



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συγκριτική Μελέτη Μεθοδολογιών Πολυκριτήριας
Ανάλυσης Αποφάσεων

Του φοιτητή

Δημήτρη Πέτκου

Αρ. Μητρώου: 06/3082

Επιβλέπων καθηγητής

Βασίλης Κώστογλου

Θεσσαλονίκη 2013

Πρόλογος

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας μου και του θέματος το οποίο ανέλαβα, μαζί με τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Β. Κώστογλου και σε συνεργασία με τον καθηγητή του Πανεπιστημίου Μακεδονίας κ. Ι. Παπαθανασίου κάναμε μία έρευνα πάνω στην Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων (MCDA) σε έναν σχετικά καινούργιο κλάδο της πληροφορικής το Cloud Computing (Υπολογιστική νέφους) και συγγράψαμε μία εργασία με την μεθοδολογία όλης της (MCDA) την οποία παρουσιάσαμε σε επιστημονικό συνέδριο στην Καβάλα στις 11-13 Οκτωβρίου 2012 ενώ είναι υποψήφια για δημοσίευση σε επιστημονικό περιοδικό με τίτλο « a comparative analysis of cloud computing services using multicriteria decision analysis methodologies ».

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζει μία μελέτη των Μεθοδολογιών Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων σε ένα κλάδο της Πληροφορικής το Cloud Computing (Υπολογιστική Νέφος). Αναφέρεται στα χαρακτηριστικά της πολυκριτήριας Ανάλυσης και στις βασικές μεθόδους που την υλοποιούν. Δίνει μία γενική εικόνα του τι είναι το Cloud Computing, ποια η σπουδαιότητα του αλλά και τα χαρακτηριστικά του. Στη συνέχεια, υπάρχει η μεθοδολογία με τον προσδιορισμό των βαρών και την εφαρμογή AHP- Analytical Hierarchy Process (Αναλυτική Διαδικασία Ιεράρχησης). Τέλος, υπάρχει η καταγραφή των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων από την εφαρμογή της AHP.

Λέξεις Κλειδιά: Πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων, Υπολογιστική Νέφος (Cloud Computing), AHP- Analytical Hierarchy Process (Αναλυτική Διαδικασία Ιεράρχησης).

ABSTRACT

This thesis presents a study of Multicriteria Decision Analysis Methodologies in a branch of the Computer Cloud Computing (Cloud Computing). Refers to the characteristics of multicriteria analysis and basic methods to implement. It gives an overview of what is Cloud Computing, what is the importance of and its characteristics. Then there is the methodology to determine the weights and applying AHP-Analytical Hierarchy Process (Analytical Hierarchy Process). Finally there is the reporting of results and conclusions from the application of AHP

Keywords: Multicriteria decision analysis, Cloud Computing, AHP-Analytical Hierarchy Process.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν να ολοκληρώσω τις σπουδές μου. Πάνω από όλα όμως θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για την στήριξη που μου προσφέρανε καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου. Χωρίς την βοήθειά τους και την πίστη τους σε εμένα η ολοκλήρωση των σπουδών μου θα ήταν ανέφικτη.

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Β. Κώστογλου πρώτα από όλα για την συμπαράσταση και την βοήθειά του καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής αλλά προπάντων γιατί μου έδωσε την δυνατότητα, αναθέτοντας μου αυτό το θέμα, να ασχοληθώ με έναν κλάδο εξαιρετικά ενδιαφέρων αλλά και να ζήσω μια υπέροχη εμπειρία συμμετέχοντας σε ένα επιστημονικό συνέδριο λόγω αυτής.

Θα ήθελα τέλος να ευχαριστήσω τον καθηγητή του Πανεπιστημίου Μακεδονίας κ. Ι. Παπαθανασίου που σε συνεργασία με τον κ. Κώστογλου μου δώσανε την ευκαιρία να ασχοληθώ με καινούργια πράγματα πέραν της πτυχιακής εργασίας μου αλλά και για την πολύτιμη βοήθειά του.

Δημήτρης Πέtkος

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	2
Περίληψη	3
ABSTRACT	4
Ευχαριστίες	5
Περιεχόμενα.....	6
1 Εισαγωγή.....	7
2 Πολυκριτήρια ανάλυση.....	9
2.1 Εισαγωγή.....	9
2.2 Χαρακτηριστικά της Πολυκριτήριας Ανάλυσης	11
2.3 Βασικές μέθοδοι	14
2.3.1 Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης Χρησιμότητας	14
2.3.2 Μέθοδοι Τεχνικών Σχέσεων Υπεροχής	21
2.3.3 Μέθοδοι Αναλυτικής – Συνθετικής Προσέγγισης.....	28
2.3.4 Μέθοδοι Πολυκριτήριου Μαθηματικού Προγραμματισμού	33
3 Υπολογιστική νέφους.....	35
3.1 Εισαγωγή.....	35
3.2 Έννοια - Σπουδαιότητα	36
3.2.1 Ουσιώδη χαρακτηριστικά του Cloud Computing.....	37
3.2.2 Μοντέλα υπηρεσίας νέφους.....	38
3.2.3 Μοντέλα ανάπτυξης νέφους.....	38
3.2.4 Σπουδαιότητα	39
3.3 Η εξέλιξη του Cloud Computing	40
3.4 Χαρακτηριστικά του Cloud Computing	42
4 Μεθοδολογία	44
4.1 Εισαγωγή.....	44
4.2 Προσδιορισμός βαρών κριτηρίων	52
4.3 Εφαρμογή ΑΗΡ	55
5 Αποτελέσματα.....	60
6 Συμπεράσματα	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	64

1 Εισαγωγή

Στην εποχή που ζούμε, η οποία είναι μία εποχή κρίσης, στη ζωή των ανθρώπων εμφανίζονται πολλά προβλήματα τα οποία είναι είτε προσωπικού επιπέδου είτε επιπέδου δουλειάς. Ακόμη, τα συνεχόμενα αυτά προβλήματα εμφανίζονται και σε επιχειρηματικά περιβάλλοντα. Για να παρθεί η σωστή απόφαση η οποία θα φέρει και την λύση του προβλήματος είτε σε επίπεδο επιχειρηματικού περιβάλλοντος, που είναι και το πιο συχνό, είτε σε επίπεδο απλού χρήστη, όπως έγινε σε αυτήν εδώ την εργασία, υπάρχει ένα σύνολο μεθοδολογιών που βοηθάνε προς αυτή την κατεύθυνση. Αυτό το σύνολο είναι οι Μεθοδολογίες Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων (MCDA).

Οι μεθοδολογίες (MCDA) ασχολούνται με τη δόμηση των αποφάσεων και με το σχεδιασμό των προβλημάτων που αφορούν πολλαπλά κριτήρια. Συνήθως, υπάρχουν αντικρουόμενα προβλήματα που πρέπει να αξιολογηθούν στη λήψη της απόφασης. Το κόστος ή η τιμή είναι συνήθως κάποια από τα βασικά κριτήρια. Η ποιότητα είναι ένα άλλο κριτήριο το οποίο έρχεται σε αντίθεση με το κόστος. Ένα παράδειγμα το οποίο μπορούμε να αναφέρουμε είναι η αγορά ενός αυτοκινήτου. Όταν θέλουμε να αγοράσουμε ένα αυτοκίνητο επιλέγουμε κάποια κριτήρια όπως το κόστος, την άνεση, την ασφάλεια, την οικονομία καυσίμου κ.α. έτσι ώστε να τα συγκρίνουμε και να καταλήξουμε στην απόφασή μας. Είναι ασυνήθιστο όμως να έχουμε το φθηνότερο αυτοκίνητο το οποίο θα είναι το πιο άνετο και το πιο ασφαλή, εδώ υπάρχουν αντικρουόμενα κριτήρια.

