



Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα: Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Μάθημα: Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων

Διδάσκων: Αθανάσιος Π. Βαβάτσικος, Επίκουρος Καθηγητής

Επιλογή Καταλληλότερου Παρόχου Υπηρεσιών Υπολογιστικού Νέφους με Βάση τις Προτιμήσεις του Χρήστη μέσω ΑΗΡ



Περίληψη Εργασίας εξαμήνου των:

| | | | |
|-------|------------|------------|------------------------|
| 92275 | Ανδρέου | Βασίλειος | vasiandr13@pme.duth.gr |
| 92269 | Κακούλης | Δημήτριος | dimikako1@pme.duth.gr |
| 92249 | Τσουλαΐδης | Αναστάσιος | anastsou6@pme.duth.gr |

I. Πρόλογος

Σήμερα, ολοένα και περισσότερες επιχειρήσεις στρέφονται προς την αξιοποίηση των πόρων που παρέχει ο κυβερνοχώρος, τόσο για τη διευκόλυνση αποθήκευσης και ροής πληροφοριών εντός των υποδομών τους, όσο και για διάφορες επιχειρηματικές διαδικασίες με εξωτερικά ενδιαφερόμενα μέρη. Ωστόσο, για να πραγματοποιηθεί αυτή η ενέργεια, απαιτείται ένα κατάλληλο σύστημα (πλατφόρμα) το οποίο θα αποτελέσει μέσο επίτευξης του συγκεκριμένου στόχου. Έτσι, πολλές εταιρίες (πάροχοι) ξεκίνησαν να προσφέρουν τέτοιου είδους εργαλεία (όπως συστήματα Βάσεων Δεδομένων, επικοινωνίας και ασφάλειας) σε περιβάλλον Cloud.

Στόχος της παρούσας έρευνας αποτελεί η επιλογή του καταλληλότερου παρόχου υπηρεσιών Υπολογιστικού Νέφους βάσει προτιμήσεων του χρήστη. Για την εκπόνηση αυτής, θα πραγματοποιηθεί βιβλιογραφική μελέτη με στόχο τον εντοπισμό των αναγκαίων κριτηρίων στα οποία βασίζεται η εξής απόφαση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτών αποτελούν το κόστος, η αξιοπιστία, η απόδοση και η ασφάλεια. Για τον προσδιορισμό των βαρών των κριτηρίων θα χρησιμοποιηθεί η Μέθοδος Αναλυτικής Ιεραρχίας (AHP), ενώ για την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων η Μεθόδος Ιδεατού Σημείου (TOPSIS), καθώς θεωρήθηκαν οι καταλληλότερες μέθοδοι για το συγκεκριμένο πρόβλημα απόφασης.

II. Περιεχόμενα

| | |
|---|-----|
| I. Πρόλογος | i |
| II. Περιεχόμενα | ii |
| III. Κατάλογος Σχημάτων | iii |
| IV. Κατάλογος Πινάκων | iv |
| 1. Περίληψη | 1 |
| 2. Εισαγωγή | 2 |
| 3. Μέθοδος Αξιολόγησης | 3 |
| 4. Μοντέλο Απόφασης..... | 6 |
| 4.1 Ιεραρχία Κριτηρίων | 6 |
| 4.2 Αξιοπιστία..... | 6 |
| 4.2.1 Εμπιστοσύνη..... | 6 |
| 4.2.2 Υπόσχεση Υπηρεσιών | 7 |
| 4.2.3 Διαθεσιμότητα | 7 |
| 4.3 Απόδοση | 7 |
| 4.3.1 Χρόνος Απόκρισης Υπηρεσιών | 8 |
| 4.3.2 Διακίνηση | 8 |
| 4.3.3 Λειτουργικότητα..... | 8 |
| 4.4 Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα | 9 |
| 4.4.1 Ακεραιότητα Δεδομένων | 9 |
| 4.4.2 Απόρρητο και Απώλεια Δεδομένων | 9 |
| 4.4.3 Αρχιτεκτονική Ασφάλειας..... | 10 |
| 4.5 Οικονομική Απαίτηση..... | 10 |
| 4.5.1 Κόστος | 10 |
| 5. Εναλλακτικά Σενάρια | 12 |
| 5.1.1 1 ^ο εναλλακτικό σενάριο - Amazon Web Services (AWS) | 12 |
| 5.1.2 2 ^ο εναλλακτικό σενάριο - Google Cloud Platform (GCP)..... | 12 |
| 5.1.3 3 ^ο εναλλακτικό σενάριο - IBM Cloud (Kyndryl) | 13 |
| 5.1.4 4 ^ο εναλλακτικό σενάριο - Microsoft Azure | 13 |
| 5.1.5 5 ^ο εναλλακτικό σενάριο - Oracle Cloud | 14 |
| 6. Μελέτη Περίπτωσης | 15 |
| 6.1 Πίνακας Απόφασης..... | 15 |
| 6.2 Προσδιορισμός βαρυτήτων των κριτηρίων | 16 |
| 7. Αποτελέσματα..... | 19 |
| 8. Ανάλυση Ευαισθησίας..... | 20 |
| 9. Συμπεράσματα | 21 |
| 10. Βιβλιογραφικές Αναφορές..... | 22 |

III. Κατάλογος Σχημάτων

| | |
|---|----|
| Σχήμα 1: Απεικόνιση Μοντέλου Απόφασης | 11 |
|---|----|

IV. Κατάλογος Πινάκων

| | |
|--|----|
| Πίνακας 6.1: Πίνακας Απόφασης | 15 |
| Πίνακας 6.2: Γενικευμένη κλίμακα προτιμήσεων AHP | 16 |
| Πίνακας 6.3: Τοπικά και συνολικά βάρη κριτηρίων και υποκριτηρίων | 17 |
| Πίνακας 6.4: Τυχαίες τιμές βαθμού συνέπειας RI..... | 18 |

1. Περίληψη

Στις μέρες μας, είναι ευρέως γνωστό ότι οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις αντιμετωπίζουν ολοένα και περισσότερες προκλήσεις ψηφιοποίησης, γεγονός που τις εξαναγκάζει να στραφούν σε προηγμένες τεχνολογικές λύσεις βασισμένες σε νέφη προκειμένου να αξιοποιήσουν την τεχνητή νοημοσύνη (Kaymakci *et al.*, 2022). Λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων τα οποία παράγονται διαρκώς από τους χρήστες, απαιτείται από τις επιχειρήσεις να επιλέξουν τα καταλληλότερα εργαλεία και υπηρεσίες cloud τα οποία προσφέρονται από μία ευρεία ποικιλία παρόχων, προκειμένου να τα διαχειριστούν όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερα (Serhani *et al.*, 2017). Το Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing) έχει αλλάξει τον κόσμο του διαδικτύου δραματικά, προσφέροντας υπηρεσίες υποδομής και εφαρμογές με χρεώσεις ενοικίασης. Πιο συγκεκριμένα, το Cloud Computing είναι ένα υπολογιστικό πρότυπο μεγάλης κλίμακας, το οποίο προσφέρει υπολογιστικές υπηρεσίες στον κυβερνοχώρο. Με την ραγδαία ανάπτυξη του συγκεκριμένου τομέα, το Cloud Computing έχει γίνει ένας νέος τρόπος επιχειρηματικής δραστηριότητας (Kumar & Kumar, 2016). Η επιλογή της κατάλληλης υπηρεσίας νέφους για την εκάστοτε επιχείρηση, διαδραματίζει έναν εξαιρετικά κρίσιμο ρόλο αναφορικά με την επιλογή συνδρομητικών υπηρεσιών (Kumar *et al.*, 2017; Kumar & Kumar, 2016). Επιπλέον, η συνεχής αύξηση του αριθμού υπηρεσιών νέφους καθιστά την επιλογή παρόχου ένα απαιτητικό ζήτημα για τους χρήστες. Είναι τόσο σημαντικό όσο και δύσκολο να προσδιοριστεί η κατάλληλη υπηρεσία που μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις των χρηστών, καθώς με τον ταχέως αυξανόμενο αριθμό εργαλείων υπολογιστικού νέφους που αναπτύσσονται ως υπηρεσίες, όλο και περισσότερες λύσεις είναι διαθέσιμες προς επιλογή για την κάλυψη των εξατομικευμένων απαιτήσεων των καταναλωτών (Ma *et al.*, 2022; Mostafa, 2021). Συνεπώς, λόγω αυτής της σημαντικής και αδιάκοπης ανάπτυξης της cloud computing τεχνολογίας, η επιλογή της επιθυμητής υπηρεσίας υπολογιστικού νέφους από μία ευρεία διαθεσιμότητα παρόχων με παρόμοιες λειτουργίες καθίσταται σημαντική, ώστε να ανταποκρίνονται αποτελεσματικότερα οι εξατομικευμένες επιθυμίες και στόχοι των χρηστών (Sun *et al.*, 2013; Kumar & Kumar, 2016; Kumar *et al.*, 2017; Malhotra *et al.*, 2021). Συνεπώς, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η επιλογή του κατάλληλου Cloud Service προμηθευτή αποτελεί μια προκλητική απόφαση καθώς και ένα σημαντικό ερευνητικό ζήτημα για πολλούς οργανισμούς, αφού συντελεί στην μεγιστοποίηση της ικανοποίησης του χρήστη, ενώ παράλληλα, και των συνολικών κερδών της επιχείρησης (Sun *et al.*, 2013; Sun *et al.*, 2014; Mostafa, 2021). Η παρούσα έρευνα αποσκοπεί στην επιλογή της καταλληλότερης υπηρεσίας Υπολογιστικού Νέφους με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη μέσω της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (AHP), η οποία είναι ένα πολυκριτηριακό σύστημα στήριξης αποφάσεων, μεταξύ διαφορετικών εναλλακτικών επιλογών, ωθώντας το βάρος των κριτηρίων και χρησιμοποιώντας συγκρίσεις σε ζεύγη (Kumar *et al.*, 2017; Malhotra *et al.*, 2021). Τέλος, μέσω της μεθόδου TOPSIS ταξινομούνται τελικά οι εναλλακτικές, συντελώντας έτσι στην τελική επιλογή του καταλληλότερου παρόχου.

Λέξεις Κλειδιά: Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων, AHP, Big Data, Cloud Computing, Cloud Services, Multicriterial Analysis, Provider, QoS, TOPSIS, User.

