitoring):** हे पारंपरिक हॉस्पिटल सेटिंग्जच्या बाहेरही हृदयविकाराच्या रुग्णांचे सतत निरीक्षण (continuous monitoring) करण्यास सक्षम करते. यामुळे रुग्णांच्या जीवनाची गुणवत्ता (quality of life) सुधारते आणि रुग्णालयात पुन्हा दाखल होण्याची (hospital readmissions) शक्यता कमी होते. रुग्ण त्यांच्या घरातूनच आवश्यक ती काळजी घेऊ शकतात.
- 2. लवकर ओळख (Early Detection):** AI-शक्तीवर चालणारे विश्लेषण (AI-powered analysis) सूक्ष्म बदल (subtle changes) किंवा विसंगती (anomalies) ओळखू शकते, ज्या कदाचित मधूनमधून केलेल्या मॅन्युअल तपासण्यांमध्ये (intermittent manual checks) सुटू शकतात. यामुळे रोगाचे लवकर निदान (earlier diagnosis) होते आणि वेळेवर हस्तक्षेप (intervention) शक्य होतो, ज्यामुळे रुग्णाच्या उपचाराचे परिणाम सुधारतात.

**3. वैयक्तिकृत काळजी (Personalized Care):** प्रत्येक व्यक्तीच्या हृदय आरोग्याच्या ट्रेंड्सची (heart health trends) सखोल माहिती मिळते, ज्यामुळे अत्यंत वैयक्तिकृत उपचार योजना (highly personalized treatment plans) तयार करणे शक्य होते. प्रत्येक रुग्णाच्या विशिष्ट गरजांनुसार उपचार अधिक प्रभावी बनतात.

**4. आरोग्यसेवा खर्च कमी होतो (Reduced Healthcare Costs):** रुग्णालयात कमी वेळा जावे लागते, सक्रिय हस्तक्षेप (proactive interventions) आणि संसाधनांचे ऑप्टिमायझेशन (optimized resource allocation) यामुळे आरोग्यसेवेचा खर्च कमी होण्यास मदत होते. अनावश्यक चाचण्या आणि रुग्णालयात राहण्याचा खर्च टाळता येतो.

**5. संशोधनासाठी डेटा (Data for Research):** क्लाउडमध्ये जमा केलेला, **अनामिक** (anonymized) केलेला ECG डेटा वैद्यकीय संशोधन (medical research), औषध शोध (drug discovery) आणि नवीन निदान साधने (new diagnostic tools) विकसित करण्यासाठी एक मौल्यवान संसाधन (valuable resource) ठरू शकतो. मोठ्या लोकसंख्येतील हृदयाच्या पॅटर्नचा अभ्यास करून, नवीन उपचार पद्धती आणि प्रतिबंधक उपाय विकसित करणे शक्य होते.

### CRM (Customer Relationship Management):

**1. CRM मध्ये IoT: ग्राहकांचा अनुभव आणि प्रतिबद्धता वाढवणे (IoT in CRM: Enhancing Customer Experience and Engagement)**

ग्राहक संबंध व्यवस्थापन (Customer Relationship Management - CRM) प्रणाली ग्राहकांच्या जीवनचक्रादरम्यान (customer lifecycle) त्यांच्याशी असलेले संवाद आणि डेटा व्यवस्थापित करण्यावर लक्ष केंद्रित करतात. IoT, ग्राहकांचे वर्तन (customer behavior), उत्पादनाचा वापर (product usage) आणि पर्यावरणीय घटक (environmental factors) याबद्दल **रिअल-टाइम, वस्तुनिष्ठ डेटा** (real-time, objective data) प्रदान करून CRM प्रणालींना अधिक प्रभावी बनवते.

### ॲप्लिकेशन्स (Applications):

**1. सक्रिय ग्राहक सेवा आणि अंदाजित देखभाल (Proactive Customer Service & Predictive Maintenance):**

**परिस्थिती:** एक कंपनी स्मार्ट HVAC (हीटिंग, व्हेंटिलेशन, एअर कंडीशनिंग) प्रणाली तयार करते. या युनिट्समधील IoT सेन्सर्स सतत त्यांच्या कार्यक्षमतेचे निरीक्षण करतात.