Μία άλλη διάσταση των μεθοδολογιών (MCDA) είναι ότι στη καθημερινότητα των ανθρώπων υπάρχουν πολλά κριτήρια σιωπηρά τα οποία τα ζυγίζουν και παίρνουν αποφάσεις με βάση την διαίσθηση, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να είναι άνετοι με τις τυχόν συνέπειες που θα υπάρξουν. Από την άλλη πλευρά, όταν το διακύβευμα είναι υψηλό, είναι σημαντικό το πρόβλημα να διαρθρωθεί σωστά και να αξιολογηθούν ρητά τα κριτήρια. Κατά τη λήψη της απόφασης για τη κατασκευή ενός πυρηνικού σταθμού ή όχι και πώς να κτιστεί, δεν υπάρχουν μόνο περίπλοκα ζητήματα που αφορούν πολλαπλά κριτήρια αλλά υπάρχουν επίσης πολλά μέρη που επηρεάζονται βαθιά από τις συνέπειες.

Γενικά, η Δόμηση-Ανάλυση και τα σύνθετα προβλήματα τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους πολλαπλά κριτήρια οδηγούν σε πιο συνειδητοποιημένες και καλύτερες αποφάσεις.

Στα πλαίσια των μεθοδολογιών (MCDA) να δοθεί και να αναλυθεί ένα πρόβλημα, το οποίο είναι από την πλευρά του απλού χρήστη και όχι από ένα επιχειρηματικό περιβάλλον. Το πρόβλημα έχει σαν βάση ένα σχετικά καινούργιο κλάδο της Πληροφορικής, την Υπολογιστική Νέφους (Cloud Computing) και πιο συγκεκριμένα τη νεπιλογή ενός παρόχου για τις υπηρεσίες που προτιμούμε να μας προσφέρει. Επιλέχθηκε η Υπολογιστική Νέφους (Cloud Computing) διότι στις

μέρες μας το Internet θεωρείται πλέον ένα βασικό εργαλείο για οποιαδήποτε χρήση και το Cloud Computing ουσιαστικά είναι χρήση των υπολογιστικών πόρων, υλικού και λογισμικού (Hardware & Software) , που παραδίνονται ως υπηρεσία μέσω ιδιωτικού δικτύου ή συνήθως του Διαδικτύου (Internet). Επιλέγεται η μεθοδολογία προγραμματισμού στόχων ως εργαλείο ανάλυσης του προβλήματος και ανάδειξης των κύριων συνιστωσών του. Ωστόσο, επιλέγεται η μέθοδος της Αναλυτικής Διαδικασίας Ιεράρχησης (AHP – Analytical Hierarchy Process) ως μέθοδος αξιολόγησης και κατάταξης των προς εξέταση εναλλακτικών επιλογών. Τέλος, καταλήγει σε μία αναφορά των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων όλης της έρευνας.

2 Πολυκριτήρια ανάλυση

2.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία 30 χρόνια, στο πλαίσιο της Επιχειρησιακής Έρευνας και της Επιστήμης των αποφάσεων, αναπτύσσεται με εντυπωσιακά ταχείς ρυθμούς η περιοχή της Πολυκριτήριας Λήψης ή Υποστήριξης Αποφάσεων - Multi-Criteria Decision Making ή Decision Support (MCDM ή MCDS).

Ξεκινώντας από πολύ παλιά, η πιο πρώιμη αναφορά που υπάρχει και έχει σχέση με την Πολυκριτήρια Ανάλυση έχει αποτυπωθεί από τον Βενιαμίν Φρανκλίνο (1700-1790) ο οποίος είχε δημιουργήσει ένα σύστημα χρησιμοποιώντας μία απλή κόλα χαρτί για να παίρνει τις αποφάσεις του σε σημαντικά θέματα. Έπαιρνε ένα φύλο χαρτί, από την μία πλευρά έγγραφε τα επιχειρήματα τα οποία ήταν τα θετικά ως προς την απόφαση που θα έπαιρνε ενώ από την άλλη πλευρά έγγραφε τα αρνητικά. Στη συνέχεια διέγραφε τα επιχειρήματα από κάθε πλευρά του χαρτιού τα οποία είχαν σχετικά ίση σημαντικότητα μεταξύ τους. Όταν όλα τα επιχειρήματα από την μία πλευρά είχαν διεγραφεί η πλευρά η οποία είχε τα εναπομείναντα, ήταν η πλευρά η οποία θα έπρεπε να υποστηρίξει. Αυτό το σύστημα, το οποίο το χρησιμοποιούσε ο Φρανκλίνος για να παίρνει σημαντικές αποφάσεις, θεωρείται από κάποιους ως η αρχή της Πολυκριτήριας Ανάλυσης.

Από την δεκαετία του '50 και του '60 έχουν προταθεί και αναπτυχθεί πολλές θεωρητικές προσεγγίσεις, προσφέροντας λύσεις στο πρόβλημα της πολυκριτηριακής λήψης αποφάσεων με διαφορετικούς τρόπους. Ωστόσο, η ανάπτυξη της τέλει μεθοδολογίας λήψης αποφάσεων για ορθολογιστική λήψη αποφάσεων σε πραγματικά προβλήματα της καθημερινότητας παραμένει ένας ασύλληπτος στόχος.

Στις μέρες μας, η Πολυκριτήρια Ανάλυση αποτελεί μια συστηματική λογική και μαθηματική προσέγγιση που βοηθά τους αποφασίζοντες να επιλύσουν διλήμματα που προκύπτουν από την επιδίωξη πολλών αντιμαχόμενων στόχων στη λήψη των αποφάσεων. Η Πολυκριτήρια Ανάλυση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους και ταχύτερα εξελισσόμενους χώρους της Επιχειρησιακής Έρευνας, με αντικείμενο την αντιμετώπιση προβλημάτων όπου η λήψη αποφάσεων προσδιορίζεται βάσει πολλαπλών κριτηρίων και στόχων, που έχουν συνήθως μια ανταγωνιστική σχέση μεταξύ τους.

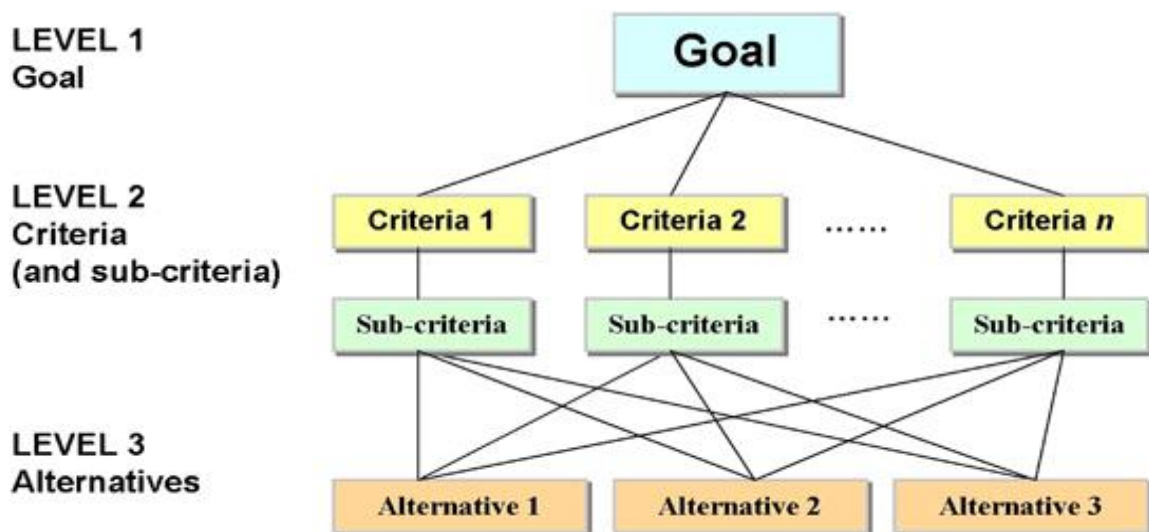
Η MCDM ορίζεται από την International Society on Multiple Criteria Decision Making, ως εξής:

<<Η Πολυκριτηριακή Λήψη Αποφάσεων (MCDM) είναι η μελέτη των μεθόδων και των διαδικασιών αυτών με τις οποίες το ενδιαφέρον για πολλαπλά αλληλοσυγκρουόμενα κριτήρια μπορεί επισήμως να ενσωματωθεί στην διαδικασία διοικητικού προγραμματισμού>>.