2. Εισαγωγή

Το Cloud Computing είναι ένα υπολογιστικό μοντέλο, το οποίο προσφέρει κατ' απαίτηση πρόσβαση σε μία ομάδα διαδικτυακών πόρων που μπορούν να χορηγηθούν με μεγάλη ευελιξία και ταχύτητα, δίχως την απαίτηση αλληλεπίδρασης με τους παρόχους. Αυτοί οι πόροι σχετίζονται συνήθως με δίκτυα υπολογιστών, αποθήκευση δεδομένων, παροχή διάφορων web υπηρεσιών καθώς και εφαρμογές λογισμικού, δίνοντας έτσι την δυνατότητα στους χρήστες να αξιοποιήσουν απεριόριστα τις παραπάνω υπηρεσίες καθώς και τις μεθόδους που προσφέρουν τα εργαλεία cloud computing (Srivastava & Khan, 2018; Yadav & Goraya, 2018). Οι εταιρείες σήμερα, λόγω της αυξημένης πολυπλοκότητας και της απαίτησης υψηλού επιπέδου γνώσεων, αντί να δημιουργήσουν τη δική τους υποδομή, προτιμούν να αναθέσουν την υλοποίηση αυτής σε έναν εξωτερικό συνεργάτη, ώστε με μειωμένα έξοδα να αποκτήσουν τη κατάλληλη και ολοκληρωμένη υπηρεσία cloud που απαιτείται για να καλυφθούν οι ανάγκες της εκάστοτε επιχείρησης (Srivastava & Khan, 2018). Είναι φανερό πως τη τελευταία δεκαετία το Cloud Computing αποτελεί κορυφαία επιλογή αντικατάστασης των εσωτερικών υποδομών πληροφορικής των επιχειρήσεων, αφού έχει μεταβάλει ριζικά τις μεθόδους προμήθειας υπολογιστικών πόρων (Youssef, 2020). Εξαιτίας των διακριτών πλεονεκτημάτων που προσφέρουν οι υπηρεσίες Cloud Computing αλλά και για άλλους λόγους όπως αυτών των επενδύσεων και οικονομιών κλίμακας, οι τεχνολογίες Cloud εξελίσσονται δραματικά. Ένα σημαντικό αποτέλεσμα που επιφέρει αυτή η εξέλιξη είναι ο διαρκώς αυξανόμενος αριθμός προσφερόμενων υπηρεσιών και εργαλείων από τους παρόχους. Μεγάλες εταιρίες με ισχύ στον τομέα της πληροφορικής όπως η Microsoft, η Google και η Amazon ανταγωνίζονται ολοένα και περισσότερο για την προσφορά οικονομικών, αξιόπιστων αλλά και αποδοτικών μοντέλων σε περιβάλλον Cloud που θα πληρούν τις απαιτήσεις των πελατών τους. Επακόλουθο αυτού είναι ότι όλες οι εταιρείες πληροφορικής προχωρούν στην ανάπτυξη τεχνολογιών cloud computing και στην επίσπευση βελτίωσης της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών τους (Quality Of Service - QoS) (Youssef, 2020; Mostafa, 2021). Σε αυτό το σημείο, τα γνωρίσματα QoS είναι ουσιαστικό κριτήριο τόσο για την κατάταξη, όσο και για την τελική επιλογή υπηρεσιών cloud από το σύνολο υπηρεσιών που προσφέρουν οι πάροχοι, καθώς τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά QoS αποτελούν τα σημαντικότερα στοιχεία σύγκρισης των διαθέσιμων συστημάτων Cloud Computing από τους πελάτες (Kumar *et al.*, 2017). Συμπερασματικά, αποτέλεσμα των προαναφερθέντων είναι ότι παρέχεται ένας αριθμός πανομοιότυπων υπηρεσιών προς τις επιχειρήσεις, με διαφορετικές ιδιότητες, γεγονός που σημαίνει ότι η επιλογή υπηρεσίας Cloud Computing αποτελεί ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα λήψης απόφασης (Malhotra *et al.*, 2021).

3. Μέθοδος Αξιολόγησης

Μία από τις πιο διαδεδομένα χρησιμοποιούμενες μεθόδους λήψης αποφάσεων σε προβλήματα πολυκριτηριακής φύσεως αποτελεί η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία, γνωστή στην ευρύτερη βιβλιογραφία με το ακρωνύμιο AHP (Kumar & Kumar, 2016). Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τον Saaty και διαθέτει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογής σε διάφορα επιστημονικά πεδία (Al-Harbi, 2001; Cimino *et al.*, 2023). Πέραν του πρωταρχικού στόχου της να αναλύει πολυκριτηριακά προβλήματα, αρκετές φορές συνδυαζόμενη με άλλα στοχαστικά μοντέλα αποσκοπεί στην αποτίμηση του ρίσκου καθώς και στην σύνθεση και αξιολόγηση παραγόντων υπό αβέβαιες συνθήκες (Al-Harbi, 2001; Sun, 2010; Chen & Chang, 2023; Cimino *et al.*, 2023). Αναλυτικότερα, στοχεύει στον ποσοτικό προσδιορισμό των σχετικών προτιμήσεων για ένα δεδομένο σύνολο εναλλακτικών σε μια κλίμακα αναλογίας, με βάση την κρίση του αποφασίζοντα, και τονίζει τη σημασία των διαισθητικών κρίσεων ενός λήπτη αποφάσεων καθώς και τη συνέπεια της σύγκρισης εναλλακτικών στη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Al-Harbi, 2001). Τα βήματα υλοποίησης της AHP, ακολουθούν μια αυστηρή σειρά διαδοχικών φάσεων με την ολοκλήρωση της μιας φάσης να αποτελεί προϋπόθεση για την έναρξη της επόμενης. Το μοντέλο που ακολουθείται το οποίο καλύπτει την ευρύτερη βιβλιογραφία ακολουθεί την εξής δομή (Chen & Chang, 2023):

- Φάση 1: Μοντελοποίηση του προβλήματος ως Ιεραρχία. Η παρούσα φάση επιτυγχάνεται ορίζοντας τον στόχο που πρέπει να επιτευχθεί, τις εναλλακτικές λύσεις για την επίτευξη αυτού, καθώς και τα κριτήρια για την σύγκριση των διαφόρων εναλλακτικών. Σημαντικό είναι να αναφερθεί το γεγονός ότι ο στόχος, τα κριτήρια και οι εναλλακτικές αποτελούν κόμβους της δομής της ιεραρχίας.
- Φάση 2: Αξιολόγηση της Ιεραρχίας. Αφού πρωτίστως έχει οριστεί η ιεραρχία, ακολουθεί η αξιολόγηση αυτής μέσω μιας σειράς συγκρίσεων ανά ζεύγη. Ειδικότερα, τα κριτήρια συγκρίνονται μεταξύ τους ως προς την βαρύτητα αυτών έναντι του τελικού στόχου και οι εναλλακτικές συγκρίνονται αναμεταξύ τους σε σχέση με τις προτεινόμενες εναλλακτικές. Η ολοκλήρωση αυτής της φάσεων επιτυγχάνεται με την ανάθεση βάρους σε κάθε κόμβο σύγκρισης, τόσο για τα κριτήρια, όσο και για τις εναλλακτικές.
- Φάση 3: Καθορισμός προτεραιοτήτων. Η φάση αυτή αφορά τον καθορισμό των προτεραιοτήτων για τις εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με κάθε κριτήριο καθώς και αυτόν των κριτηρίων σε σχέση με τον στόχο. Έτσι, τα βάρη που εκχωρήθηκαν στο προηγούμενη φάση διαμορφώνουν έναν πίνακα από όπου η AHP εξάγει προτεραιότητες για τις εναλλακτικές και τα κριτήρια. Από μαθηματικής απόψεως, προτεραιότητες αποτελούν οι τιμές του κύριου δεξιού ιδιοδιανύσματος κάθε πίνακα.
- Φάση 4: Σύνθεση τελικών προτεραιοτήτων: Εφόσον κάθε σχέση προτεραιοτήτων μεταξύ κριτηρίων, στόχου και εναλλακτικών είναι σαφή, οι τελικές προτεραιότητες σε σχέση με τον στόχο μπορούν να υπολογιστούν. Έτσι, μπορεί να προσδιοριστεί η τελική κατάταξη των εναλλακτικών και να προταθεί ιεράρχηση.

Ως εκ τούτου, συνάγεται το συμπέρασμα ότι η Αναλυτική Μέθοδος Ιεράρχησης (ΑΗΡ) συστηματοποιεί πολύπλοκα προβλήματα, αποσυνθέτοντας τα σε διάφορα επίπεδα και αξιολογώντας τα μέσω ποσοτικών μεθόδων, υποβοηθώντας έτσι τους λήπτες απόφασης στην επιλογή της σωστής εναλλακτικής (Sun, 2010; Chen & Chang, 2023). Έτσι και στο παρόν άρθρο, η ΑΗΡ θα αποτελέσει τη μέθοδο λήψης απόφασης σχετικά με την επιλογή του καταλληλότερου παρόχου υπολογιστικού νέφους (Kumar *et al.*, 2017).

Επιπλέον, στην αντιμετώπιση προβλημάτων απόφασης πολυκριτήριας φύσης, όπως της περιπτώσεως που αντιμετωπίζουμε στη συγκεκριμένη περίπτωση, γίνεται και χρήση άλλων μεθόδων τόσο για λόγους επιπρόσθετης έρευνας και εμβάθυνσης στο πρόβλημα, όσο και για λόγους σύγκρισης αποτελεσμάτων με την πρωταρχική μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε. Μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος εξ αυτών είναι η TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), όπου αποτελεί μέθοδο Ιδεατού Σημείου (Lo *et al.*, 2010). Η TOPSIS αναπτύχθηκε το 1981 από τους Hwang και Yoon όπου και αξιοποίησαν την εφαρμογή της για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων αποφάσεων (Lokare & Jadhav, 2016; Liu *et al.*, 2018). Στη συγκεκριμένη μέθοδο θεωρούνται δύο (2) τεχνητές εναλλακτικές μεταβλητές εκ των οποίων η μία ορίζεται ως ιδανική λύση, ενώ η άλλη ως αρνητική ιδανική λύση. Η TOPSIS βασίζεται στη θεμελιώδη προϋπόθεση ότι η προτιμώμενη εναλλακτική του εκάστοτε προβλήματος θα πρέπει ταυτόχρονα να έχει την μικρότερη δυνατή απόσταση από την θετική ιδανική λύση και την μεγαλύτερη δυνατή απόσταση από την αρνητική ιδανική λύση. Βάσει των αποστάσεων από τις ιδανικές λύσεις, υπολογίζεται ένας συνολικός δείκτης, ο οποίος χρησιμοποιείται για την κατάταξη των εναλλακτικών (Lokare & Jadhav, 2016; Chakraborty, 2022).

Ο κλασικός αλγόριθμος της TOPSIS με τη χρήση των κατάλληλων μαθηματικών σχέσεων, υπολογισμών και μοντέλων είναι ο εξής (Zulqarnain *et al.*, 2020):

- Φάση 1: Δημιουργία του Πίνακα Απόφασης. Στην παρούσα φάση δημιουργείται ένας πίνακας, όπου στοιχεία του αποτελούν τα κριτήρια και οι εναλλακτικές του προβλήματος.
- Φάση 2: Υπολογισμός Κανονικοποιημένου Πίνακα Απόφασης. Μέσω αυτής της φάσεως και της μεθόδου που επιλέγεται από τον προγραμματιστή υπολογίζεται και αναπαρίσταται η εκτιμώμενη απόδοση των εναλλακτικών.
- Φάση 3: Προσδιορισμός του Σταθμισμένου Πίνακα Απόφασης. Κάθε στοιχείο, κάθε στήλης του Κανονικοποιημένου Πίνακα Απόφασης πολλαπλασιάζεται με το βάρος του εκάστοτε κριτηρίου στο οποίο ανήκει.
- Φάση 4: Ταυτοποίηση της Ιδεατής και Αντι-Ιδεατής Λύσης. Ακολουθεί η ταυτοποίηση της ιδεατής και αντι-ιδεατής λύσης οι οποίες ορίζονται βάσει των αποτελεσμάτων του Σταθμισμένου Πίνακα Απόφασης.
- Φάση 5: Υπολογισμός αποστάσεων κάθε εναλλακτικής από την Ιδεατή και την Αντι-Ιδεατή λύση.
- Φάση 6: Υπολογισμός Σχετικής Εγγύτητας στην Ιδανική Λύση.
- Φάση 7: Κατάταξη Προτίμησης Παραγγελίας. Η κατάταξη γίνεται βάσει τιμής της Σχετικής Εγγύτητας. Όσο μεγαλύτερη η τιμή, τόσο υψηλότερη η κατάταξη και συνεπώς καλύτερη η απόδοση της εναλλακτικής.