**नाविन्य (Innovation):** जर एखाद्या सेन्सरने संभाव्य बिघाड दर्शवणारी विसंगती (anomaly) (उदा. पंख्याची मोटर असामान्यपणे कंप पावत असेल) ओळखली, तर हा डेटा तात्काळ CRM प्रणालीला पाठवला जातो. ग्राहक समस्या कळवण्याऐवजी, CRM आपोआप त्या समस्येला ध्वजांकित (flags) करते. त्यानंतर CRM पुढील गोष्टींना चालना देऊ शकते: सेवा तिकीट निर्मिती (service ticket creation). ग्राहकाला संभाव्य समस्येबद्दल सक्रियपणे सूचित करणे (proactively alert). प्रणाली बिघडण्यापूर्वीच देखभालीची वेळ (maintenance appointment) निश्चित करणे. योग्य सुट्या भागांसह (right parts) सर्वात जवळचा तंत्रज्ञ (technician) पाठवणे. यामुळे पहिल्याच प्रयत्नात दुरुस्तीचे प्रमाण (first-time fix rates) सुधारते आणि ग्राहकांचे समाधान (customer satisfaction) वाढते.

**2. वैयक्तिकृत मार्केटिंग आणि विक्री (Personalized Marketing & Sales):**

**परिस्थिती:** एक किरकोळ विक्रीचे दुकान (retail store) ग्राहकांच्या हालचालींचा आणि दुकानात थांबण्याच्या वेळेचा मागोवा घेण्यासाठी IoT सेन्सर्स (बीकन्स, स्मार्ट कॅमेरे) वापरते.

**नाविन्य (Innovation):** ग्राहकांच्या पसंती (preferences), दुकानातील वर्तन (in-store behavior) आणि खरेदी इतिहासाचा (purchase history) डेटा (जो CRM कडून येतो) IoT मधील रिअल-टाइम स्थान डेटासह एकत्रित केला जातो (combined). जेव्हा ग्राहक एखाद्या विशिष्ट उत्पादनाजवळ किंवा विभागाजवळ असतो, तेव्हा CRM त्याच्या मागील खरेदी किंवा ब्राउझिंग सवयींवर आधारित वैयक्तिकृत जाहिराती (personalized promotions) किंवा शिफारसी (recommendations) थेट त्याच्या स्मार्टफोनवर ट्रिगर करू शकते.

**3. वर्धित विक्रीपश्चात समर्थन (Enhanced Post-Sale Support):**

**परिस्थिती:** एक ग्राहक IoT कनेक्टिव्हिटी असलेले स्मार्ट उपकरण (रेफ्रिजरेटर, वॉशिंग मशीन) खरेदी करतो.

**नाविन्य (Innovation):** ते उपकरण वापर डेटा (usage data), निदान माहिती (diagnostic information) आणि **एरर कोड्स (error codes)** उत्पादकाच्या CRM ला पाठवते. जर एखादी त्रुटी (error) उद्भवली, तर CRM ला तात्काळ

विशिष्ट एरर कोड मिळतो, ज्यामुळे ग्राहक समर्थन एजंट्स (customer support agents) अधिक प्रभावीपणे समस्यानिवारण (troubleshoot) करू शकतात, अचूक सूचना (precise instructions) प्रदान करू शकतात किंवा लक्षित दुरुस्तीची वेळ (targeted repairs) निश्चित करू शकतात. यामुळे ग्राहकांची निराशा (frustration) कमी होते आणि ग्राहक सेवा कॉलचा वेळ (call times) कमी होतो.

## 2. ERP मध्ये IoT: ऑपरेशन्स आणि सप्लाय चेनचे ऑप्टिमायझेशन (IoT in ERP: Optimizing Operations and Supply Chain)

**अॅप्लिकेशन्स (Applications):**

**रिअल-टाइम इन्व्हेंटरी व्यवस्थापन आणि सप्लाय चेन ऑप्टिमायझेशन (Real-time Inventory Management & Supply Chain Optimization):**

**परिस्थिती:** एक उत्पादन संयंत्र (manufacturing plant) कच्च्या मालावर (raw materials) आणि तयार वस्तूवर (finished goods) RFID टॅग्स (RFID tags) वापरते आणि स्टोरेज बिनवर (storage bins) सेन्सर्स (sensors) बसवते. RFID रीडर्स कारखान्याच्या मजल्यावर आणि गोदामांमध्ये फिरणाऱ्या सामग्रीचा मागोवा घेतात. बिन सेन्सर्स रिअल-टाइम इन्व्हेंटरी पातळीची माहिती देतात. हा डेटा ERP च्या इन्व्हेंटरी आणि सप्लाय चेन मॉड्यूलमध्ये सतत फीड केला जातो.