Η πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων είναι επίσης γνωστή με τις εξής ορολογίες:

- ✚ Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA)
- ✚ Πολυδιάστατη Λήψη Αποφάσεων (Multi-Dimensions Decision Making, MDDM)
- ✚ Λήψη Αποφάσεων Πολλαπλών Ιδιοτήτων (Multi-Attributes Decision Making, MADM)

Η Πολυκριτήρια ανάλυση δεν αποτελεί μια μεθοδολογία εύρεσης της άριστης λύσης στην περίπτωση αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια, γιατί άριστη λύση δεν υπάρχει. Η ικανοποίηση των στόχων της απόφασης δεν μπορεί να είναι πλήρης, γιατί δεν υπάρχει λύση που να εμφανίζει τις καλύτερες επιδόσεις σε όλα τα κριτήρια. Αν γινόταν αυτό τότε δεν θα υπήρχε πρόβλημα απόφασης. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν, εκτός από τη σύγκριση των στόχων-κριτηρίων, υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα στη μέτρηση των επιδόσεων των εναλλακτικών λύσεων σε κάθε κριτήριο ή στη διατύπωση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα. Επίσης, μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση των διαφωνιών που προκύπτουν όταν στην απόφαση εμπλέκονται πολλοί αποφασίζοντες, ο καθένας με διαφορετικό σύστημα προτιμήσεων, με την έννοια του συμβιβασμού. Ο συμβιβασμός πραγματοποιείται μεταξύ των αποφασιζόντων που αποδέχονται πιθανά επιπλέον απομάκρυνση από κάποιον στόχο προκειμένου να επιτευχθεί συναίνεση ως μια αποδεκτή λύση.



Σχήμα 1 Η έννοια του συμβιβασμού

Η χρησιμότητα της Πολυκριτήριας Ανάλυσης έγκειται στο ότι βοηθάει τον αποφασίζοντα να οργανώνει τις διαθέσιμες πληροφορίες, να σκεφθεί συστηματικά για τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε λύσης, να συνειδητοποιήσει τις προτιμήσεις και ανοχές του, έτσι ώστε να είναι σε θέση να κάνει τους λιγότερους οδυνηρούς συμβιβασμούς και να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες να μετανιώσει για την επιλογή που θα πραγματοποιήσει.

2.2 Χαρακτηριστικά της Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Η Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων (Multi-Criteria Decision Analysis ή MCDA) είναι μία μορφή πολυκριτήριας ανάλυσης με πολύ ευρεία εφαρμογή, τόσο στο Δημόσιο όσο και στον Ιδιωτικό τομέα. Ο στόχος της είναι να βοηθήσει στη λήψη των αποφάσεων και όχι να λάβει την απόφαση. Συγχρόνως, είναι μία μεθοδολογική προσέγγιση και ένα σύνολο τεχνικών με στόχο την ιεράρχηση διαφορετικών εναλλακτικών από την καλύτερη μέχρι τη χειρότερη. Η βασική υπόθεση της προσέγγισης αυτής όμως είναι, οι αποφασίζοντες πρέπει να είναι συνεπείς κατά τη λήψη των αποφάσεων και όσο το δυνατόν να μην επιδιώκουν να λαμβάνουν αποφάσεις οι οποίες είναι αντικρουόμενες μεταξύ τους. Αυτή την προσέγγιση την διέπουν τρία βασικά αξιώματα τα οποία έχουν επεκταθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να καλύψουν την ανάλυση πολλαπλών στόχων. Αυτά είναι τα εξής:

- ✚ Η ύπαρξη πιθανοτήτων. Αριθμοί που περιγράφουν το ποσοστό πραγματοποίησης των ενδοχόμενων.
- ✚ Η ύπαρξη της χρησιμότητας. Αριθμοί που εκφράζουν την υποκειμενική αξία του ενδεχόμενου κατά τον αποφασίζοντα, με βάση τη διάθεση κινδύνου που έχει.
- ✚ Οδηγός στη λήψη αποφάσεων. Σύμφωνα με αυτόν λαμβάνεται η απόφαση η οποία παρουσιάζει το μεγαλύτερο άθροισμα των σταθμισμένων, μέσω των πιθανοτήτων) χρησιμότητων.

Εκτός όμως από τις βασικές αρχές υπάρχουν και κάποια βήματα, τα οποία τα ακολουθούν οι αποφασίζοντες σαν μία μεθοδολογία για να φτάσουν στη λύση του προβλήματός τους. Αυτά τα βήματα θα αναλύσουμε παρακάτω.

Καθορισμός Πλαισίου Απόφασης

Το βασικότερο στοιχείο αυτού του βήματος είναι ο καθορισμός των στόχων από αυτόν ή αυτούς που θα λάβουν την τελική απόφαση, αφού η επίτευξη των στόχων θα επιφέρει και την λύση του προβλήματος. Ένας βασικός στόχος είναι πιθανό να διασπαστεί σε επιμέρους στόχους, ενώ είναι πιθανόν κάποιοι από αυτούς τους στόχους να αντιτίθενται σε άλλους. Κατά την διάρκεια της ανάλυσης οι στόχοι μπορούν να αλλάξουν, εάν υπάρξουν νέα δεδομένα, παρόλα αυτά ο αρχικός καθορισμός των στόχων είναι απαραίτητο βήμα ώστε να καθοδηγηθεί σωστά η ανάλυση. Τέλος, ο καθορισμός εσφαλμένων στόχων καθιστά όλη την ανάλυση λάνθασμένη.

Ένα άλλο στοιχείο είναι ο καθορισμός των αποφασιζόντων. Για να καθοριστούν οι στόχοι πρέπει να προσδιοριστούν οι αποφασίζοντες που μπορούν να επηρεάσουν ή να επηρεαστούν από την απόφαση. Ο βασικός συμμετέχοντας είναι όποιος μπορεί να έχει ουσιαστική συνεισφορά στο αποτέλεσμα της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων. Οι βασικοί συμμετέχοντες θα πρέπει εκ των προτέρων να λάβουν υπόψη τους όλες τις οπτικές γωνίες που θα πρέπει να ληφθούν στην απόφαση. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις στη διαδικασία της ανάλυσης

συμμετέχουν εμπλεκόμενοι οι οποίοι δεν έχουν κάτι να κερδίσουν, αλλά χρειάζεται η συμμετοχή τους λόγω της εξειδικευμένης γνώσης τους σε ζητήματα που είναι σημαντικά για την τελική απόφαση.

Ο Σχεδιασμός ενός κοινωνικού αλλά και τεχνολογικού συστήματος, είναι και αυτό ακόμα ένα στοιχείο. Η Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον αρμονικό συνδυασμό κοινωνικών και τεχνολογικών παραμέτρων και έτσι δίνει πολύ μεγάλη προσοχή.

Αναγνώριση Εναλλακτικών Επιλογών

Γενικά ένας φυσιολογικός άνθρωπος μπορεί να εντοπίσει πολύ λιγότερες εναλλακτικές λύσεις όταν βρίσκεται υπό το καθεστώς απειλής ενώ μπορεί να εντοπίσει περισσότερες όταν εξετάζει δυνητικές ευκαιρίες. Άρα αυτοί που εμπλέκονται στην διαδικασία ανάλυσης θα πρέπει να μπορούν να επεκτείνουν τις επιλογές τους μέχρι την ολοκλήρωση της διαδικασίας, αν αυτό κριθεί αναγκαίο και αξίζει τον κόπο. Οι εναλλακτικές επιλογές σπάνια είναι δεδομένες, τις περισσότερες φορές ισχύει το αντίθετο και για αυτό χρειάζεται συστηματική εργασία για την αναγνώρισή τους. Ακόμα όμως και όταν είναι δεδομένες, αξίζει να πραγματοποιείται μία πιο εις βάθος διερεύνηση η οποία θα οδηγήσει σε νέες εναλλακτικές οι οποίες είχαν παραμεληθεί στην αρχή.