Συνεπώς, στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιείται ένα μοντέλο βασισμένο στις μεθόδους AHP και TOPSIS με σκοπό την ιεράρχηση και κατ' επέκταση επιλογή του καταλληλότερου παρόχου υπηρεσιών υπολογιστικού νέφους. Από την μία πλευρά, η AHP χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των βαρών των κριτηρίων, ενώ μέσω της μεθόδου TOPSIS ιεραρχούνται οι εναλλακτικές παρόχων. Με τη χρήση αυτής της συνδυασμένης τεχνικής μπορεί να προγραμματιστεί με κατάλληλο τρόπο η προτεινόμενη μεθοδολογία σε υπολογιστικό φύλλο, αντιπροσωπεύοντας παράλληλα την λογική βασισμένη στις ανθρώπινες επιλογές (Kumar *et al.*, 2017).

4. Μοντέλο Απόφασης

4.1 Ιεραρχία Κριτηρίων

Όπως πολλάκις έχει αναφερθεί, τελικό στόχο της παρούσας έρευνας αποτελεί η επιλογή του καταλληλότερου προμηθευτή υπηρεσιών υπολογιστικού νέφους. Δεδομένου των υψηλών απαιτήσεων χαρακτηριστικών QoS από πλευράς χρήστη, οι ερευνητές του κλάδου έχουν προβεί στην διαμόρφωση διαφόρων ποιοτικών μοντέλων με σκοπό την αξιολόγηση αυτών. Αναφορικά με την αξιολόγηση της ποιότητας των προϊόντων λογισμικού, το Διεθνές Πρότυπο ISO/IEC 9126 προτείνει μια ιεραρχημένη δομή, η οποία αποτελείται από συνολικά έξι (6) κριτήρια ποιότητας τα οποία αναλύονται σε εικοσιτέσσερα (24) υποκριτήρια (Ma *et al.*, 2022). Αποδεικνύεται μέσω βιβλιογραφίας ότι οι κύριες απαιτήσεις που επηρεάζουν τις προτιμήσεις του καταναλωτή για την επιθυμητή υπηρεσία cloud αφορούν το κόστος, την παρεχόμενη αξιοπιστία, την διαθεσιμότητα και άλλες πολλές παραμέτρους. Το προτεινόμενο μοντέλο ιεράρχησης που αναπτύχθηκε στην συγκεκριμένη έρευνα απαρτίζεται από τα κριτήρια εκείνα τα οποία εμφανίζονται συχνότερα στην βιβλιογραφία ως βασικότεροι παράμετροι προτίμησης. Πιο συγκεκριμένα, προέκυψαν τέσσερις (4) παράμετροι, οι οποίοι ορίζονται και ως κριτήρια για το συγκεκριμένο πρόβλημα απόφασης. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1, στο πρώτο επίπεδο παρουσιάζονται τα θεμελιώδη κριτήρια, τα οποία αφορούν την αξιοπιστία της υπηρεσίας (Reliability), την απόδοση (Performance), τη διασφάλιση της ασφάλειας και ιδιωτικότητας (Security & Privacy), και την οικονομική απαίτηση (Financial). Έπειτα, στο δεύτερο επίπεδο παρουσιάζονται τα υποκριτήρια τους, ενώ στο τρίτο τα υποκριτήρια των υποκριτηρίων αυτών. Τέλος, αναπαρίστανται οι πιθανές εναλλακτικές, οι οποίες στην συγκεκριμένη περίπτωση αφορούν τους προτεινόμενους παρόχους.

4.2 Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία αποτελεί μία αρκετά σημαντική πτυχή της ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Ορίζεται ως η ικανότητα ενός συστήματος να εκτελεί τις λειτουργίες που απαιτούνται υπό τις κατάλληλες προϋποθέσεις για καθορισμένο χρονικό διάστημα. Με τη ταυτόχρονη λειτουργία πολλών Εικονικών Μηχανών (Virtual Machines) στα κέντρα δεδομένων Cloud, καθίσταται δύσκολη η διασφάλιση ικανοποιητικής απόδοσης τους. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό, όπως υπερχειλίση (υπέρβαση ορίων προσωρινής μνήμης), λήξη χρονικών ορίων, απουσία στοιχείων δεδομένων, ανεπάρκεια προγραμματισμού, σφάλματα στη βάση δεδομένων, προβλήματα στο hardware και αποτυχία δικτύου. Έτσι, η αξιοπιστία είναι απαραίτητη για την ομαλή λειτουργία των υπηρεσιών νέφους, και αποτελεί εμπόδιο εκπλήρωσης δεσμεύσεων από τους παρόχους λόγω των παραπάνω δυσκολιών (Rajini *et al.*, 2020, Zhou *et al.*, 2016).

4.2.1 Εμπιστοσύνη

Με τον όρο εμπιστοσύνη εννοείται ο βαθμός στον οποίο μπορούν οι χρήστες να εμπιστευτούν τις υπηρεσίες τις οποίες υπόσχεται ο πάροχος Cloud όσον αφορά την απόδοση, την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα. Ένας σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στην εμπιστοσύνη είναι η ταυτότητα του παρόχου, δηλαδή το όνομα

της εταιρίας και η ισχύς της στην αγορά, και άλλοι παράγοντες όπως η φήμη και η διαφάνεια (Youssef, 2020; Malhotra *et al.*, 2021; Mostafa, 2021; Kaymakci *et al.*, 2022).

4.2.1.1 Φήμη

Η φήμη των παρόχων και των υπηρεσιών που αυτοί προσφέρουν προσδιορίζεται σύμφωνα με τον αριθμό χρηστών τους, τις θετικές ανατροφοδοτήσεις και σχόλια, καθώς και τις προτιμήσεις των καταναλωτών σε συναφείς κλάδους (Malhotra *et al.*, 2021; Mostafa, 2021; Kaymakci *et al.*, 2022).

4.2.1.2 Διαφάνεια

Η διαφάνεια αποτελεί μια σημαντική πτυχή των υπηρεσιών υπολογιστικού νέφους καθώς ενισχύει ιδιαιτέρως την χρηστικότητα και την ευελιξία αυτών καθώς και αποτελεί σημαντικό κριτήριο σχετικά με την εμπλοκή του cloud computing (Kumar *et al.*, 2017; Kaymakci *et al.*, 2022).

4.2.2 Υπόσχεση Υπηρεσιών

Η Υπόσχεση Υπηρεσιών αναφέρεται στις προσδοκίες του πελάτη από τον εκάστοτε πάροχο. Συνήθως οι υποσχέσεις αποτελούν τα χαρακτηριστικά και τις λεπτομέρειες των υπηρεσιών που μπορούν να προσφερθούν, δηλαδή οι προδιαγραφές και οι δυνατότητες. Οι προσδοκίες των καταναλωτών διαμορφώνονται ανάλογα με την αλληλεπίδραση τους με την επιχείρηση που προσφέρει τις επιθυμητές υπηρεσίες, καθώς και με την εμπειρία από την χρήση των εργαλείων Cloud, η οποία διαμορφώνει νέες απαιτήσεις (Kaymakci *et al.*, 2022).

4.2.3 Διαθεσιμότητα

Η παράμετρος της διαθεσιμότητας καθορίζει τον χρόνο που μια υπηρεσία cloud είναι διαθέσιμη μέσω δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, ορίζει την ικανότητα των προμηθευτών υπηρεσιών υπολογιστικού νέφους να κάνουν τα εργαλεία και τις υπηρεσίες που προσφέρουν διαθέσιμα ανά πάσα στιγμή, σε οποιονδήποτε χώρο, μέσω οποιασδήποτε συσκευής με σύνδεση στο διαδίκτυο στους καταναλωτές (Kumar & Kumar, 2016; Kumar *et al.*, 2017; Kaymakci *et al.*, 2022; Ma *et al.*, 2022).

4.3 Απόδοση

Οι απαιτήσεις QoS ορίζουν την απόδοση όσον αφορά την υπολογιστική υπηρεσία ως τον μέσο όρο απόκρισης. Σε γενικές γραμμές, ο υπολογισμός μέσου χρόνου απόκρισης είναι σχετικά εύκολος. Ωστόσο, οι απαιτήσεις των πελατών δεν εστιάζουν σε αυτό το γεγονός, αλλά στην επιδίωξη καθορισμού ενός αποδεκτού στατιστικού ορίου το οποίο αφορά τον επιθυμητό χρόνο απόκρισης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να οδηγούνται οι εταιρίες Cloud στην ολοένα και περισσότερη προσπάθεια μείωσης της απαιτούμενης ώρας για την εκτέλεση των υπηρεσιών τους (Xiong & Perros, 2009). Η συγκεκριμένη προσπάθεια συναντά έναν αξιοσημείωτο αριθμό εμποδίων, αφού η απόδοση επηρεάζεται από αναρίθμητους παράγοντες,

όπως την ισχύ του επεξεργαστή, την ανάκτηση δεδομένων, τον αριθμό των χρηστών, το εύρος ζώνης δικτύου, την τοποθεσία, τον φόρτο εργασίας, την χωρητικότητα αποθήκευσης, την επαναληψιμότητα, την διαθεσιμότητα, την ανοχή σε σφάλματα και πολλά άλλα (Khanghahi & Ravanmehr, 2013). Έτσι, η απόδοση καθίσταται ως ένα αρκετά σημαντικό κριτήριο για την επιλογή της καταλληλότερης cloud υπηρεσίας.

4.3.1 Χρόνος Απόκρισης Υπηρεσιών

Ο χρόνος απόκρισης αναφέρεται στον συνολικό χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός αιτήματος του αποστολέα. Αναλυτικότερα, αναδεικνύει το κατά πόσο γρήγορα μπορεί μια υπηρεσία cloud να γίνει διαθέσιμη για σκοπούς χρήσης και ορίζεται ως ο απαιτούμενος χρόνος από την αποστολή ενός μηνύματος αιτήματος έως και την λήψη του μηνύματος απάντησης (Sun *et al.*, 2013; Sun *et al.*, 2014; Kumar & Kumar, 2016; Kumar *et al.*, 2017; Serhani *et al.*, 2017; Yadav & Goraya, 2018; Malhotra *et al.*, 2021; Mostafa, 2021; Ma *et al.*, 2022).

4.3.2 Διακίνηση

Η διακίνηση ουσιαστικά είναι το βασικό μέτρο του κατά πόσο γρήγορα μια δεδομένη εφαρμογή μπορεί να μεταφέρει δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, υποδεικνύει το ποσό των συνολικών εργασιών που ολοκληρώθηκαν από την υπηρεσία cloud σε μια δεδομένη στιγμή όπως για παράδειγμα Megabyte ανά δευτερόλεπτο. Η διακίνηση εξαρτάται από διαφορετικούς παράγοντες, όπως ο αριθμός εργασιών και μηχανών, η καθυστέρηση επικοινωνίας μεταξύ εργασιών και η καθυστέρηση έναρξης υπηρεσίας, όπου μερικές φορές μπορεί να επηρεάσουν την συνολική απόδοση μιας εργασίας (Sun *et al.*, 2013; Sun *et al.*, 2014; Kumar & Kumar, 2016; Kumar *et al.*, 2017; Malhotra *et al.*, 2021; Ma *et al.*, 2022).