**नाविन्य (Innovation):** जेव्हा इन्व्हेंटरीची पातळी एका विशिष्ट मर्यादितपेक्षा (threshold) खाली येते, तेव्हा ERP प्रणाली आपोआप खरेदी ऑर्डरला (purchase orders) चालना देऊ शकते, ज्यामुळे मॅन्युअल गणना (manual counts) आणि स्टॉकची कमतरता (stockouts) टाळता येते. कच्च्या मालापासून ते तयार उत्पादनापर्यंत सप्लाय चेनमधील प्रत्येक वस्तूचे स्थान (location) आणि स्थिती (status) यामध्ये रिअल-टाइम दृश्यमानता (real-time visibility) येते, ज्यामुळे पारदर्शकता (transparency) आणि रिकॉल क्षमता (recall capabilities) सुधारते. IoT डेटाला हवामान अंदाज (weather forecasts) आणि वाहतूक परिस्थितीशी (traffic conditions) जोडून, ERP वितरण मार्ग (delivery routes) ऑप्टिमायझ करू शकते आणि आगमनाच्या वेळेचा (arrival times) अधिक अचूक अंदाज लावू शकते.

## 2. अंदाजित देखभाल आणि मालमत्ता व्यवस्थापन (Predictive Maintenance & Asset Management):

**परिस्थिती:** एका औद्योगिक सुविधेत महत्त्वाच्या यंत्रसामग्रीला IoT सेन्सर्स लावले आहेत, जे कंप (vibration), तापमान (temperature) आणि ऊर्जा वापर (power consumption) यांचे निरीक्षण करतात.

**नाविन्य (Innovation):** ERP मधील AI (कृत्रिम बुद्धिमत्ता) सेन्सर डेटाचे विश्लेषण करते आणि यंत्र बिघडण्याची शक्यता दर्शवणारे सूक्ष्म विचलन (subtle deviations) ओळखते. ERP प्रणाली निश्चित वेळापत्रकांऐवजी (fixed schedules) यंत्राच्या प्रत्यक्ष स्थितीनुसार (actual machine condition) देखभालीची कामे आपोआप ठरवते, ज्यामुळे यंत्र बंद पडण्याचा वेळ (downtime) कमी होतो आणि देखभालीचा खर्च ऑप्टिमायझ होतो. बिघाडाचा अंदाज घेऊन, ERP गरजेनुसार आवश्यक सुटे भाग (spare parts) स्टॉकमध्ये असल्याची खात्री करू शकते, ज्यामुळे उत्पादनातील विलंब (production delays) टाळता येतो.

## 3. वर्धित गुणवत्ता नियंत्रण आणि उत्पादन प्रक्रिया निरीक्षण (Enhanced Quality Control & Manufacturing Process Monitoring):

**परिस्थिती:** एक अन्न प्रक्रिया संयंत्र (food processing plant) उत्पादनाच्या विविध टप्प्यांवर तापमान, आर्द्रता (humidity) आणि दाब (pressure) यांचे निरीक्षण करण्यासाठी IoT सेन्सर्स वापरते.

**नाविन्य (Innovation):** जर पॅरामीटर्स इष्टतम श्रेणीतून (optimal ranges) विचलित झाले, तर ERP प्रणाली ऑपरेटरना (operators) तात्काळ अलर्ट करू शकते, ज्यामुळे गुणवत्तेच्या समस्या (quality issues) किंवा वाया जाण्यापासून (waste) रोखण्यासाठी रिअल-टाइम समायोजन (real-time adjustments) करता येतात. उत्पादन बॅचशी जोडलेला सविस्तर सेन्सर डेटा गुणवत्तेतील दोषांच्या (quality defects) मूळ कारण विश्लेषणासाठी (root cause analysis) अमूल्य माहिती प्रदान करतो. पर्यावरणीय परिस्थितीची स्वयंचलित नोंद अन्न सुरक्षा नियमांचे (food safety regulations) पालन सुनिश्चित करते आणि ऑडिट प्रक्रिया (audit processes) सुलभ करू शकते

## 5.4 क्लाउड प्लॅटफॉर्म फायदे Benefits of Cloud Platforms : Amazon EC2 and S3, CloudStack, Inter cloud, Google App Engine, Open stack, Open Nebulla

क्लाउड प्लॅटफॉर्म अनेक फायदे देतात, ज्यामुळे व्यवसाय आणि व्यक्ती ॲप्लिकेशन्स आणि डेटा कसे तैनात करतात (deploy), व्यवस्थापित करतात (manage) आणि वाढवतात (scale) यामध्ये क्रांती घडवून आणली आहे.