Αναγνώριση Κριτηρίων Αξιολόγησης

Σαν μία γενική εικόνα μπορούμε να πούμε ότι εκφράζουν τις βασικές αξίες ενός οργανισμού. Τα κριτήρια είναι συγκεκριμένοι στόχοι που συνδέονται με συνέπειες που ενδιαφέρουν τον αποφασίζοντα και δεν πρέπει να συγχέονται με τα μέσα που επιτρέπουν την επιτευξή τους. Μπορούν να δομηθούν ιεραρχικά διατηρώντας σχέσεις γονέα – παιδιού. Επίσης, εκφράζουν τον τρόπο με τον οποίο οι εναλλακτικές επιλογές μπορούν να προσφέρουν αξία. Η βαθμολόγηση των κριτηρίων με βάση τον βαθμό επίτευξης των στόχων υψηλότερου επιπέδου μπορεί να διευκολυνθεί με την οργάνωσή τους σε ομοειδής κατηγορίες. Η κατηγοριοποίηση τους αυτή ονομάζεται και δέντρο αξίας το οποίο διευκολύνει τη δημιουργική σκέψη και τον εντοπισμό νέων εναλλακτικών επιλογών που θα μπορούσαν να μειώσουν τις αντιθέσεις μεταξύ των στόχων.

Βαθμολόγηση Εναλλακτικών σε Κάθε Κριτήριο

Η βαθμολόγηση των εναλλακτικών υποχρεώνει τον αποφασίζοντα να κατασκευάσει μία κλίμακα που να αντιπροσωπεύει τις επιλογές σε σχέση με τις συνέπειες. Αν είναι παραπάνω από μία η κλίμακες, να τις <<ζυγίσει>> με βάση την εκάστοτε σημαντικότητά τους αλλά και να υπολογίσει τους σταθμισμένους μέσους όρους με βάση τις καθορισμένες κλίμακες. Η πιο συνήθης πρακτική είναι η χρησιμοποίηση 100βάθμιας κλίμακας, όπου η πιο προτιμητέα επιλογή λανθάνει την τιμή 100 και η λιγότερο προτιμητέα την τιμή 0. Τέλος, στις περιπτώσεις όπου υφίσταται πρότυπα, είναι καλύτερα να χρησιμοποιείται η βαθμολόγηση με σταθερή κλίμακα (fixed scale).

Έλεγχος Συνέπειας Βαθμολογιών σε Κάθε Κριτήριο

Ο έλεγχος συνέπειας των βαθμολογιών πρέπει να διεξάγεται όχι μόνο κατά την διαδικασία της βαθμολόγησης αλλά και μετά το τέλος της. Αυτό εξασφαλίζει την εγκυρότητα όλης της διαδικασίας ζπιλογής. Περιπτώσεις ασυνέπειας εμφανίζονται συνήθως μεταξύ διαφορετικών κριτηρίων.

Εξέταση Αποτελεσμάτων

Η βαθμολόγηση της πολυκριτήριας ανάλυσης που γίνεται στις επιλογές, οι οποίες έχουν φθίνουσα ταξινόμηση, φανερώνει με σειρά προτίμησης τις εναλλακτικές επιλογές καθώς και την απόσταση των επιλογών μεταξύ τους.

Διεξαγωγή Ανάλυσης Ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας εντοπίζει τις λίγες δυνατές εναλλακτικές που υπάρχουν και αποκαλύπτει πιθανές εναλλακτικές που είναι σχεδόν ισοδύναμες. Ακόμα μπορεί να αποκαλύψει τρόπους με τους οποίους οι εναλλακτικές μπορούν να βελτιωθούν. Αυτή η διαδικασία μπορεί να διεξαχθεί με προσαρμογή των βαρυτήτων των κριτηρίων αλλά και με προσαρμογή των βαθμολογιών σε περιπτώσεις όπου υπάρχει διαφωνία μεταξύ εμπλεκομένων στη διαδικασία βαθμολόγησης.

Γενικά, η Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων αποσυνθέτει ένα σύνθετο πρόβλημα, ελέγχει εάν οι διαθέσιμες εναλλακτικές ικανοποιούν τους επιμέρους στόχους, δίνει βαρύτητες στους στόχους και επανασυνθέτει τα τμήματα του προβλήματος. Υπάρχουν όμως διάφορες ταξινομήσεις ανάμεσα στα προβλήματα της MCDA. Μία μείζοντος σημασίας διάκριση ανάμεσα στα προβλήματα MCDA βασίζεται στο κατά πόσο οι λύσεις είναι ρητά ή σιωπηρά ορισμένες.

Πολυκριτήρια προβλήματα αξιολόγησης (Multiple-Criteria Evaluation Problems):

Αυτά τα προβλήματα αποτελούνται από πεπερασμένο αριθμό εναλλακτικών, οι οποίες εναλλακτικές είναι γνωστές από την αρχή της διαδικασίας λύσης. Κάθε εναλλακτική λύση αναπαριστάται σε πολλαπλά κριτήρια ανάλογα με την απόδοσή της. Το πρόβλημα μπορεί να οριστεί ψάχνοντας την καλύτερη εναλλακτική λύση για την λήψη αποφάσεων ή βρίσκοντας μία σειρά από εναλλακτικές. Επίσης, μπορεί να υπάρξει ενδιαφέρον για <<διαλογή>> ή <<ταξινόμηση>> των εναλλακτικών. Η ταξινόμηση αναφέρεται στη τοποθέτηση των εναλλακτικών σε μια σειρά προτίμησης.

Πολυκριτήρια προβλήματα σχεδιασμού (Multiple-Criteria Design Problems ή

Multiple Objective Mathematical Programming Problems): Σε αυτά τα προβλήματα οι εναλλακτικές λύσεις δεν είναι ρητά γνωστές από την αρχή του προβλήματος. Μία εναλλακτική λύση μπορεί να βρεθεί από την επίλυση ενός μαθηματικού μοντέλου. Ο αριθμός των εναλλακτικών είτε είναι άπειρος και μη μετρήσιμος, όταν κάποιες μεταβλητές είναι συνεχείς, είτε συνήθως πολύ μεγάλος αν οι εναλλακτικές είναι μετρήσιμες, όταν όλες οι μεταβλητές είναι διακριτές.

Είτε πρόκειται για ένα πρόβλημα αξιολόγησης είτε για ένα πρόβλημα σχεδιασμού είναι αναγκαίες οι πληροφορίες για τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα προκειμένου να γίνει διάκριση μεταξύ των λύσεων.

2.3 Βασικές μέθοδοι

Με την συνεχή ανάπτυξη και εξάπλωση των Πολυκριτήριων MCDA μεθόδων καθώς και των παραλλαγών τους, είναι σημαντική η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της καθεμίας και η ανάδειξη των κύριων χαρακτηριστικών τους.

Οι Πολυκριτήριες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση προβλημάτων με πολλαπλούς στόχους και κριτήρια αρχικά χωρίζονται σε 4 βασικές κατηγορίες οι οποίες είναι οι εξής:

- ✚ Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης Χρησιμότητας
- ✚ Μέθοδοι Τεχνικών Σχέσεων Υπεροχής
- ✚ Μέθοδοι Αναλυτικής – Συνθετικής Προσέγγισης
- ✚ Μέθοδοι Πολυκριτήριου Μαθηματικού Προγραμματισμού

Παρακάτω θα αναλυθούν και οι 4 βασικές κατηγορίες, η κάθε μία σε ξεχωριστό υποκεφάλαιο, αλλά και για την κάθε μία κατηγορία θα αναφερθούν συγκεκριμένες μέθοδοι υλοποίησης που αντιστοιχούν.