4.3.3 Λειτουργικότητα

Η λειτουργικότητα σχετίζεται με τον βαθμό στον οποίο ο αριθμός των προσφερόμενων υπηρεσιών καλύπτει το εύρος των απαραίτητων λειτουργιών που απαιτούνται από τον χρήστη (Yadav & Goraya, 2018; Al-Sayed *et al.*, 2020; Youssef, 2020; Malhotra *et al.*, 2021; Mostafa, 2021; Kaymakci *et al.*, 2022).

4.3.3.1 Λειτουργικότητα Υπηρεσίας

Η λειτουργικότητα υπηρεσίας αφορά τον βαθμό στον οποίο η κάθε προσφερόμενη υπηρεσία μεμονωμένα καλύπτει το εύρος των απαραίτητων λειτουργιών που απαιτούνται από τον χρήστη (Yadav & Goraya, 2018; Youssef, 2020; Malhotra *et al.*, 2021; Mostafa, 2021; Kaymakci *et al.*, 2022).

4.3.3.2 Χρησιμότητα

Η χρησιμότητα καθορίζει τον βαθμό ευκολίας χρήσης των εκάστοτε υπηρεσιών cloud καθώς και αντιπροσωπεύει τον βαθμό ευκολίας ανάπτυξης εφαρμογής και χρήσης των υπηρεσιών και εργαλείων που υποστηρίζονται από τους αντίστοιχους

παρόχους (Kumar & Kumar, 2016; Kumar *et al.*, 2017; Malhotra *et al.*, 2021; Mostafa, 2021; Kaymakci *et al.*, 2022).

4.3.3.3 Δυνατότητα Προσαρμογής

Η δυνατότητα προσαρμογής αναφέρεται στο κατά πόσο ευέλικτο είναι το όλο σύστημα. Επομένως, παρουσιάζει την δυνατότητα η οποία παρέχεται στον χρήστη να παρέμβει στο όλο σύστημα και να το παραμετροποιήσει με σκοπό να ικανοποιήσει τις δικές του ανάγκες (Kaymakci *et al.*, 2022).

4.4 Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα

Η ασφάλεια αποτελεί ένα ουσιαστικό χαρακτηριστικό, σε ο,τι αφορά την αποθήκευση των κρίσιμων δεδομένων της εταιρείας στο cloud (Kumar *et al.*, 2017). Ο όρος ασφάλεια σχετίζεται με ποικίλες έννοιες, όπως την ακεραιότητα δεδομένων, την εμπιστευτικότητα και την αποτροπή της διαθεσιμότητας των δεδομένων σε μη-εξουσιοδοτημένους φορείς (Sun *et al.*, 2014). Έχει παρατηρηθεί το γεγονός ότι σε περιβάλλοντα cloud, οι πόροι που ανήκουν στους παρόχους είναι ετερογενείς, κατανεμημένοι σε διάφορα μηχανήματα και συσκευές αποθήκευσης και είναι πλήρως ψηφιοποιημένοι. Επιπλέον, οι πληροφορίες οι οποίες είναι αποθηκευμένες ενέχουν υψηλά επίπεδα πολυπλοκότητας. Συνέπεια αυτών, είναι ότι προκύπτουν μεγάλες ανησυχίες και εμπόδια σχετικά με παράγοντες που δρουν στις διαδικασίες ασφάλειας όπως η έλλειψη ελέγχου, η εξωτερική αποθήκευση και οι εξαρτήσεις δεδομένων από άλλα δίκτυα. Επιπλέον, η ιδιωτικότητα, δηλαδή το απόρρητο των δεδομένων, συνδέεται άρρηκτα με την έννοια της ασφάλειας (Hashizume *et al.*, 2013; Sun *et al.*, 2014).

4.4.1 Ακεραιότητα Δεδομένων

Η ακεραιότητα των δεδομένων αφορά την συνολική ακρίβεια, πληρότητα και συνέπεια των δεδομένων, καθώς αναφέρεται ταυτοχρόνως στην ασφάλεια αυτών δεδομένων όσον αφορά τη συμμόρφωση τους με τους διάφορους κανονισμούς — όπως η συμμόρφωση με τον GDPR — και την ασφάλεια. Διατηρείται από μια συλλογή διαδικασιών, κανόνων και προτύπων που εφαρμόζονται κατά τη φάση του σχεδιασμού (Youssef, 2020; Mostafa, 2021; Talend, 2022).

4.4.2 Απόρρητο και Απώλεια Δεδομένων

Το απόρρητο και η ασφάλεια των δεδομένων είναι ένα άλλο σημαντικό ζήτημα που μπορεί να προκύψει από τη χρήση μεγάλων δεδομένων. Ένα ευαίσθητο σύστημα κατά την εκφόρτωση δεδομένων βασίζεται στη διαχείριση ασφάλειας δεδομένων και συνδυάζει τεχνολογίες όπως κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση δεδομένων, έλεγχο ταυτότητας και αδειών πρόσβασης. Ως εκ τούτου, διαπιστώνεται ότι το απόρρητο και η ασφάλεια σε συνδυασμό με την απώλεια αυτών, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επιτυχία του συστήματος καθώς απουσία αυτών προκαλεί αστάθεια και μειωμένο βαθμό ακρίβειας (Sun *et al.*, 2014; Serhani *et al.*, 2017; Yadav & Goraya, 2018; Youssef, 2020; Mostafa, 2021; Kaymakci *et al.*, 2022; Chen & Chang, 2023).

4.4.3 Αρχιτεκτονική Ασφάλειας

Η αρχιτεκτονική ασφάλειας αποτελεί τη βάση μιας καλής στρατηγικής ασφάλειας στον κυβερνοχώρο. Είναι ένας τύπος σχεδιασμού ασφαλείας που αποτελείται από πολλαπλά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων των εργαλείων, των διαδικασιών και των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την προστασία της επιχείρησής σας από εξωτερικές απειλές. Ένα καλό πλαίσιο αρχιτεκτονικής θα εντοπίσει και θα αντιμετωπίσει γρήγορα πιθανές απειλές και κενά στην ασφάλεια, προστατεύοντας ευαίσθητα δεδομένα και διατηρώντας τον έλεγχο των ψηφιακών δεδομένων αποτρέποντας έτσι δαπανηρές προσπάθειες ανάκτησης που συχνά προέρχονται από παραβίαση δεδομένων (Youssef, 2020; Malhotra *et al.*, 2021; Mostafa, 2021; Kaymakci *et al.*, 2022; Ma *et al.*, 2022; Vaultes, 2022).

4.4.3.1 Ασφάλεια Νέφους

Η ασφάλεια νέφους αποτελεί μια συλλογή διαδικασιών και τεχνολογιών που έχουν σχεδιαστεί για την αντιμετώπιση εσωτερικών και εξωτερικών απειλών στοχεύοντας την διασφάλιση της ασφάλειας των επιχειρήσεων, ιδιαίτερα κατά το στάδιο του ψηφιακού μετασχηματισμού (IBM, 2022; Kaymakci *et al.*, 2022).

4.4.3.2 Ασφάλεια Κέντρου Δεδομένων

Το κέντρο δεδομένων είναι αυτό που φέρει τη βασική δραστηριότητα και αποθηκεύει τα βασικά δεδομένα στο δίκτυο (Ni *et al.*, 2022). Επομένως, γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι θα πρέπει να προστατεύονται από φυσικές απειλές. Αναφορικά, ορισμένοι έλεγχοι φυσικής ασφάλειας αποτελούν η τοποθεσία, η πρόσβαση στο κτήριο, τα συστήματα παρακολούθησης και άλλα πολλά (Kumar *et al.*, 2017; Checkpoint, 2022; Kaymakci *et al.*, 2022; VMware, 2022).

4.5 Οικονομική Απαίτηση

Η αγορά στην οποία εντάσσονται οι υπηρεσίες cloud είναι φανερό πως είναι ασαφής. Σε πολλές περιπτώσεις, οι συγκεκριμένες υπηρεσίες κοστίζουν περισσότερο από την αρχική επένδυση όσον αφορά την συνεχή συντήρηση και άλλα κρυφά κόστη. Η έλλειψη τεχνογνωσίας και διαφάνειας του προμηθευτή, το κόστος συντήρησης και πολλοί άλλοι παράγοντες συντελούν στην δημιουργία απρόβλεπτων κοστών (Makhlouf, 2020). Συνήθως, για τον προσδιορισμό του μεγαλύτερου δυνατού μέρους προέλευσης πιθανών δαπανών και κατηγοριών κόστους, χρησιμοποιείται η προσέγγιση Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας (Total Cost Ownership), δηλαδή η παροχή μιας ολοκληρωμένης επισκόπησης παραγόντων επιρροής κόστους, η οποία υποβοηθά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Martens *et al.*, 2012; Makhlouf, 2020).

4.5.1 Κόστος

Όπως στα πάντα, έτσι και στην επιλογή ενός παρόχου υπολογιστικού νέφους το οικονομικό κριτήριο διαδραματίζει έναν καθοριστικό παράγοντα λήψης αποφάσεως, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση ο χρήστης πληρώνει με βάση τη χρήση του (Sun *et al.*, 2013; Kumar & Kumar, 2016; Lee, & Seo, 2016; Kumar *et al.*, 2017;

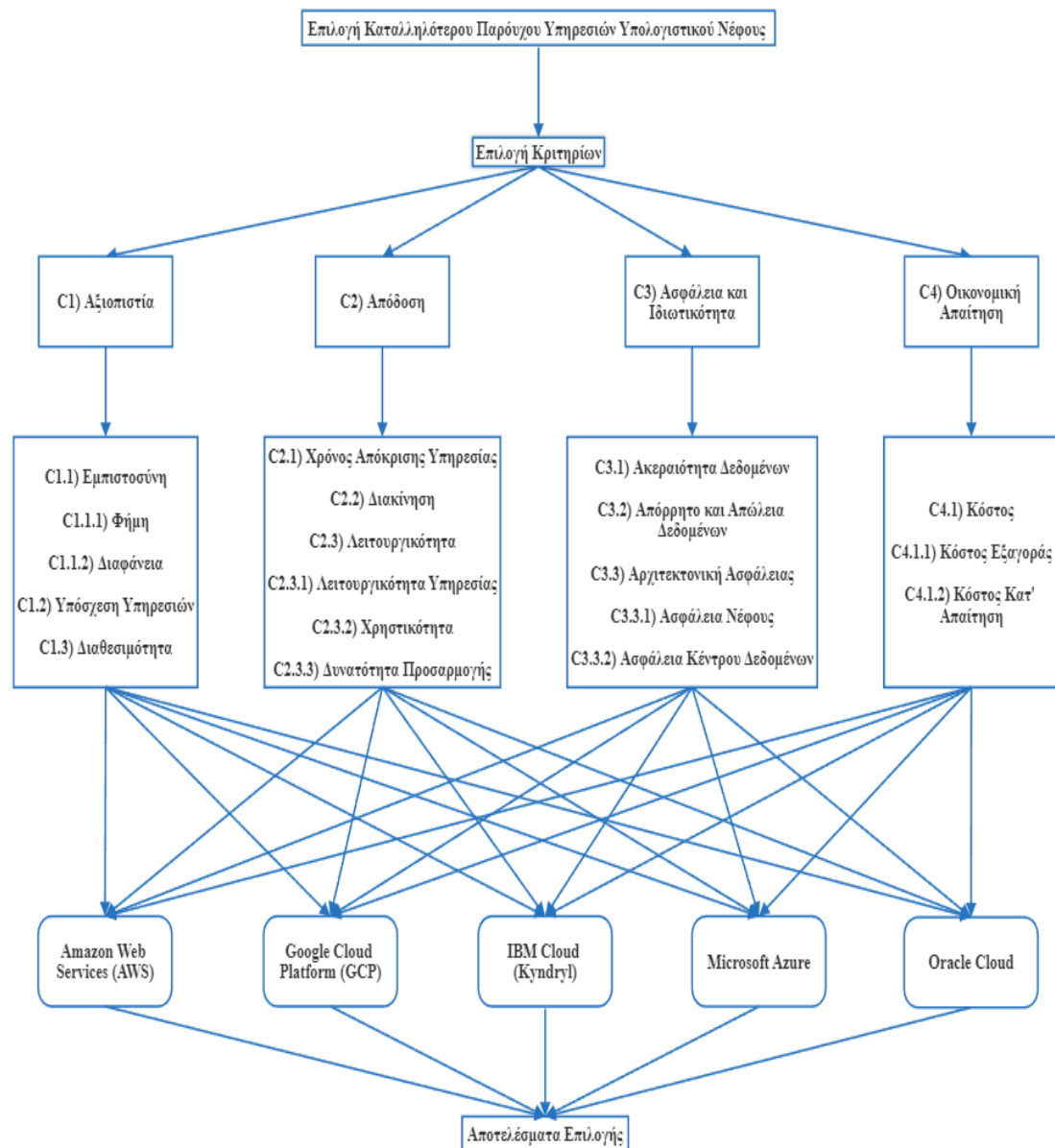
Yadav & Goraya, 2018; Youssef, 2020; Malhotra *et al.*, 2021; Mostafa, 2021; Kaymakci *et al.*, 2022; Ma *et al.*, 2022; Chen & Chang, 2023).