### क्लाउड प्लॅटफॉर्मचे सामान्य फायदे (General Benefits of Cloud Platforms):

1. **स्केलेबिलिटी आणि लवचिकता (Scalability & Elasticity):** मागणीनुसार कंप्युट क्षमता त्वरित वाढवता किंवा कमी करता येते, ज्यामुळे ॲप्लिकेशन्स ट्रॅफिक वाढल्यास किंवा कमी वापर असतानाही कार्यक्षम राहतात.
2. **खर्च-प्रभावीता (Cost-Effectiveness):** केवळ वापरलेल्या संसाधनांसाठी पैसे द्यावे लागतात (pay-as-you-go), ज्यामुळे मोठी प्रारंभिक गुंतवणूक टाळता येते.
3. **लवचिकता आणि चपळता (Flexibility & Agility):** ॲप्लिकेशन्स जलद तैनात करता येतात आणि बाजारपेठेतील बदलांना त्वरित प्रतिसाद देता येतो.
4. **विश्वसनीयता आणि उच्च उपलब्धता (Reliability & High Availability):** डेटा सेंटरच्या जागतिक नेटवर्कमुळे उच्च अपटाइम आणि डेटाची सुरक्षितता सुनिश्चित होते.
5. **जागतिक पोहोच (Global Reach):** जगभरातील वापरकर्त्यांना कमी विलंबात (low latency) सेवा पुरवता येतात.
6. **सुरक्षितता (Security):** क्लाउड प्रदाते उच्च दर्जाच्या सुरक्षा उपाययोजना आणि अनुपालन (compliance) मानके राखतात

सार्वजनिक क्लाउड प्रदाते (इन्फ्रास्ट्रक्चर आणि प्लॅटफॉर्म सेवा) Public Cloud Providers (Infrastructure and Platform Services):

### 1. ॲमेझॉन EC2 (इलास्टिक कंप्युट क्लाउड) - IaaS

**स्केलेबिलिटी आणि लवचिकता (Scalability & Elasticity):** मागणीनुसार कंप्युट क्षमता त्वरित वाढवता किंवा कमी करता येते, ज्यामुळे ॲप्लिकेशन्स ट्रॅफिक वाढल्यास किंवा कमी वापर असतानाही हाताळू शकतात. तुम्ही फक्त वापरलेल्या संसाधनांसाठी पैसे देता.

- **लवचिकता आणि नियंत्रण (Flexibility & Control):** विविध प्रकारचे इन्स्टन्स प्रकार (CPU, मेमरी, स्टोरेज ऑप्टिमाइझ केलेले, GPU-सक्षम) आणि ऑपरेटिंग सिस्टिम्सची विस्तृत श्रेणी ऑफर करते, ज्यामुळे वापरकर्त्यांना त्यांच्या व्हर्च्युअल सर्व्हरवर बारीक नियंत्रण मिळते. वापरकर्त्यांना त्यांच्या इन्स्टन्सवर रुट ॲक्सेस मिळतो.
- **विश्वसनीयता आणि उच्च उपलब्धता (Reliability & High Availability):** AWS च्या जागतिक पायाभूत सुविधांवर अनेक अवेलेबिलिटी झोन्स (Availability Zones) आणि रीजन्ससह (Regions) तयार केलेले आहे, जे 99.99% उपलब्धतेची गॅरंटी (SLA) देते.
- **खर्च ऑप्टिमायझेशन (Cost Optimization):** विविध किंमत मॉडेल्स (ऑन-डिमांड, रिझर्व्हड इन्स्टन्स, स्पॉट इन्स्टन्स, सेव्हिंग्स प्लॅन्स) वापरकर्त्यांना वर्कलोडच्या अंदाजानुसार खर्च ऑप्टिमाइझ करण्याची परवानगी देतात.
- **सुरक्षितता (Security):** सुरक्षित कंप्युटसाठी AWS नायट्रो सिस्टिमचा (Nitro System) वापर करते, अंगभूत सुरक्षा वैशिष्ट्ये ऑफर करते आणि VPC, IAM आणि सुरक्षा गटांसारख्या इतर AWS सुरक्षा सेवांशी एकत्रित होते.
- **AWS इकोसिस्टमसह एकीकरण (Integration with AWS Ecosystem):** जटिल ॲप्लिकेशन्स तयार करण्यासाठी इतर अनेक AWS सेवांशी (डेटाबेस, स्टोरेज, नेटवर्किंग, ॲनालिटिक्स, मशीन लर्निंग) अखंडपणे एकत्रित होते.