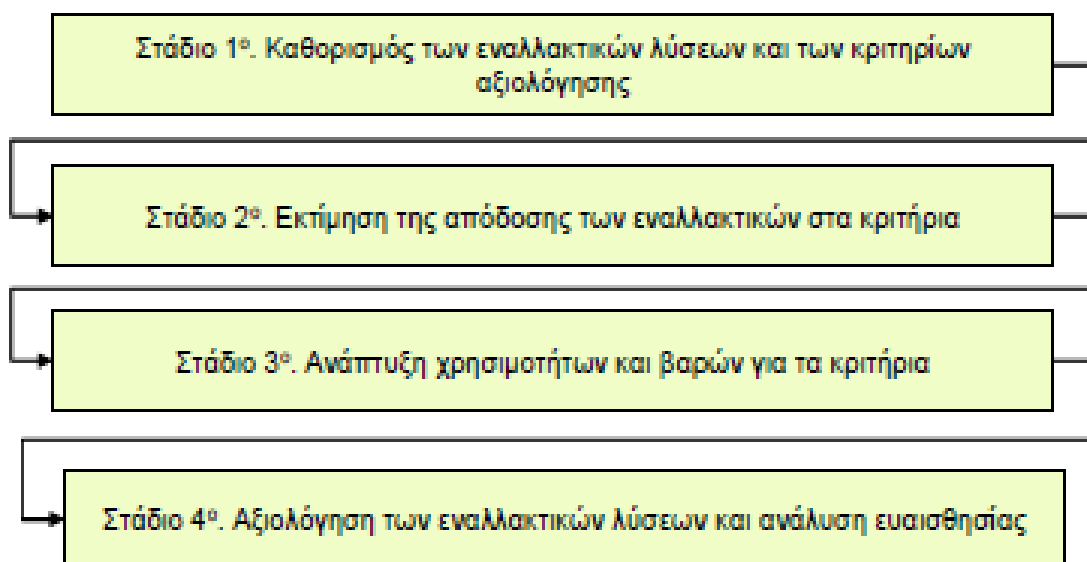
2.3.1 Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης Χρησιμότητας

Η Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας (Multiattribute Utility Theory) αποτελεί μια από τις πλέον κλασσικές προσεγγίσεις της Πολυκριτήριας Ανάλυσης (Keeney & Raiffa, 1976). Στοχεύει στην αναπαράσταση του συστήματος αξιών που συνειδητά ή ασυνειδητά ακολουθεί ο αποφασίζων. Η αναπαράσταση αυτή γίνεται με την χρήση μιας κατάλληλης συνολικής συνάρτησης χρησιμότητας. Ζητούμενο λοιπόν είναι ο προσδιορισμός της συνάρτησης αυτής και των ιδιοτήτων της. Με αυτό τον

τρόπο γίνεται ο εντοπισμός εκείνων των εναλλακτικών που αποδίδουν καλύτερα στην πλειονότητα των κριτηρίων, ενώ ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε κριτήρια τα οποία φέρονται ως πιο σημαντικά.

Σκοπός της πολυκριτήριας θεωρίας σκοπιμότητας είναι η μοντελοποίηση και αναπαράσταση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα μέσω μιας συνάρτησης χρησιμότητας $U(g)$ η οποία συνθέτει όλα τα επιμέρους κριτήρια αξιολόγησης. Για την τελική αξιολόγηση των εναλλακτικών απαιτούνται μια σειρά στοιχείων, ή εκτιμήσεων όταν αυτά δεν υπάρχουν, για το μέτρο απόδοσης των εναλλακτικών στα διάφορα κριτήρια. Έτσι, οι εναλλακτικές ιεραρχούνται ανάλογα με την <<αξία>> που προσδίδουν στη συνολική συνάρτηση χρησιμότητας, η οποία καθορίζεται από τις επιμέρους αποδόσεις τους στο σύνολο των κριτηρίων. Η εφαρμογή της πολυκριτήριας θεωρίας χρησιμότητας για την αξιολόγηση ενός συνόλου εναλλακτικών μπορεί να αναλυθεί σε τέσσερα επιμέρους στάδια όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Ο καθορισμός των εναλλακτικών, των

κριτηρίων και η εύρεση του μέτρου απόδοσης των εναλλακτικών στα παραπάνω κριτήρια αποτελούν κλασσικές διαδικασίες όλων των τεχνικών πολυκριτήριας ανάλυσης. Η διαφοροποίηση της πολυκριτήριας θεωρίας χρησιμότητας έγκειται στον τρόπο που τα δεδομένα αυτά αξιολογούνται για την τελική κατάταξη των εναλλακτικών. Αυτό γίνεται με τον προσδιορισμό της κατάλληλης συνάρτησης χρησιμότητας.



Σχήμα 2 Τα τέσσερα στάδια της Πολυκριτήριας Θεωρίας Χρησιμότητας

Γενικά, οι επιμέρους συναρτήσεις μερικών χρησιμοτήτων U είναι μη γραμμικές αύξουσες συναρτήσεις, ορισμένες στο πεδίο τιμών των αντίστοιχων κριτηρίων, οι οποίες ανταποκρίνονται στις ακόλουθες ιδιότητες:

$$U(g_x) > U(g_{x'}) \square x > x'$$

$$U(g_x) = U(g_{x'}) \square x \sim x'$$

και έχουν τη μορφή:

$$U(g) = U(g_1, g_2, \dots, g_n)$$

όπου g είναι το διάνυσμα των κριτηρίων g_1, g_2, \dots, g_n αντίστοιχα. Στην περίπτωση όπου g_1 και g_2 είναι τα επιμέρους κριτήρια ή στόχοι, $U(g_1)$ και $U(g_2)$ οι επιμέρους συναρτήσεις μερικών χρησιμοτήτων, τότε η συνολική χρησιμότητα εκφράζεται από μια συνάρτηση $U(g_1, g_2)$, η μορφή της οποίας μπορεί να προσδιορισθεί. Ο προσδιορισμός της τελικής συνάρτησης χρησιμότητας γίνεται με τον καθορισμό

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1.$$

του επιπέδου σημαντικότητας των κριτηρίων και της μορφής των συναρτήσεων των μερικών χρησιμοτήτων. Οι συντελεστές βαρύτητας p υπακούουν στον κανόνα

ή πιο απλά το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας είναι 1 (δεν επιτρέπονται αρνητικές τιμές). Έτσι, σε περίπτωση όπου ένα κριτήριο πρέπει να ενισχυθεί, ένα άλλο πρέπει να αποδυναμωθεί. Κατά συνέπεια, τα βάρη των κριτηρίων μεταβάλλονται ανάλογα με το μέγεθος των *παραχωρήσεων* που είναι διατεθειμένος να κάνει ο αποφασίζων, προκειμένου να ενισχύσει ή να αποδυναμώσει κάποιο κριτήριο. Η πλέον διαδεδομένη μορφή συνολικής συνάρτησης χρησιμότητας είναι η προσθετική, η οποία εκφράζεται από τη σχέση:

$$U(g) = p_1 u_1(g_1) + p_2 u_2(g_2) + \dots + p_n u_n(g_n)$$

όπου,

- u_i οι συναρτήσεις μερικών χρησιμοτήτων των κριτηρίων g_i ,
- $u_i g_i$ οι συναρτήσεις μερικής χρησιμότητας που καθορίζουν την χρησιμότητα των εναλλακτικών δράσεων βάσει των επιδόσεων τους στο κριτήριο g_i

και,

- p_i οι σταθερές (βάρη) που υποδηλώνουν τη σημαντικότητα των κριτηρίων.