4.5.1.1 Κόστος Εξαγοράς

Το κόστος εξαγοράς περιλαμβάνει την υπογραφή απόκτησης της υπηρεσίας, καθώς και το απαιτούμενο ποσό χρημάτων το οποίο θα πρέπει να καταβάλει ο χρήστης σε εβδομαδιαία ή μηνιαία βάση για την χρήση των δοθέντων κλειδιών (Sun *et al.*, 2013; Kumar *et al.*, 2017; Yadav & Goraya, 2018; Youssef, 2020; Malhotra *et al.*, 2021; Mostafa, 2021).

4.5.1.2 Κόστος Κατ' Απαίτηση

Το κόστος κατ' απαίτηση αναφέρεται στο κόστος χρήσης πόρων (CPU, RAM) ανά μονάδα χρόνου (λεπτό, ώρα) (Kumar & Kumar, 2016; Kumar *et al.*, 2017).



Σχήμα 1: Απεικόνιση Μοντέλου Απόφασης

5. Εναλλακτικά Σενάρια

Εφόσον έχουν ήδη αναφερθεί τα κριτήρια τα οποία θα χρησιμοποιηθούν κατά την διαδικασία κατάταξης ώστε τελικά να προκύψει μια ιεραρχία αποφάσεων, σειρά έχει ο καθορισμός των πιθανών εναλλακτικών. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1, πιθανές εναλλακτικές αποτελούν οι εταιρείες Amazon, Google, IBM, Microsoft και Oracle με τις αντίστοιχες υπηρεσίες τους Amazon Web Services (AWS), Google Cloud Platform (GCP), IBM Cloud (Kyndryl), Microsoft Azure και Oracle Cloud.

5.1.1 1^ο εναλλακτικό σενάριο - Amazon Web Services (AWS)

Η Amazon μέσω του Amazon Web Services (AWS), παρέχει παραπάνω από διακόσιες (200) υπηρεσίες, και χαρακτηρίζεται ως μία από τις πιο ολοκληρωμένες πλατφόρμες Cloud. Πρωτοεμφανίστηκε το 2002, με τα πρώτα της Cloud προϊόντα να κυκλοφορούν εμπορικά το 2006. Αποτελεί τον μεγαλύτερο προμηθευτής Cloud Υπηρεσιών παγκοσμίως, και έχει έδρα σε εικοσιέξι (26) περιοχές και ογδοντατέσσερις (84) ζώνες διαθεσιμότητας σε λειτουργία ανά τον κόσμο, οι οποίες βρίσκονται στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην Νότια Αμερική, στην Ευρώπη, στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού, στην Μέση Ανατολή και στην Αφρική (Dgtl Infra, 2022; Simplilearn, 2022).

Τα πλεονεκτήματα αυτής του λογισμικού αυτού είναι η ευκολία χρήσης, η ευελιξία, η υψηλή σχέση κόστους απόδοσης, η μεγάλη διασπορά των κέντρων δεδομένων, καθώς και η υψηλή παραχόμενη ασφάλεια και αξιοπιστία. Αντ' αυτού, τα μειονεκτήματα αυτού αποτελούν οι περιορισμοί EC2, οι διαφορετικές παραμετροποιήσεις ανά χώρα και η επιπλέον χρέωση για περαιτέρω υπηρεσίες (πχ απευθείας ανταπόκριση) (Cogito Group, 2020; Solidstudio, 2021; TechSpective, 2021; Simplilearn, 2022).

5.1.2 2^ο εναλλακτικό σενάριο - Google Cloud Platform (GCP)

Η Google μέσω του Google Cloud Platform (GCP), δίνει τη δυνατότητα στους προγραμματιστές να αναπτύξουν και να τεστάρουν εφαρμογές στην υποδομή της, ενώ ταυτοχρόνως εκμεταλλεύονται τις παρεχόμενες δυνατότητες της σχετικά με ασφάλεια, διαχείριση και ανάλυση δεδομένων, καθώς και τεχνητή νοημοσύνη. Το λογισμικό αυτό πρωτοεισήχθη στην αγορά εν έτει 2008 ως "Google App Engine", και σήμερα αποτελεί τον τρίτο μεγαλύτερο προμηθευτής Cloud Υπηρεσιών παγκοσμίως και έχει έδρα σε τριαντατέσσερις (34) περιοχές και εκατόν τρεις (103) ζώνες διαθεσιμότητας σε λειτουργία ανά τον κόσμο. Αναφορικά, αυτές βρίσκονται στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην Νότια Αμερική, στην Ευρώπη και στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού (Dgtl Infra, 2022).

Τα πλεονεκτήματα του παρόντος λογισμικού είναι η εξαιρετική διάδραση και αλληλεπίδραση με τις υπόλοιπες υπηρεσίες της Google, το υψηλό επίπεδο επεξεργασίας και αποθήκευσης δεδομένων, η επεκτασιμότητα, η δυνατότητα χρήσης υπερσύγχρονων εργαλείων (AI) καθώς και η δυνατότητα σύνδεσης πολλαπλών χρηστών δίχως να προκύψουν δυσλειτουργίες (glitches) στην απόδοση του

συστήματος. Από την άλλη, τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει αφορούν το υψηλό κόστος υποστήριξης, η χαμηλή γεωγραφική διασπορά των κέντρων δεδομένων και η υψηλή απαίτηση τεχνογνωσίας (Computer Analysts and Recovery Experts Pte Ltd , 2021; TechSpective, 2021; CRM Masters Infotech LLP, 2022; Jefferson Frank, 2022)

5.1.3 3^ο εναλλακτικό σενάριο - IBM Cloud (Kyndryl)

Η IBM μέσω του IBM Cloud, προσφέρει έναν μεγάλο αριθμό υπηρεσιών τόσο σε μικρές όσο και μεγάλες επιχειρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, συνδυάζει τις δυνατότητες "Υποδομή ως Υπηρεσία", με την οποία οι οργανισμοί αποκτούν πρόσβαση σε εικονικούς πόρους πληροφορικής (π.χ. αποθήκευση και δικτύωση) και την "Πλατφόρμα ως Υπηρεσία", με την οποία οι προγραμματιστές χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες IBM για δημιουργία, ανάπτυξη, διαχείριση και εκτέλεση εφαρμογών για δημόσια, τοπικά, ή εσωτερικά περιβάλλοντα Cloud, μέσω της πλατφόρμας ανοιχτού κώδικα "Cloud Foundry". Μετά από αρκετά χρόνια ανάπτυξης, κυκλοφόρησε στις 7 Απριλίου του 2011. Το 2021 ωστόσο, η IBM παρέδωσε την ανάπτυξη και διαχείριση των υποδομών υπηρεσιών της στην Kyndryl. Σήμερα, το τμήμα υπηρεσιών της Kyndryl βοηθά τις εταιρείες να βελτιστοποιήσουν τις παρεχόμενες δυνατότητες Cloud ενσωματώνοντας σχετικά εργαλεία και υπηρεσίες που προσφέρονται από δημόσιους και ανεξάρτητους προμηθευτές, εσωτερικές πλατφόρμες αλλά και τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Η IBM Cloud (Kyndryl) έχει σήμερα έδρα σε έντεκα (11) περιοχές και εικοσιεννέα (29) ζώνες διαθεσιμότητας σε λειτουργία ανά τον κόσμο, οι οποίες εντοπίζονται στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην Νότια Αμερική, στην Ευρώπη και στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού (Dgtl Infra, 2022; Encyclopedia MDPI, 2022; IBM, 2022; TechTarget, 2022).

Το κύριο πλεονέκτημα της IBM Cloud (Kyndryl) είναι ότι αξιοποιεί την προσέγγιση "Data First". Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι τα δεδομένα αποθηκεύονται με πανίσχυρους και πρωτοπόρους τρόπους ασφάλειας, καθώς και λόγω των υψηλής ποιότητας εξαρτημάτων αποθηκεύονται και φορτώνουν αρκετά γρήγορα. Η εταιρεία επίσης συνεργάζεται συνεχώς με τρίτους πωλητές οι οποίοι προσφέρουν νέα προϊόντα και υπηρεσίες, και είναι η μόνη εταιρεία που παρέχει απτούς μεταλλικούς servers υψηλής αξιοπιστίας με συνδρομή. Αντιθέτως, τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η συγκεκριμένη εναλλακτική είναι ότι λόγω των μεταλλικών servers δεν υπάρχει ποικιλία όσον αφορά τους servers, καθώς και η διαμόρφωση των μεταλλικών servers είναι μια χρονοβόρα διαδικασία. Επιπροσθέτως, η σύνδεση πολλαπλών χρηστών είναι περίπλοκη προκαλώντας δυσλειτουργίες (glitches) στις διαδικασίες αναζήτησης και διεπαφών χρήστη (Softacom, 2020; TechSpective, 2021; Wire19, 2021).

5.1.4 4^ο εναλλακτικό σενάριο - Microsoft Azure

Η Microsoft μέσω του Microsoft Azure, προσφέρει μια πληθώρα εργαλείων στοχεύοντας στην επίτευξη της βελτιστοποίησης της απόδοσης. Το νεοφανή αυτό λογισμικό κυκλοφόρησε εμπορικά μόλις πριν από λίγα χρόνια, και πιο συγκεκριμένα την πρώτη 1^η Φεβρουαρίου του 2010. Το Microsoft Azure αποτελεί τον δεύτερο μεγαλύτερο προμηθευτής Cloud Υπηρεσιών παγκοσμίως και έχει έδρα σε εξήντα

(60) περιοχές και εκατόν δεκαέξι (116) ζώνες διαθεσιμότητας σε λειτουργία ανά τον κόσμο, οι οποίες εντοπίζονται στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην Νότια Αμερική, στην Ευρώπη, στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού, στην Μέση Ανατολή καθώς και στην Αφρική (DSP-Explorer, 2016; Dgtl Infra, 2022).