### 2. ॲमेझॉन S3 (सिम्पल स्टोरेज सर्व्हिस) - ऑब्जेक्ट स्टोरेज

- **मोठ्या प्रमाणावर स्केलेबिलिटी आणि लवचिकता (Massive Scalability & Elasticity):** स्टोरेज क्षमता आगाऊ निश्चित न करता काही गिगाबाइट्सपासून ते एक्सबाईट्सपर्यंत (exabytes) कितीही डेटा साठवता येतो. डेटा वाढल्यावर ते आपोआप स्केले होते.

- **अत्यंत टिकाऊपणा आणि उपलब्धता** (Extreme Durability & Availability): 99.999999999% (11 नऊ) टिकाऊपणा आणि 99.99% उपलब्धतेसाठी डिझाइन केलेले आहे, ज्यामुळे त्याच्या वितरित आणि रिडंडंट आर्किटेक्चरमुळे डेटा क्वचितच गमावला जातो किंवा अनुपलब्ध असतो.
- **सुरक्षितता आणि डेटा संरक्षण** (Security & Data Protection): विश्राम करताना (at rest) आणि प्रवाहित करताना (in transit) एन्क्रिप्शन, बारीक-बारीक प्रवेश नियंत्रण (IAM, बकेट पॉलिसी), आकस्मिक हटवण्यापासून संरक्षणासाठी व्हर्जनिंग आणि अनुपालन प्रमाणपत्रे (PCI DSS, HIPAA) यासह मजबूत सुरक्षा वैशिष्ट्ये ऑफर करते.
- **खर्च-प्रभावीता** (Cost-Effectiveness): विविध ॲक्सेस पॅटर्न आणि खर्चासाठी ऑप्टिमाइझ केलेले विविध स्टोरेज क्लासेस (स्टॅंडर्ड, इंटेलिजेंट-टियरिंग, ग्लेशियर, ग्लेशियर डीप आर्काइव्ह) ऑफर करते, ज्यामुळे क्वचित ॲक्सेस केलेल्या किंवा आर्काइव्ह केलेल्या डेटासाठी लक्षणीय बचत होते.
- **कार्यप्रदर्शन** (Performance): उच्च थ्रूपुट (throughput) आणि कमी विलंब (low latency) प्रदान करते, ज्यामुळे डेटा लेक्स, वेब कंटेंट होस्टिंग आणि मीडिया स्टोरेजसह विविध प्रकारच्या वर्कलोडसाठी ते योग्य ठरते.
- **बहुपयोगी वापर प्रकरणे** (Versatile Use Cases): डेटा लेक्स, बॅकअप आणि रिस्टोर, आर्काइव्हिंग, कंटेंट वितरण, स्टॅटिक वेबसाइट होस्टिंग आणि बिग डेटा ॲनालिटिक्स व जनरेटिव्ह AI साठी पायाभूत सुविधा म्हणून आदर्श.