Η βασική προϋπόθεση για την χρησιμοποίηση προσθετικών συναρτήσεων είναι η αμοιβαία *προτιμησιακή ανεξαρτησία* (mutual preferential independence) των κριτηρίων αξιολόγησης. Ένα υποσύνολο g' του συνόλου των κριτηρίων ($g' \subset g$), θεωρείται ότι είναι προτιμησιακά ανεξάρτητο των υπολοίπων κριτηρίων, εάν και μόνο εάν, οι προτιμήσεις του αποφασίζοντος σχετικά με τις εξεταζόμενες εναλλακτικές που διαφέρουν μόνο ως προς τα κριτήρια g' δεν επηρεάζονται από τα υπόλοιπα κριτήρια. Το σύνολο g των κριτηρίων θεωρείται ότι πληροί την προϋπόθεση της αμοιβαίας προτιμησιακής ανεξαρτησίας, εάν και μόνο εάν κάθε υποσύνολο $g' \subset g$ είναι προτιμησιακά ανεξάρτητο των υπολοίπων κριτηρίων. Σε περίπτωση όπου δεν ισχύει η προτιμησιακή ανεξαρτησία των κριτηρίων θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί άλλη μορφή χρησιμότητας, όπως για παράδειγμα η πολλαπλασιαστική, η οποία είναι της μορφής:

$$U(g_1, g_2) = p_1 U_1(g_1) + p_2 U_2(g_2) + p_1 p_2 U_1(g_1) U_2(g_2)$$

υπό την προϋπόθεση της ανεξαρτησίας των χρησιμοτήτων (utility independence).

2.3.1.1 Μέθοδος MAUT (Multi Attribute Utility Theory)

Η μέθοδος MAUT είναι μια μεθοδολογία που σκοπεύει στην επιλογή της βέλτιστης λύσης, μεταξύ περισσότερων της μιας εναλλακτικών σε καταστάσεις όπου τα αποτελέσματα της απόφασης δεν είναι γνωστά με βεβαιότητα.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται με σκοπό να βοηθήσει τον αποφασίζοντα έτσι ώστε να αποκτήσει μια καλύτερη αντίληψη και εποπτικότητα στις αποφάσεις (π.χ. παράγοντες και προτεραιότητες) και δεν αποσκοπεί στην ανακάλυψη, ή την απόδειξη της αλήθειας (Bouysou 1990).

Η μέθοδος MAUT ως μαθηματικό μοντέλο

Τα βασικά στοιχεία μίας πολυκριτήριας μεθόδου περιλαμβάνουν :

- ✚ Μία αριθμητική τιμή της συνολικής χρησιμότητας μίας επιλογής
- ✚ Βάρη καθορισμένα σε μεμονωμένα χαρακτηριστικά
- ✚ Μέτρα της απόδοσης των επιλογών έναντι των χαρακτηριστικών
- ✚ Ένα προσθετικό κανόνα που να περικλείει όλα τα μέτρα απόδοσης

Έτσι, είναι:

$$U_Y = \sum_i w_i u_{i,Y}$$

όπου U_Y είναι η συνολική χρησιμότητα (ή τιμή) του προϊόντος Y , Σ ο προσθετικός κανόνας (που δεν είναι πάντοτε ένα άθροισμα), w_i το βάρος του χαρακτηριστικού i , και $u_{i,Y}$ η χρησιμότητα του προϊόντος Y σε σχέση με το i . Η U_Y είναι στην ουσία η συνάρτηση που υπολογίζει την περιοχή που "ταιριάζει" στα κριτήρια αξιολόγησης. Αυτή η κεντρική ιδέα έχει πολλές παραλλαγές.

Όσον αφορά την χρησιμότητα, αυτή για να αθροιστεί πρέπει πρώτα να προσδιοριστεί ποσοτικά:

- ✚ Πιο συχνά μία απλή συνάρτηση από μέτρα χρησιμότητας επαρκεί
- ✚ Η διαδικασία αυτή βασίζεται στην κρίση του καθενός
- ✚ Πειθαρχία στην απόκτηση των μέτρων των προϊόντων και συνεπής χρήση των συναρτήσεων μετατροπής μπορεί να αποτρέψει την ομοιότητα της λογικής.

2.3.1.2 Μέθοδος MAVT (Multi Attribute Value Theory)

Η μέθοδος MAVT είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση για την λύση πολυκριτηριακών προβλημάτων κατάταξης. Το βασικό μοντέλο MAVT παρουσιάζεται παρακάτω:

$$V(X_j) = \sum_{i=1}^n w_i v_i(x_{ij})$$

όπου $V(X_j)$ είναι η συνολική συνάρτηση προσθετικής αξίας για το υποψήφια εναλλακτική j , w_i το βάρος που καθορίζεται για το κριτήριο i , v_i η (Μία λεπτομερής ανάλυση για την πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων βρίσκεται στο Perlack et al., *Prototype Framework for R&D Decisions*, Working Draft, Oak Ridge National Laboratory, December 1994) συνάρτηση που χαρακτηρίζει το x_i , όπου x_i είναι το μέτρο του χαρακτηριστικού i για την εναλλακτική j , και n ο αριθμός των κριτηρίων.

Το μοντέλο γίνεται λειτουργικό με τα ακόλουθα βήματα :

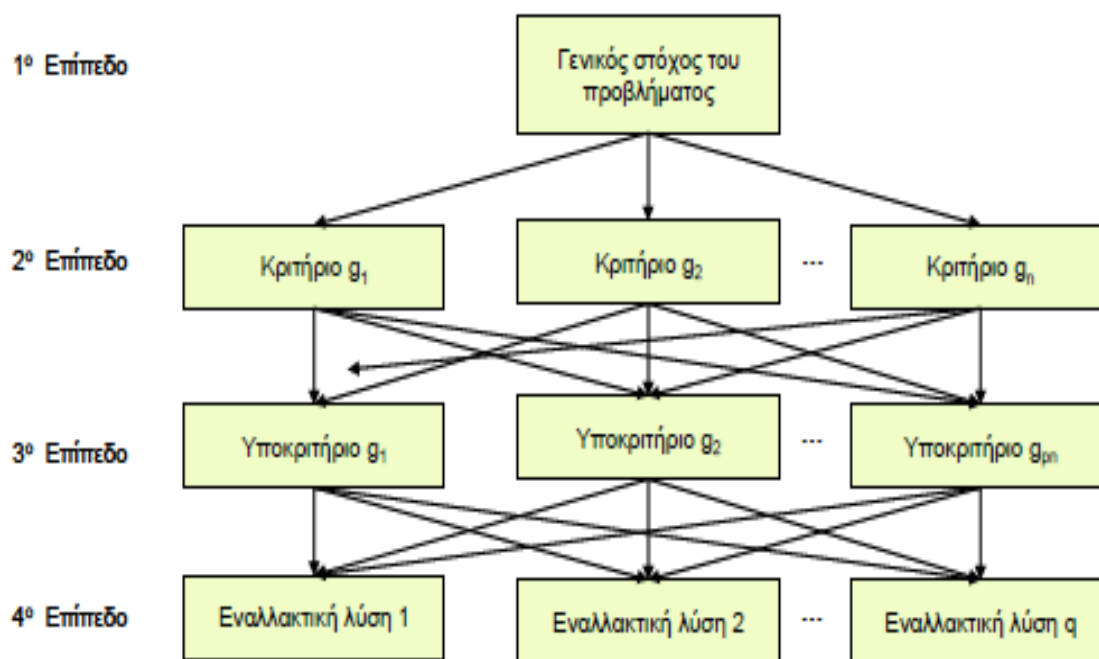
- ✚ Ορισμός υποψήφιων εναλλακτικών και κριτηρίων απόφασης (ιεραρχία)
- ✚ Αξιολόγηση κάθε εναλλακτικής ξεχωριστά για κάθε κριτήριο
- ✚ Καθορισμός βαρών για τα κριτήρια
- ✚ Άθροισμα των βαρών των κριτηρίων και των αξιολογήσεων των εναλλακτικών για κάθε κριτήριο ξεχωριστά, έτσι ώστε να αποκτηθεί ένα συνολικό μέτρο της τιμής ή της αξίας (πχ συνάρτηση προσθετικής αξίας)
- ✚ Διεξαγωγή αναλύσεων ευαισθησίας
- ✚ Κατάταξη των εναλλακτικών και καθορισμός του πιθανού μεγέθους αγοράς

Όταν κατάλληλες συναρτήσεις κλίμακας αναπτυχθούν και κάθε εναλλακτική αξιολογηθεί, καθορίζονται τα βάρη για τα κριτήρια. Η αρχική κατάταξη που προκύπτει μπορεί να αλλάξει με αλλαγή και καθαρισμό των δεικτών των κριτηρίων. Επίσης, οι κατατάξεις είναι ευαίσθητες στην επιλογή των βαρών. Διαφορετικά βάρη θα οδηγήσουν σε διαφορετικές κατατάξεις.