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το παρόν λογισμικό αποτελούν η ευελιξία, η επεκτασιμότητα, η δυνατότητα χρήσης υπερσύγχρονων εργαλείων (AI) καθώς και η ανάπτυξης ενός υβριδικού cloud, παρέχοντας έτσι την δυνατότητα στις εφαρμογές να μπορούν να εκτελούνται ταυτόχρονα σε διαφορετικά περιβάλλοντα, και τέλος, η προσφερόμενη ασφάλεια. Παρ' όλα αυτά, το κυριότερο μειονεκτήματα που παρουσιάζεται είναι ότι για να εκμεταλλευτεί μια επιχείρηση τα παραπάνω, θα πρέπει να κατέχει και την αντίστοιχη τεχνογνωσία. Επιπλέον, η κοστολόγηση σε συνδυασμό με την πενιχρή παρεχόμενη εξυπηρέτηση πελατών αποτελούν εξίσου καίρια μειονεκτήματα (DSP-Explorer, 2016; BrandonGaille, 2018; MetrixData 360, 2020; TechSpective, 2021).

5.1.5 5^ο εναλλακτικό σενάριο - Oracle Cloud

Η Oracle μέσω του Oracle Cloud, και πιο συγκεκριμένα μέσω του Oracle Cloud Infrastructure (OCI), παρέχει μια πλατφόρμα δεδομένων που επιτρέπει την ανάπτυξη εφαρμογών σε μεγάλη κλίμακα. Το Oracle Cloud αποτελεί την πιο πρόσφατη πρόταση της αγοράς αφού λανασρίστηκε στις 20 Οκτωβρίου του 2016, και έχει έδρα σε τριανταοχτώ (38) περιοχές και σαρανταέξι (46) ζώνες διαθεσιμότητας σε λειτουργία ανά τον κόσμο. Αναφορικά, αυτές βρίσκονται στις Ηνωμένες Πολιτείες, στον Καναδά, στην Ευρώπη, στην Μέση Ανατολή, στην Αφρική, στην Λατινική Αμερική καθώς και στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού (Oracle Cloud Infrastructure, 202; Dgtl Infra, 2022).

Η ευκολία είναι το προσόν εκείνο που χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο λογισμικό. Ευκολία όσον αφορά την χρήση, την επεκτασιμότητα και την παροχή πόρων δίχως να θυσιάζεται η επίδοση και η ταχύτητα. Τέλος, η αυτοματοποίηση και ευελιξία που προσφέρει δεν θα μπορούσε να παραληφθεί. Από την στιγμή που η ίδια η Oracle έχει επιλέξει να εστιάσει στις υψηλού προϋπολογισμού προσφορές, αναμενόμενο είναι ότι οι προσφορές που καλύπτουν τις απολύτως βασικές υπηρεσίες να είναι περιορισμένες και να έχουν κακή απόδοση (Oracle Cloud Infrastructure, 2021; Solidstudio, 2021; TechSpective, 2021).

6. Μελέτη Περίπτωσης

Η μελέτη περίπτωσης εξετάζει την επιλογή του καταλληλότερου προμηθευτή υπηρεσιών Υπολογιστικού Νέφους, λαμβάνοντας υπόψιν τα κριτήρια τα οποία προαναφέρθηκαν, όπου και δομούν τον πίνακα απόφασης μας (Πίνακα 6.1). Πιο συγκεκριμένα, τα κριτήρια τα οποία συμβάλλουν άμεσα στην επίτευξη του τελικού μας στόχου είναι εκείνα τα οποία βρίσκονται στο κατώτερο επίπεδο κάθε υποκριτηρίου. Αναλυτικότερα, αυτά είναι τα εξής: Α) Φήμη, Β) Διαφάνεια, Γ) Υπόσχεση Υπηρεσιών, Δ) Διαθεσιμότητα, Ε) Χρόνος Απόκρισης Υπηρεσιών, ΣΤ) Διακίνηση, Ζ) Λειτουργικότητα Υπηρεσίας, Η) Χρηστικότητα, Θ) Δυνατότητα Προσαρμογής, Ι) Ακεραιότητα Δεδομένων, Κ) Απόρρητο & Απώλεια Δεδομένων, Λ) Ασφάλεια Νέφους, Μ) Ασφάλεια Κέντρου Δεδομένων, Ν) Κόστος Εξαγοράς και Ξ) Κόστος κατ' Απαίτηση. Οι δοθείσες εναλλακτικές οι οποίες θα αξιολογηθούν μέσω των παραπάνω κριτηρίων είναι οι εξής: Ι) Amazon Web Services (AWS), ΙΙ) Google Cloud Platform (GCP), ΙΙΙ) IBM Cloud, ΙV) Microsoft Azure και V) Oracle Cloud.

6.1 Πίνακας Απόφασης

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας απόφασης (Πίνακας 6.1), όπου για κάθε κριτήριο το οποίο συμβάλλει άμεσα στην επίτευξη του τελικού μας στόχου έχει δοθεί μια τιμή εντός εύρους 0-5.

Πίνακας 6.1: Πίνακας Απόφασης

| | A | B | Γ | Δ | E | ΣΤ | Z | H | Θ | I | K | Λ | M | N | Ξ | O |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----------|
| I | 4,5 | 4 | 4,4 | 4,3 | 4,4 | 4,6 | 4,5 | 4,4 | 4,2 | 4,3 | 4,4 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 2880€ | 6062,13€ |
| II | 4,3 | 4,2 | 4,4 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,4 | 4,5 | 4,2 | 4,4 | 4,5 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 2880€ | 5687,45€ |
| III | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4 | 4,2 | 4,3 | 4,2 | 4,1 | 4,3 | 4,5 | 4,6 | 4,5 | 4,4 | 4,4 | 2880€ | 6683,64€ |
| IV | 4,4 | 4,4 | 4,3 | 4,2 | 4,3 | 4,4 | 4,4 | 4,3 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 2712,96€ | 6852,92€ |
| V | 4,1 | 4,2 | 4,2 | 4 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,4 | 4,2 | 4,3 | 4,2 | 4,2 | 4,1 | 1536,18€ | 4158,13€ |

Οι τιμές του παραπάνω πίνακα αντλήθηκαν μέσω μιας επικυρωμένης ιστοσελίδας όπου συντατάται πληθώρα αξιολογήσεων από χρήστες για διάφορους τομείς των παρεχόμενων υπηρεσιών, ενώ τα απαραίτητα κόστη εξαγοράς και κατ' απαίτησης λήφθηκαν μέσω των επίσημων ιστοσελίδων των εκάστοτε παρόχων (Gartner Peer Insights, 2022; Amazon Web Services, 2023; Google Cloud, 2023; IBM Cloud, 2023; Microsoft Azure, 2023; Oracle Cloud Infrastructure (OCI), 2023).

6.2 Προσδιορισμός βαρυτήτων των κριτηρίων

Ο προσδιορισμός των βαρυτήτων κάθε επιπέδου κριτηρίων εξήχθη μέσω σύγκρισης ζευγών (pair-wise comparison), όπου μέσω της γενικευμένης κλίμακας προτιμήσεων της AHP (Πίνακας 6.2) εκφράστηκε το κατά πόσο το ένα στοιχείο επικρατεί έναντι του άλλου.

Πίνακας 6.2: Γενικευμένη κλίμακα προτιμήσεων AHP

| Θεμελιώδης Κλίμακα Προτιμήσεως | Μεταβλητή Έκφρασης | Ερμηνεία |
|--------------------------------|--|--|
| 1 | Ισοδύναμη Επικράτηση | Τα δύο στοιχεία συνεισφέρουν εξίσου στον αντικειμενικό στόχο. |
| 3 | Μέτρια Επικράτηση | Η εμπειρία και η κρίση ευνοεί λίγο το στοιχείο γραμμής. |
| 5 | Ισχυρή Επικράτηση | Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ισχυρά το στοιχείο γραμμής |
| 7 | Πολύ Ισχυρή Επικράτηση | Το στοιχείο γραμμής είναι πολύ πιο ισχυρό σε σχέση με το στοιχείο στήλης |
| 9 | Εξαιρετική Επικράτηση | Υπάρχουν ισχυρότατες ενδείξεις ότι το στοιχείο γραμμής είναι σημαντικότερο |
| 2, 4, 6, 8 | Ενδιάμεσες Επικράτησεις | Για την απόδοση συμβιβαστικών θέσεων μεταξύ των παραπάνω |
| Αντίστροφοι των παραπάνω | Αν σε ένα στοιχείο i επισυνάπτεται ένας από τους παραπάνω αριθμούς κατά την σύγκριση της με το στοιχείο j, τότε η j ως προς την i έχει την αντίστροφη τιμή | Η σύγκριση γίνεται επιλέγοντας το μικρότερο στοιχείο ως μονάδα υπολογισμού (εκτίμησης) και το μεγαλύτερο ως πολλαπλάσιο αυτής της μονάδας. |

Έπειτα την συμπλήρωση των πινάκων σύγκρισεων σε ζεύγη για κάθε κριτήριο και υποκριτήρια αυτών, υπολογίστηκε ο γεωμετρικός μέσος τους μέσω της συνάρτησης GEOMEAN του Excel όπου ορίζεται ως $(\prod_{i=1}^n x_i)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{x_1 * x_2 * ... * x_n}$, ώστε να επιτευχθεί κανονικοποίηση. Έχοντας υπολογίσει τους γεωμετρικούς μέσους για κάθε

κριτήριο του πρώτου επιπέδου και αθροίζοντας τα μεταξύ τους και τέλος διαιρώντας το καθένα με το άθροισμα αυτών, προέκυψε το συνολικό βάρος (global weight) του κάθε κριτηρίου. Έπειτα, προχωρώντας στα επόμενα επίπεδα επαναλήφθηκε η παραπάνω διαδικασία στοχεύοντας στην εξαγωγή των τοπικών βαρών (local weight) των υποκριτηρίων. Εν συνεχεία, επακολούθησε πολλαπλασιασμός των τοπικών βαρών με τα συνολικά βάρη των κριτηρίων στα οποία ανήκουν ώστε τελικά να προκύψει το συνολικό βάρος των υποκριτηρίων. Όπως παρατηρείται παρακάτω και στον Πίνακα 6.3, παρουσιάζονται τόσο τα τοπικά, όσο και τα συνολικά βάρη όλων των επιπέδων του παρόντος προβλήματος.