### 3. गुगल ॲप इंजिन (Google App Engine - GAE) - PaaS

- **पूर्णपणे व्यवस्थापित आणि सर्व्हरलेस** (Fully Managed & Serverless): विकासक केवळ कोड लिहिण्यावर लक्ष केंद्रित करतात; गुगल सर्व अंतर्निहित पायाभूत सुविधा, स्केलिंग आणि देखभाल व्यवस्थापित करते. यामुळे ऑपरेशन्स लक्षणीयरीत्या सुलभ होतात.
- **स्वयंचलित स्केलिंग** (Automatic Scaling): ट्रॅफिकला प्रतिसाद म्हणून ॲप्लिकेशन्स आपोआप स्केले होतात, ज्यामुळे मॅन्युअल हस्तक्षेपाशिवाय उच्च उपलब्धता आणि कार्यप्रदर्शन सुनिश्चित होते.
- **विकासक उत्पादकता** (Developer Productivity): लोकप्रिय प्रोग्रामिंग भाषांना (Python, Java, Node.js, Go, PHP, Ruby, C#) समर्थन देते आणि विकास गती देण्यासाठी अंगभूत सेवा (डेटास्टोर, टास्क क्युज, कॅशिंग, वापरकर्ता प्रमाणीकरण) आणि APIs चा समृद्ध संच ऑफर करते.
- **खर्च कार्यक्षमता** (Cost Efficiency): पे-ॲज-यू-गो मॉडेल, जिथे तुम्ही तुमच्या ॲप्लिकेशनने वापरलेल्या संसाधनांसाठीच पैसे देता, जे व्हेरिफाईड वर्कलोडसाठी अत्यंत खर्च-प्रभावी असू शकते.
- **अंगभूत सुरक्षा** (Built-in Security): गुगलच्या मजबूत सुरक्षा पायाभूत सुविधांचा लाभ घेते, ज्यात स्वयंचलित SSL/TLS एन्क्रिप्शन, वापरकर्ता प्रमाणीकरण आणि ॲप्लिकेशन फायरवॉल यांचा समावेश आहे.
- **जागतिक पायाभूत सुविधा** (Global Infrastructure): गुगलच्या जागतिक पायाभूत सुविधांवर ॲप्लिकेशन्स तैनात करते, ज्यामुळे जगभरातील वापरकर्त्यांना कमी विलंबात ॲक्सेस मिळतो.
- **ओपन-सोर्स क्लाउड प्लॅटफॉर्म** (खाजगी, हायब्रिड आणि कम्युनिटी-आधारित)

(Open-Source Cloud Platforms - Private, Hybrid, and Community-Driven)

### 4. क्लाउडस्टॅक (Apache CloudStack) - IaaS

- **ओपन सोर्स आणि विक्रेता तटस्थता** (Open Source & Vendor Neutrality): ओपन-सोर्स असल्याने, ते लवचिकता प्रदान करते, विक्रेता लॉक-इन टाळते आणि विविध हार्डवेअर व सॉफ्टवेअर घटकांसह सानुकूलित (customize) आणि एकत्रित (integrate) करण्याची क्षमता देते.
- **वापरण्यास सोपे आणि डिप्लॉयमेंट** (Ease of Use & Deployment): काही इतर ओपन-सोर्स क्लाउड प्लॅटफॉर्मच्या तुलनेत त्याच्या साधेपणासाठी आणि डिप्लॉयमेंटच्या सुलभतेसाठी ओळखले जाते, ज्यामुळे खाजगी किंवा सार्वजनिक क्लाउड स्थापित करणाऱ्या संस्थांसाठी ते सुलभ होते.
- **मल्टी-हायपरवाइजर समर्थन** (Multi-Hypervisor Support): हायपरवाइजरची विस्तृत श्रेणी (KVM, Citrix Hypervisor/XenServer, VMware vSphere) समर्थित करते, ज्यामुळे संस्थांना त्यांच्या सध्याच्या व्हर्च्युअलायझेशन गुंतवणुकीचा लाभ घेता येतो.

- **स्केलेबिलिटी आणि उच्च उपलब्धता (Scalability & High Availability):** भौगोलिकदृष्ट्या वितरित डेटा सेंटरमध्ये हजारो भौतिक सर्व्हर व्यवस्थापित करण्यास सक्षम, उच्च उपलब्धता कॉन्फिगरेशनला समर्थन देते.
- **मजबूत नेटवर्किंग (Robust Networking):** जटिल नेटवर्क टोपोलॉजी आणि नेटवर्क-अॅज-अ-सर्व्हिस (NaaS) पर्यायांसह प्रगत नेटवर्किंग क्षमता ऑफर करते.
- **खर्चात बचत (Cost Savings):** ओपन-सोर्स सॉफ्टवेअर आणि कमोडिटी हार्डवेअरचा वापर करून ऑपरेशनल खर्च कमी करते, जे मालकीच्या (proprietary) सोल्युशन्सना एक खर्च-प्रभावी पर्याय आहे.