2.3.1.3 Μέθοδος της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (Analytical Hierarchy Process - AHP)

Η Διαδικασία της Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytical Hierarchy Process-AHP) αναπτύχθηκε από τον Saaty στα 1980 για την αντιμετώπιση προβλημάτων απόφασης με σύνθετα κριτήρια (Saaty, 1980). Πιο συγκεκριμένα η AHP αντιμετωπίζει το πρόβλημα της κατανομής των βαρών (weights) σε ένα σύνολο από δραστηριότητες, σύμφωνα με το βαθμό σημαντικότητάς τους. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιούνται δυαδικές συγκρίσεις και αναπτύσσεται μια κλίμακα προτίμησης μεταξύ των δραστηριοτήτων με βάση τις εκτιμήσεις των αποφασιζόντων. Αυτή η διαδικασία καταλήγει στη δημιουργία ενός πίνακα βαρών και ενός πίνακα εκτιμήσεων για κάθε κριτήριο. Μέσα από επιμέρους διαδικασίες, το αρχικό πρόβλημα διασπάται σε επιμέρους τμήματα ή μεταβλητές, οι μεταβλητές

ταξινομούνται ιεραρχικά δίνοντας αριθμητικές τιμές στις εκτιμήσεις της σχετικής σημαντικότητας και τέλος, γίνεται η σύνθεση των εκτιμήσεων προκειμένου να προσδιοριστεί ποια μεταβλητή έχει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα/επιρροή στο αποτέλεσμα. Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται σε προβλήματα επιλογής όταν το σύνολο των εναλλακτικών λύσεων αποτελείται από διακριτές εναλλακτικές. Με την κατάλληλη δόμηση του μοντέλου του προβλήματος, η AHP μπορεί να αποτελέσει ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο ταξινόμησης των εναλλακτικών.



Σχήμα 3 Ιεραρχική δόμηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων μέσω της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης

Η AHP περιλαμβάνει τέσσερα στάδια. Το πρώτο στάδιο αφορά στην ιεραρχική δόμηση του αρχικού προβλήματος, δηλαδή την τοποθέτηση των στόχων, κριτηρίων και υποκριτηρίων σε επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα, στο πρώτο επίπεδο τοποθετείται ο γενικός στόχος του προβλήματος, στο δεύτερο επίπεδο τα κριτήρια της απόφασης και στο τρίτο τα υποκριτήρια. Σε περίπτωση που κάποιο από τα υποκριτήρια αναλύεται σε επιμέρους, τότε στην ιεραρχία προστίθενται επιπλέον επίπεδα. Στο τελευταίο επίπεδο αντιστοιχούν οι διαθέσιμες εναλλακτικές. Το δεύτερο στάδιο αφορά στην εισαγωγή των δεδομένων από τον αποφασίζοντα με τη μορφή δυαδικών συγκρίσεων (καθορισμός σχετικών εκτιμήσεων). Ειδικότερα, για κάθε επίπεδο ο αποφασίζων εκτιμά το πόσο πιο σημαντικό είναι ένα κριτήριο (ή υποκριτήριο) από τα υπόλοιπα του ίδιου επιπέδου. Οι εκτιμήσεις αυτές γίνονται ανά δύο στοιχεία και με σημείο αναφοράς ένα από τα στοιχεία του προηγούμενου επιπέδου. Για την έκφραση των εκτιμήσεων αυτών χρησιμοποιείται αριθμητική κλίμακα που περιλαμβάνει τις ακέραιες τιμές από το 1 έως το 9. Στον παρακάτω Πίνακα παρατίθεται η ερμηνεία της κάθε βαθμολογίας για την παραπάνω κλίμακα, όπως αυτή χρησιμοποιείται στο πακέτο Expert Choice.

Απόλυτη βαθμολογία	Σημαντικότητα	Συνοπτική περιγραφή
1	Ίση	Τα συγκρινόμενα στοιχεία είναι ίσης σημασίας
3	Μικρή	Το ένα στοιχείο είναι ελαφρά πιο σημαντικό από το άλλο
5	Δυνατή	Το ένα στοιχείο είναι πολύ πιο σημαντικό από το άλλο
7	Πολύ δυνατή	Το ένα στοιχείο είναι πάρα πολύ πιο σημαντικό από το άλλο
9	Εξαιρετική	Το ένα στοιχείο είναι απολύτως πιο σημαντικό από το άλλο
2,4,6,8		Ενδιάμεσες τιμές, για περισσότερο ακριβή αριθμητικά εκτίμηση

Σχήμα 4 Κλίμακα σχετικής σημαντικότητας

Οι τιμές των εκτιμήσεων που εκφράζονται από τον λήπτη της απόφασης για κάθε επίπεδο της ιεραρχίας συνθέτουν ένα πίνακα Φ . Ο πίνακας Φ είναι τετραγωνικός με διαστάσεις $n \times n$, όπου n ο αριθμός των στοιχείων του συγκεκριμένου επιπέδου και έχει τη μορφή:

$$\Phi = \begin{bmatrix} w_1 / w_2 & \dots & w_1 / w_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n / w_1 & \dots & w_n / w_n \end{bmatrix}$$

όπου, $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ το διάνυσμα των πραγματικών σχετικών βαρών που αποδίδονται από τον λήπτη της απόφασης για κάθε στοιχείο της ιεραρχίας. Το τρίτο στάδιο περιλαμβάνει την εκτίμηση των σχετικών βαρών των κριτηρίων απόφασης σε σχέση με τα στοιχεία του αμέσως προηγούμενου επιπέδου. Όταν οι συγκρίσεις είναι συνεπείς (consistent) τα βάρη των στοιχείων ενός επιπέδου υπολογίζονται μέσω της επίλυσης του παρακάτω συστήματος γραμμικών εξισώσεων:

$$\Phi \cdot w = n \cdot w$$

Σε προβλήματα όπου η ιεραρχική δόμηση του προβλήματος είναι μεγάλων διαστάσεων, είναι πιθανό να παρουσιαστεί ασυνέπεια μεταξύ των συγκρίσεων. Στην περίπτωση αυτή η εκτίμηση των σχετικών βαρών γίνεται βάσει της σχέσης:

$$\Phi \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w$$

Όπου,

- ✚ Φ είναι ο πίνακας των συγκρίσεων που έγιναν από τον αποφασίζοντα,
- ✚ λ_{\max} (βαθμός ασυνέπειας) είναι η μέγιστη ιδιοτιμή του πίνακα ($\lambda_{\max} \geq n$),

και

✚ w είναι η εκτίμηση του διανύσματος w των πραγματικών σχετικών βαρών.

Το τέταρτο και τελευταίο στάδιο αφορά στον συνδυασμό των σχετικών βαρών (σύνθεση προτεραιοτήτων) κάθε στοιχείου στο σύνολο των επιπέδων. Με τον τρόπο αυτό οι εναλλακτικές αποφάσεις του τελευταίου επιπέδου αξιολογούνται σε σχέση με το πρώτο, δηλαδή επιτυγχάνεται ο στόχος του προβλήματος. Η αξιολόγηση αυτή πραγματοποιείται πολλαπλασιάζοντας όλους τους πίνακες των σχετικών βαρών των στοιχείων όλων των επιπέδων:

$$C[l, k] = \prod_{j=2}^k B_j$$

όπου,

- ✚ $C[l, k]$ είναι ο πίνακας των βαρών των στοιχείων του k επιπέδου, σε σχέση με το γενικό στόχο του προβλήματος, και
- ✚ B_j είναι πίνακας των σχετικών βαρών του στοιχείου j της ιεραρχίας σε σχέση με όλα τα στοιχεία $j-1$ επιπέδου.