Πίνακας 6.3: Τοπικά και συνολικά βάρη κριτηρίων και υποκριτηρίων

| | 1 st Level | 2 nd Level | | | 3 rd Level | | |
|----|-----------------------|-----------------------|--------------|---------------|-----------------------|--------------|---------------|
| | Global Weight | | Local Weight | Global Weight | | Local Weight | Global Weight |
| C1 | 18,37% | C1.1 | 13,65% | 2,51% | C1.1.1 | 16,67% | 0,42% |
| | | | | | C1.1.2 | 83,33% | 2,09% |
| | | C1.2 | 23,85% | 4,38% | | | |
| | | C1.3 | 62,50% | 11,48% | | | |
| C2 | 47,57% | C2.1 | 25,99% | 12,37% | | | |
| | | C2.2 | 32,75% | 15,58% | | | |
| | | C2.3 | 41,26% | 19,63% | C2.3.1 | 58,16% | 11,42% |
| | | | | | C2.3.2 | 30,90% | 6,07% |
| | | | | | C2.3.3 | 10,95% | 2,15% |
| | | | | | | | |
| C3 | 26,75% | C3.1 | 32,75% | 8,76% | | | |
| | | C3.2 | 25,99% | 6,95% | | | |
| | | C3.3 | 41,26% | 11,04% | C3.3.1 | 66,67% | 7,36% |
| | | | | | C3.3.2 | 33,33% | 3,68% |
| C4 | 7,30% | C4.1 | 100,00% | 7,30% | C4.1 | 25,00% | 1,83% |
| | | | | | C4.2 | 75,00% | 5,48% |

Όπως προειπώθηκε, η σύγκριση των κριτηρίων και των υποκριτηρίων αυτών πραγματοποιείται σε μορφή πίνακα A μεγέθους $n \times n$ και στοιχεία a_{ij} ώστε μετέπειτα να μπορεί να ελεγχθεί η συνοχή της απόφασης. Ο πίνακας A θεωρείται συνεπής εάν όλα τα στοιχεία του ικανοποιούν τις σχέσεις $a_{ij} = a_{ik} \times a_{jk}$ και $a_{ij} = \frac{1}{a_{jk}}$, όπου i, j, k είναι οποιοδήποτε στοιχείο του πίνακα A . Γνωρίζοντας ήδη τις βαρύτητες όλων των κριτηρίων και των υποκριτηρίων αυτών, διαμορφώνουμε έναν πίνακα $A \times W$, όπου A ο πίνακας σύγκρισης σε ζεύγη και W ο πίνακας των τοπικών βαρυτήτων των συγκρινόμενων στοιχείων. Έπειτα, διαιρούμε τον παρόν πίνακα για ακόμη μια φορά με τα τοπικά βάρη των κριτηρίων και βγάζοντας τον μέσο όρο αυτών προκύπτει η επιθυμητή τιμή λ_{max} . Έχει αποδειχθεί από τον Saaty (1987) ότι όσο μικρότερη η απόκλιση του λ_{max} από το n , δηλαδή το μέγεθος του πίνακα A , τόσο πιο συνεπής θεωρείται.

Τέλος, ο τελικός λόγος συνέπειας (CR), η χρήση του οποίου μας επιτρέπει να συμπεράνουμε αν εν τέλει οι προτιμήσεις μας είναι επαρκώς συνεπείς, υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης $CR = \frac{CI}{RI}$, όπου CI ο δείκτης συνέπειας ο οποίος ορίζεται ως $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ και RI ο τυχαίος βαθμός συνέπειας ο οποίος προκύπτει μέσω του πίνακα 6.4, αναλόγως του μεγέθους του πίνακα A . Για να θεωρηθεί συνεπές το μοντέλο μας, ο λόγος συνέπειας CR θα πρέπει να είναι λάβει τιμή ≤ 0.1 , δηλαδή μικρότερος ή ίσος του 10%. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, ο λήπτης απόφασης επιβάλλεται να αναθεωρήσει την κρίση του και να αλλάξει κάποιες από τις τιμές a_{ij} μέχρις ότου ο τελικός λόγος συνέπειας να λάβει επιθυμητές τιμές εντός ορίων.

Πίνακας 6.4: Τυχαίες τιμές βαθμού συνέπειας RI

| Τιμές του τυχαίου βαθμού συνέπειας RI | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| RI | 0,00 | 0,00 | 0,52 | 0,89 | 1,11 | 1,25 | 1,35 | 1,40 | 1,45 |

7. Αποτελέσματα

Σύμφωνα με την διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP) που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των συνολικών βαρυτήτων κάθε κριτηρίου, και έπειτα με την εφαρμογή της μεθόδου Ιδεατού Σημείου TOPSIS στοχεύοντας στον προσδιορισμό του καταλληλότερου παρόχου υπηρεσιών Υπολογιστικού Νέφους, διαπιστώθηκε ότι ο προτεινόμενος πάροχος είναι η Google, καθώς στα κριτήρια εκείνα στα οποία ενέχεται υψηλότερη βαρύτητα, τις περισσότερες φορές υπερνικά των υπολοίπων εναλλακτικών, ενώ ταυτοχρόνως αποτελεί την δεύτερη φθηνότερη επιλογή. Στην δεύτερη θέση, με μικρή απόκλιση με αυτή της Google βρίσκεται η Amazon, όπου ενώ λαμβάνει παραπλήσιες αξιολογήσεις με αυτές της Google, η τιμή προσφοράς των υπηρεσιών είναι αισθητά υψηλότερη. Έπειτα, ακολουθεί η Microsoft η οποία παρά του γεγονότος ότι παρέχει παρόμοιες σε ποιότητα υπηρεσίες με τις προαναφερθείσες, αποτελεί την ακριβότερη επιλογή με αρκετά μεγάλη απόκλιση τιμής. Στην επόμενη θέση βρίσκεται η IBM, η οποία κατά κύριο λόγο λαμβάνει μέτριες κριτικές από τους χρήστες, παρ' όλα αυτά, στον τομέα της ασφάλειας, ο οποίος καταλαμβάνει μεγάλη βαρύτητα για την τελική μας απόφαση, υπερνικά αισθητά όλες τις υπόλοιπες εναλλακτικές. Τέλος, την τελευταία θέση καταλαμβάνει η Oracle που ενώ παρουσιάζει παρεμφερείς αξιολογήσεις συγκριτικά με εκείνες της IBM και αποτελεί ταυτοχρόνως την φθηνότερη εναλλακτική μας, το κριτήριο του κόστους καταλαμβάνει μόνο το 7.30% της συνολικής μας απόφασης.

8. Ανάλυση Ευαισθησίας

Έπειτα των διαδικασιών που ακολούθησαν προηγουμένως με απώτερο σκοπό την επιλογή του καταλληλότερου παρόχου Υπολογιστικού Νέφους, ακολουθεί η εξέταση του κατά πόσο ευαίσθητο είναι το μοντέλο που έχει δημιουργηθεί σε τυχόν αλλαγές στις προτιμήσεις του χρήστη. Έτσι, μεταβάλλοντας τις προτιμήσεις του χρήστη τυχαία στους πίνακες συγκρίσεων σε ζεύγη, μεταβλήθηκε η βαρύτητα του κάθε κριτηρίου και κατ' επέκταση του κάθε υποκριτηρίου. Αυτό που εξήχθει ως συμπέρασμα ήταν πως ενώ η σειρά κατάταξης των εναλλακτικών δεν παρουσίασε κάποια αλλαγή, η μεταξύ τους ποσοστιαία διαφορά προτίμησης μειώθηκε αισθητά. Παρ' όλα αυτά, εν τέλει, διαπιστώνεται το γεγονός ότι το μοντέλο μας είναι αρκετά αξιόπιστο και δεν παρουσιάζει μεγάλο βαθμό ευαισθησίας σε οποιαδήποτε μεταβολή προτίμησης του χρήστη.

9. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, με την διεξαγωγή της συγκεκριμένης έρευνας διαπιστώθηκε ότι κρίνεται μεγάλης σημαντικότητας η επιλογή του καταλληλότερου προμηθευτή υπηρεσιών Cloud για εταιρίες που βασίζουν την λειτουργία τους στην εκμετάλλευση πόρων του διαδικτύου (IT-oriented companies), καθώς η λήψη μιας απόφασης η οποία δεν θα καλύψει επαρκώς τις ανάγκες της επιχείρησης μπορεί να επιφέρει τέραστιες ζημίες, τόσο οικονομικής φύσεως όσο και λειτουργιών και διαχείρισης. Η επιλογή κάθε κριτηρίου και υποκριτηρίου προέκυψε από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας, συντελώντας στην διαμόρφωση ενός επιστημονικά βασισμένου μοντέλου απόφασης. Η επιλογή της χρήσης της μεθόδου AHP κρίνεται ιδανική, καθώς το πρόβλημα απόφασης μας είναι κλειστό σύστημα, δηλαδή δεν επιτρέπει σε νέα κριτήρια να ληφθούν υπόψιν και να επηρεάσουν την τελική απόφαση. Έπειτα, ο συνδυασμός των μεθόδων εύρους των επιδόσεων και TOPSIS συνέβαλαν στο να γίνουν πιο ευδιάκριτα για τον εκάστοτε χρήστη τα τελικά αποτελέσματα και κατ' επέκταση η επιλογή του καταλληλότερου παρόχου Υπολογιστικού Νέφους.

10. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Amazon Web Services (2023). Amazon EC2 On-Demand Pricing, <https://aws.amazon.com/ec2/pricing/on-demand/> (Ημερ. θέασης 28/12/2022).
- Al-Harbi, K. M. A. S. (2001). *Application of the AHP in project management*. International journal of project management, 19, 1, 19-27 ([https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00038-1](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00038-1)).
- Al-Sayed, M. M., Hassan, H. A. & Omara, F. A. (2020). *CloudFNF: An ontology structure for functional and non-functional features of cloud services*. Journal of Parallel and Distributed Computing, 141, 143-173 (<https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2020.03.019>).
- BrandonGaille (2018). 15 Microsoft Azure Advantages and Disadvantages, [15 Microsoft Azure Advantages and Disadvantages - BrandonGaille.com](https://brongaille.com/microsoft-azure-advantages-and-disadvantages/) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).
- Chakraborty, S. (2022). *TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis*. Decision Analytics Journal, 2, 100021 (<https://doi.org/10.1016/j.dajour.2021.100021>).
- Checkpoint (2022). What is Data Security?, <https://www.checkpoint.com/cyber-hub/cyber-security/what-is-data-center/what-is-data-center-security/> (Ημερ. θέασης 18/12/2022).
- Chen, T. Y. & Chang, H. F. (2023). *Critical success factors and architecture of innovation services models in data industry*. Expert Systems with Applications, 213, 119014 (<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119014>).
- Cimino, A., Gnoni, M. G., Longo, F. & Nicoletti, L. (2023). *A risk assessment framework based on ergonomic methods and AHP for prioritizing interventions to prevent container terminal operator's musculoskeletal disorders*. Safety Science, 159, 106017 (<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.106017>).
- Cogito Group (2020). Pros and Cons of Amazon Web Services, [Pros and Cons of Amazon Web Services - Cogito Group](https://cogitogroup.com/pros-and-cons-of-amazon-web-services/) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).
- Computer Analysts and Recovery Experts Pte Ltd (2021). The Pros & Cons Of The Google Cloud Platform, [The Pros & Cons Of The Google Cloud Platform \(care.biz\)](https://care.biz/the-pros-and-cons-of-the-google-cloud-platform/) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).
- CRM Masters Infotech LLP (2022). Google Cloud Platform – Advantages and Disadvantages, [Google Cloud Platform – Advantages and Disadvantages \(crm-masters.com\)](https://crm-masters.com/google-cloud-platform-advantages-and-disadvantages/) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).
- Dgtl Infra (2022). Top 10 Cloud Service Providers Globally in 2022, [Top 10 Cloud Service Providers Globally in 2022 - Dgtl Infra](https://dgtlinfra.com/top-10-cloud-service-providers-globally-in-2022/) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).
- DSP-Explorer (2016). What Is Microsoft Azure? An Overview In Plain English, [What Is Microsoft Azure? An Overview In Plain English \(dsp.co.uk\)](https://dsp.co.uk/what-is-microsoft-azure-an-overview-in-plain-english/) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).
- Encyclopedia MDPI (2022). IBM Cloud Computing, [IBM Cloud Computing | Encyclopedia MDPI](https://encyclopedia.mdp.i/ibm-cloud-computing/) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).