#### 5.ओपनस्टॅक (OpenStack) - IaaS

- **ओपन सोर्स आणि विस्तृत कम्युनिटी (Open Source & Extensive Community):** मोठ्या आणि सक्रिय जागतिक कम्युनिटीचा लाभ मिळतो, ज्यामुळे सतत विकास, नवोपक्रम आणि व्यापक समर्थन सुनिश्चित होते.
- **उच्च लवचिकता आणि सानुकूलता (High Flexibility & Customization):** अत्यंत मॉड्यूलर (modular) आणि सानुकूलित करण्यायोग्य (customizable) आहे, ज्यामुळे संस्थांना त्यांच्या अचूक गरजांनुसार क्लाउड तयार करता येते, विविध घटकांना एकत्रित करून.
- **विक्रेता तटस्थता (Vendor Neutrality):** विक्रेता लॉक-इन टाळते, ज्यामुळे संस्थांना अनेक विक्रेत्यांकडून हार्डवेअर आणि सॉफ्टवेअर निवडता येते.
- **हायब्रिड आणि मल्टी-क्लाउड क्षमता (Hybrid and Multi-Cloud Capabilities):** खाजगी क्लाउड म्हणून तैनात केले जाऊ शकते आणि त्याचे APIs अनेक सार्वजनिक क्लाउड सेवांशी सुसंगत आहेत, ज्यामुळे हायब्रिड आणि मल्टी-क्लाउड धोरणे सुलभ होतात.
- **व्यापक सेवा (Comprehensive Services):** सार्वजनिक क्लाउड ऑफरिंग्सच्या तुलनेत पायाभूत सुविधा सेवांचा (कंप्युट, स्टोरेज, नेटवर्किंग, ओळख, ऑर्किस्ट्रेशन, इमेजेस, ब्लॉक स्टोरेज, ऑब्जेक्ट स्टोरेज) एक पूर्ण संच ऑफर करते.
- **स्वयंचलन (Automation):** क्लाउड संसाधनांच्या प्रोव्हिजनिंग, ऑर्किस्ट्रेशन आणि लाइफसायकल व्यवस्थापनासाठी शक्तिशाली स्वयंचलन साधने प्रदान करते.
- **स्केलेबिलिटी (Scalability):** मोठ्या प्रमाणात एंटरप्राइझ खाजगी क्लाउड आणि सार्वजनिक क्लाउड डिप्लॉयमेंट्सना समर्थन देण्यासाठी मोठ्या प्रमाणावर स्केल करण्यासाठी डिझाइन केलेले आहे.

#### 6.ओपननेब्युला (OpenNebula) - IaaS (खाजगी, हायब्रिड आणि एज क्लाउडसाठी ऑर्किस्ट्रेशन)

- **साधेपणा आणि हलके वजन (Simplicity & Lightweight):** ओपनस्टॅकचा एक सोपा पर्याय म्हणून सादर केले आहे, जे अधिक सुव्यवस्थित इन्स्टॉलेशन, व्यवस्थापन आणि देखभालीचा अनुभव देते.
- **हायब्रिड आणि मल्टी-क्लाउड व्यवस्थापन (Hybrid and Multi-Cloud Management):** खाजगी क्लाउड, सार्वजनिक क्लाउड (AWS, Azure, GCP) आणि एज कंप्युटिंग वातावरणातील संसाधने व्यवस्थापित करण्यासाठी एकच नियंत्रण पॅनेल (control panel) प्रदान करते.
- **विक्रेता तटस्थता आणि लवचिकता (Vendor Neutrality & Flexibility):** इन्फ्रास्ट्रक्चर-अज्ञेयवादी (infrastructure-agnostic), ज्यामुळे संस्थांना त्यांच्या पसंतीच्या हायपरवाइजर, स्टोरेज आणि नेटवर्किंग तंत्रज्ञानासह क्लाउड तयार करता येते.
- **खर्च-प्रभावी (Cost-Effective):** अनेक वापर प्रकरणांसाठी (use cases) ओपनस्टॅकसारख्या मोठ्या, अधिक जटिल मालकीच्या किंवा ओपन-सोर्स सोल्युशन्सच्या तुलनेत TCO (एकूण मालकी खर्च) लक्षणीयरीत्या कमी करते असे म्हटले जाते.
- **VMs आणि क्युबर्नेट्सचे एकीकृत व्यवस्थापन (Unified Management of VMs and Kubernetes):** क्वर्च्युअल मशीन्स (KVM, VMware, LXC) आणि क्युबर्नेट्स क्लस्टर्स दोन्ही एका सामान्य इंटरफेसवरून व्यवस्थापित करण्यास समर्थन देते.
- **एंटरप्राइझ-रेडी वैशिष्ट्ये (Enterprise-Ready Features):** मल्टी-टेनन्सी, सेल्फ-सर्व्हिस पोर्टल्स, क्वर्च्युअल डेटा सेंटर व्यवस्थापन आणि मजबूत सुरक्षा यांसारख्या वैशिष्ट्यांचा समावेश आहे.

- **एज कंप्युटिंग समर्थन (Edge Computing Support):** एज क्लाउड डिप्लॉयमेंट्स सक्षम करण्यावर मजबूत लक्ष केंद्रित करते, वितरित वातावरणासाठी कमी-विलंब सोल्यूशन्स प्रदान करते.

### 7. इंटर-क्लाउड संकल्पना आणि तंत्रज्ञान (Inter-Cloud Concepts and Technologies):

इंटरक्लाउड (संकल्पना/सक्षम तंत्रज्ञान जसे की मल्टी-क्लाउड व्यवस्थापन प्लॅटफॉर्म, क्लाउड ब्रोकर्स, हायब्रिड कनेक्टर)

- **विक्रेता लॉक-इन टाळा (Avoid Vendor Lock-in):** वर्कलोड्सना अनेक क्लाउड प्रदात्यांवर पसरवण्याची परवानगी देऊन, संस्था एकाच विक्रेत्याच्या सेवा किंवा किमतींवर लयाचे अवलंबित्व कमी करतात.
- **वर्धित ॲप्लिकेशन लवचिकता आणि उच्च उपलब्धता (Enhanced Application Resiliency & High Availability):** सिंगल-क्लाउड आउटेजपासून संरक्षण करण्यासाठी ॲप्लिकेशन्सना वेगवेगळ्या क्लाउड किंवा रीजन्समध्ये वितरित करा, उच्च अपटाइम आणि आपत्कालीन पुनर्प्राप्ती (disaster recovery) क्षमता सुनिश्चित करा.
- **इष्टतम संसाधन वापर आणि खर्च ऑप्टिमायझेशन (Optimal Resource Utilization & Cost Optimization):** वेगवेगळ्या क्लाउड प्रदात्यांकडून विशिष्ट वर्कलोडसाठी सर्वोत्तम किंमत किंवा कार्यप्रदर्शनचा लाभ घ्या, किंवा जास्त मागणी असताना सार्वजनिक क्लाउडवर वर्कलोड्स वाढवा (burst workloads).
- **डेटा रेसिडेन्सी आणि अनुपालन (Data Residency & Compliance):** डेटा सार्वभौमत्वासाठी (data sovereignty) विशिष्ट नियामक आवश्यकता पूर्ण करा, डेटा वेगवेगळ्या क्लाउड प्रदात्यांमध्ये सुसंगत रीजन्समध्ये ठेवून.
- **सुधारित कार्यप्रदर्शन (Improved Performance):** अनेक क्लाउड प्रदात्यांच्या जागतिक फुटप्रिंट्सचा (global footprints) वापर करून ॲप्लिकेशन्स आणि डेटा अंतिम वापरकर्त्यांच्या किंवा इतर गंभीर सेवांच्या जवळ ठेवा, ज्यामुळे विलंब कमी होतो.
- **वाढलेली लवचिकता आणि चपळता (Increased Flexibility & Agility):** सेवा, वैशिष्ट्ये आणि किंमत मॉडेल्समध्ये अधिक निवड मिळवा, ज्यामुळे संस्थांना बदलत्या व्यवसायाच्या गरजांशी जुळवून घेता येते.
- **वर्कलोड पोर्टेबिलिटी (Workload Portability):** विविध क्लाउड वातावरणादरम्यान ॲप्लिकेशन्स आणि डेटाचे स्थलांतर सुलभ करते, ज्यामुळे व्यवसायाची चपळता वाढते.

### References:

1. Cloud Computing, Principals and Paradigms by Rajkumar Buyya, James Broberg, Andrzej Goscinski A John Willy & Sons, Inc., Publication, ISBN: 978-0-470-88799-8
2. Cloud Computing by Sharma Rishabh Wiley Publication, ISBN: 978-81-265-5306-8
3. Mastering Cloud Computing by Christian Vecchiola, Rajkumar Buyya, and S.Thamarai Selvi, McGraw Hill Publication, ISBN 978-1-25-902995-0
4. Cloud Computing by Singh Shailendra, Oxford University Press, ISBN: 978-0199477388
5. Cloud Computing: A Hands-On Approach by Arshdeep Bahga, Vijay Madiseti, Self published, ISBN 1494435144, 9781494435141

### Websites:

1. <https://www.geeksforgeeks.org/>
2. <https://www.tutorialspoint.com/>
3. <https://techsparks.co.in/>

### E-learning material (Video lectures)

1. <https://www.youtube.com/watch?v=BXLc6tnO920>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=ZsEPmM5yf7g>