Gartner Peer Insights (2022). Cloud Infrastructure and Platform Services Reviews and Ratings, <https://www.gartner.com/reviews/market/cloud-infrastructure-and-platform-services> (Ημερ. θέασης 28/12/2022).

Google Cloud (2023). VM instance pricing, <https://cloud.google.com/compute/vm-instance-pricing> (Ημερ. θέασης 28/12/2022).

Hashizume, K., Rosado, D. G., Fernández-Medina, E. & Fernandez, E. B. (2013). *An analysis of security issues for cloud computing*. Journal of internet services and applications, 4, 1, 1-13 (<https://doi.org/10.1186/1869-0238-4-5>).

IBM (2022). What is Data Security?, <https://www.ibm.com/topics/cloud-security> (Ημερ. θέασης 18/12/2022).

IBM (2022). What is the IBM Cloud platform?, [What is the IBM Cloud platform? | IBM Cloud Docs](https://www.ibm.com/cloud/what-is-the-ibm-cloud-platform) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).

IBM Cloud (2023). Virtual Server for VPC, <https://cloud.ibm.com/vpc-ext/provision/vs> (Ημερ. θέασης 28/12/2022).

Jefferson Frank (2022). AWS vs Azure vs Google: The battle for cloud supremacy, <https://www.jeffersonfrank.com/insights/aws-vs-azure-vs-google-cloud-provider-comparison> (Ημερ. θέασης 21/12/2022).

Kaymakci, C., Wenninger, S., Pelger, P. & Sauer, A. (2022). *A Systematic Selection Process of Machine Learning Cloud Services for Manufacturing SMEs*. Computers, 11, 1, 14 (<https://doi.org/10.3390/computers11010014>).

Khanghahi, N. & Ravanmehr, R. (2013). *Cloud computing performance evaluation: issues and challenges*. Comput, 5, 1, 29-41 ([10.5121/ijccsa.2013.3503](https://doi.org/10.5121/ijccsa.2013.3503)).

Kumar, R. R. & Kumar, C. (2016). *An evaluation system for cloud service selection using fuzzy AHP*. 11th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS2016), 03-04 December, Roorkee, India.

Kumar, R. R., Mishra, S. & Kumar, C. (2017). *Prioritizing the solution of cloud service selection using integrated MCDM methods under Fuzzy environment*. The Journal of Supercomputing, 73, 11, 4652-4682 (<https://doi.org/10.1007/s11227-017-2039-1>).

Lee, S. & Seo, K. K. (2016). *A hybrid multi-criteria decision-making model for a cloud service selection problem using BSC, fuzzy Delphi method and fuzzy AHP*. Wireless Personal Communications, 86, 1, 57-75 (<https://doi.org/10.1007/s11277-015-2976-z>).

Liu, H. C., Wang, L. E., Li, Z. & Hu, Y. P. (2018). *Improving risk evaluation in FMEA with cloud model and hierarchical TOPSIS method*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 27, 1, 84-95 ([10.1109/TFUZZ.2018.2861719](https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2018.2861719)).

Lo, C. C., Chen, D. Y., Tsai, C. F. & Chao, K. M. (2010). *Service selection based on fuzzy TOPSIS method*. In 2010 IEEE 24th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 20-23 April, Perth, WA, Australia.

Lokare, V. T. & Jadhav, P. M. (2016). *Using the AHP and TOPSIS methods for decision making in best course selection after HSC*. In 2016 International Conference

on Computer Communication and Informatics (ICCCI), 07-09 January, Coimbatore, India.

Ma, Z., Nejat, M. H., Vahdat-Nejad, H., Barzegar, B. & Fatehi, S. (2022). *An Efficient Hybrid Ranking Method for Cloud Computing Services Based on User Requirements*. IEEE Access, 10, 72988-73004 ([10.1109/ACCESS.2022.3189172](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3189172)).

Makhlouf, R. (2020). *Cloudy transaction costs: a dive into cloud computing economics*. Journal of Cloud Computing, 9, 1, 1-11 (<https://doi.org/10.1186/s13677-019-0149-4>).

Malhotra, A., Dhurandher, S. K., Gupta, M. & Kumar, B. (2021). *Integer multiplication ranking method for cloud services selection*. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 12, 2, 2003-2017 (<https://doi.org/10.1007/s12652-020-02298-z>).

Martens, B., Walterbusch, M. & Teuteberg, F. (2012). *Costing of cloud computing services: A total cost of ownership approach*. In 2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences (IEEE), 04-07 January 2012, Maui, HI, USA.

MetrixData 360 (2020). Microsoft Azure: The Pros and Cons, [Microsoft Azure: The Pros and Cons - MetrixData 360](https://www.metrixdata.com/360/microsoft-azure-the-pros-and-cons) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).

Microsoft Azure (2023). Pricing Calculator, <https://azure.microsoft.com/en-us/pricing/calculator/> (Ημερ. θέασης 28/12/2022).

Mostafa, A. M. (2021). *An MCDM Approach for Cloud Computing Service Selection Based on Best-Only Method*. IEEE Access, 9, 155072-155086 ([10.1109/ACCESS.2021.3129716](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3129716)).

Ni, L., Cui, H., Wang, M., Zhi, D., Han, K. & Kou, W. (2022). *Construction of Data Center Security System Based on Micro Isolation under Zero Trust Architecture*. In 2022 2nd Asia-Pacific Conference on Communications Technology and Computer Science (ACCTCS), 25-27 February 2022, Shenyang, China.

Oracle Cloud Infrastructure (2021). Improve performance and security, while reducing costs for your enterprise and performance-intensive applications, <https://www.oracle.com/a/ocom/docs/cloud/oracle-cloud-infrastructure-platform-overview-wp.pdf> (Ημερ. θέασης 21/12/2022).

Oracle Cloud Infrastructure (OCI) (2023). OCI Price List, <https://www.oracle.com/cloud/price-list/#compute-vm> (Ημερ. θέασης 28/12/2022).

Rajini, N. S., Ramamoorthy, S., Rammohan, S. R., Rajakumar, P. S. & Niveditha, V. R. (2020). *Reliability of cloud services provided to non-banking financial institutions*. International Journal of Control and Automation, 13, 2, 165-172 (https://www.researchgate.net/publication/342151027_Reliability_of_Cloud_Services_Provided_To_Non-Banking_Financial_Institutions).

Saaty, R. W. (1987). *The analytic hierarchy process-what it is and how it is used*. Mathematical modelling, 9, 3-5, 161-176 ([https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)).

Serhani, M. A., El Kassabi, H. T. & Taleb, I. (2017). *Quality profile-based cloud service selection for fulfilling big data processing requirements*. In 2017 IEEE 7th International Symposium on Cloud and Service Computing (SC2), 22-25 November, Kanazawa, Japan.

Simplilearn (2022). What Is AWS (Amazon Web Services): Services, Applications, Advantages and More, [What Is AWS \(Amazon Web Services\)? Services and Applications | Simplilearn](#) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).

Softacom (2020). Strengths and weaknesses of IBM Cloud platform, [Strengths and weaknesses of IBM Cloud platform – SOFTACOM](#) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).

Solidstudio (2021). Oracle Cloud vs. AWS - Which one should you choose for your business?, [Oracle Cloud vs. AWS - Which one should you choose for your business? | Solidstudio](#) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).

Srivastava, P. & Khan, R. (2018). *A review paper on cloud computing*. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 8, 6, 17-20 (<https://doi.org/10.23956/ijarcsse.v8i6.711>).

Sun, C. C. (2010). *A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods*. Expert systems with applications, 37, 12, 7745-7754 (<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.04.066>).

Sun, L., Dong, H., Hussain, F. K., Hussain, O. K., Ma, J. & Zhang, Y. (2014). *A hybrid fuzzy framework for cloud service selection*. In 2014 IEEE international conference on web services (IEEE), 27 June – 02 July, Anchorage, AK, USA.

Sun, M., Zang, T., Xu, X. & Wang, R. (2013). *Consumer-centered cloud services selection using AHP*. In 2013 International conference on service sciences (ICSS), 11-13 April, Shenzhen, China.

Sun, Y., Zhang, J., Xiong, Y. & Zhu, G. (2014). *Data security and privacy in cloud computing*. International Journal of Distributed Sensor Networks, 10, 7, 190903 (<https://doi.org/10.1155/2014/190903>).

Talend (2022). What is Data Integrity and Why Is It Important?, <https://www.talend.com/resources/what-is-data-integrity/> (Ημερ. θέασης 18/12/2022).

TechSpective (2021). Pros and Cons of the 5 Most Popular Cloud Services, [Pros and Cons of the 5 Most Popular Cloud Services \(techspective.net\)](#) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).

TechTarget (2022). What is IBM Cloud?, <https://www.techtarget.com/searchcloudcomputing/definition/IBM-Bluemix?fbclid=IwAR0BIVr0BL0gv3DD6VfAuEamjVc9edfZN1ZG9FmSaGEk-PcRrWmg2xbyKGE> (Ημερ. θέασης 21/12/2022).

Vaultes (2022). What Is Security Architecture?, <https://www.vaultes.com/what-is-security-architecture/> (Ημερ. θέασης 18/12/2022).

Vmware (2022). What is data center security?, <https://www.vmware.com/topics/glossary/content/data-center-security.html?resource=cat-2007761499#cat-2007761499> (Ημερ. θέασης 18/12/2022).

Wire19 (2021). Pros and cons of cloud servers: Microsoft Azure and IBM cloud services, [Pros and cons of cloud servers: Microsoft Azure and IBM cloud services - Latest Digital Transformation Trends | Cloud News | Wire19](#) (Ημερ. θέασης 21/12/2022).

Xiong, K. & Perros, H. (2009). *Service performance and analysis in cloud computing*. In 2009 Congress on Services-I (IEEE), 06-10 July 2009, Los Angeles, CA, USA.

Yadav, N. & Goraya, M. S. (2018). *Two-way ranking based service mapping in cloud environment*, Future Generation Computer Systems, 81, 53-66 (<https://doi.org/10.1016/j.future.2017.11.027>).

Youssef, A. E. (2020). *An integrated MCDM approach for cloud service selection based on TOPSIS and BWM*. IEEE Access, 8, 71851-71865 ([10.1109/ACCESS.2020.2987111](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2987111)).

Zhou, A., Wang, S., Cheng, B., Zheng, Z., Yang, F., Chang, R. N., Lyu, M. R. & Buyya, R. (2016). *Cloud service reliability enhancement via virtual machine placement optimization*. IEEE Transactions on Services Computing, 10, 6, 902-913 ([10.1109/TSC.2016.2519898](https://doi.org/10.1109/TSC.2016.2519898)).

Zulqarnain, R. M., Saeed, M., Ahmad, N., Dayan, F. & Ahmad, B. (2020). *Application of TOPSIS method for decision making*. International Journal of Scientific Research in Mathematical and Statistical Sciences, 7, 2, 76-81 (https://www.researchgate.net/publication/342347772_Application_of_TOPSIS_Method_for_Decision_Making).