Η μέθοδος AHP είναι κατάλληλη για τον εντοπισμό μιας εναλλακτικής προτίμησης (μέθοδος επιλογής). Μετατρέποντας σύνθετες αποφάσεις σε μια σειρά από μία προς μία συγκρίσεις (δυναμική σύγκριση), και στη συνέχεια μέσω της σύνθεσης των αποτελεσμάτων, η AHP όχι μόνο βοηθά τους αποφασίζοντες να καταλήξουν στην καλύτερη απόφαση, αλλά δίνει και μια ξεκάθαρη λογική. Επίσης, ανάμεσα στα υπέρ της μεθόδου μπορεί να θεωρηθεί η λογική της δόμησης του προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα, με την απευθείας σύγκριση της σημαντικότητας των στοιχείων του προβλήματος αποφεύγεται η αδυναμία σύγκρισης των παραμέτρων του προβλήματος. Αντίθετα, στα αρνητικά στοιχεία της AHP είναι ο μεγάλος αριθμός συγκρίσεων που πρέπει να κάνει ο λήπτης αποφάσεων, το οποίο κάνει δύσκολη την εφαρμογή της σε προβλήματα με μεγάλο αριθμό κριτήριο ή εναλλακτικών λύσεων. Ένα επιπλέον, αδύναμο σημείο της μεθόδου είναι το φαινόμενο της αναστροφής των αξιολογήσεων όταν μεταβληθεί το σύνολο των προς αξιολόγηση εναλλακτικών. Για παράδειγμα, αν προστεθεί στο σύνολο των εναλλακτικών μια εναλλακτική με τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά μιας υπάρχουσας εναλλακτικής, τότε αλλάζει η κατάταξη και της υπάρχουσας.

2.3.2 Μέθοδοι Τεχνικών Σχέσεων Υπεροχής

Τα θεμέλια της Θεωρίας των Σχέσεων Υπεροχής (Outranking Relations Approach) τέθηκαν από τον Roy στη δεκαετία του 1960 με την οικογένεια μεθόδων Electre (ELimination Et Choix Traduisant la REalité), για την αντιμετώπιση πολυκριτήριων προβλημάτων απόφασης όπου οι εναλλακτικές επιλογές είναι διακριτές (Roy,

1991). Οι μέθοδοι υπεροχής χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων σε προκαθορισμένες κατηγορίες προβαίνοντας σε σχετικές συγκρίσεις με προκαθορισμένα πρότυπα, όταν πληρούνται μια σειρά από προϋποθέσεις. Η κύρια απαίτηση είναι η ύπαρξη ενός μέτρου σύγκρισης με βάση το οποίο θα συγκρίνονται όλες οι εναλλακτικές. Σε περίπτωση όπου δεν υπάρχει αυτό το μέτρο σύγκρισης, τότε απλά οι εναλλακτικές είναι μη συγκρίσιμες. Η ειδική μεθοδολογία των μεθόδων Electre μπορεί να δώσει λύση σε περιπτώσεις όπου τα κριτήρια δεν έχουν κοινό μέτρο σύγκρισης ή ακόμη και όταν αυτά δεν είναι ποσοτικά προσδιορίσιμα μέσα από δύο στάδια εφαρμογής. Κατά την διάρκεια του πρώτου αναπτύσσεται μια σχέση υπεροχής μεταξύ των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, ενώ στο δεύτερο αυτή η σχέση χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των δραστηριοτήτων ανάλογα με την επιθυμητή μορφή του αποτελέσματος.

2.3.2.1 Μέθοδος ELECTRE

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρατίθενται οι κύριες έννοιες πάνω στις οποίες στηρίζεται η οικογένεια μεθόδων Electre. Ως κριτήριο g_j (ή υπο-κριτήριο g_{ij}) ορίζεται οποιοδήποτε χαρακτηριστικό γνώρισμα των δυνατών επιλογών βάσει του οποίου γίνεται η αξιολόγηση. Κλίμακα κριτηρίου είναι κάθε μορφής κλίμακα (αριθμητική, αναλογική κ.ά.) που χαρακτηρίζει το κριτήριο και το ποσοτικοποιεί. Ως

απόδοση $e_j(a_i)$ ενός κριτηρίου j , μιας εναλλακτικής a_i , ορίζεται η βαθμολογία που συγκεντρώνει η εναλλακτική σε συγκεκριμένο κριτήριο με βάση την αντίστοιχη κλίμακα. Ο συντελεστής σημαντικότητας K_j ενός κριτηρίου g_j εκφράζει το πόσο σημαντικό είναι το κριτήριο αυτό, σε σχέση με τα υπόλοιπα. Ως κατώφλι προτίμησης ενός κριτηρίου g_j , ορίζεται η μικρότερη τιμή της διαφοράς των αποδόσεων δύο εναλλακτικών ως προς το κριτήριο αυτό, πέρα από την οποία η μια εναλλακτική είναι καλύτερη από την άλλη. Κατώφλι ισοδυναμίας ενός κριτηρίου g_j , ονομάζεται η μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να πάρει η διαφορά των αποδόσεων δύο εναλλακτικών σε ένα κριτήριο, έτσι ώστε αυτές να είναι ισοδύναμες. Κατώφλι βέτο ενός κριτηρίου g_j , ονομάζεται η τιμή της διαφοράς των αποδόσεων δύο εναλλακτικών στο κριτήριο αυτό που αν παραβιαστεί καθιστά την εναλλακτική με την χειρότερη απόδοση, όχι την καλύτερη για το πρόβλημα.

Σχέση	Ορισμός	Διαδική σχέση
Ισοδυναμία	Θετικοί και ξεκάθαροι λόγοι που δικαιολογούν την ισοδυναμία στις δύο εναλλακτικές.	I: Συμμετρική
Απόλυτη Προτίμηση	Θετικοί και ξεκάθαροι λόγοι που δικαιολογούν την προτίμηση μιας από τις δύο εναλλακτικές.	P: Αντισυμμετρική
Ισχυρή Προτίμηση	Θετικοί και ξεκάθαροι λόγοι που δεν επιτρέπουν την απόλυτη προτίμηση ούτε και δικαιολογούν την ισοδυναμία μεταξύ των δύο εναλλακτικών.	Q: Αντισυμμετρική
Μη συγκρισιμότητα	Αντιστοιχεί σε έλλειψη λόγων που θα δικαιολογούσαν μια από τις παραπάνω καταστάσεις.	R: Συμμετρική

Σχήμα 5 Οι βασικές δυαδικές σχέσεις προτίμησης

Μια *δυναμική σχέση προτίμησης* περιγράφει την σχέση προτίμησης μεταξύ δύο εναλλακτικών, δηλαδή το αν μία εναλλακτική είναι καλύτερη ή όχι σε σχέση με μια άλλη. Υπάρχουν τέσσερις βασικές δυναμικές σχέσεις προτίμησης, όπως δείχνεται στον παραπάνω Πίνακα. Ειδικότερα, η πρώτη στήλη του πίνακα αντιστοιχεί στην ονομασία της σχέσης προτίμησης, η δεύτερη σε ένα σύντομο ορισμό της κάθε σχέσης και η τρίτη στον τύπο της δυναμικής σχέσης. Οι μέθοδοι Electre αποτελούνται από δύο βασικά στάδια, τη δημιουργία πινάκων απόδοσης και τη δημιουργία σχέσεων υπεροχής. Ο πίνακας απόδοσης χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της απόδοσης των εναλλακτικών στο σύνολο των κριτηρίων. Οι στήλες του πίνακα αντιστοιχούν στις εναλλακτικές δράσεις ενώ οι γραμμές στα κριτήρια. Κάθε κελί περιέχει το μέτρο της απόδοσης που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη εναλλακτική και κριτήριο. Η απόδοση μετράται με βάση την κλίμακα του εκάστοτε κριτηρίου, όπως αυτή έχει οριστεί για το υπό εξέταση πρόβλημα. Είναι δυνατή η μέτρηση της απόδοσης με αριθμητικές τιμές (π.χ. νομισματική μονάδα, αριθμός τεμαχίων) και λεκτικών όρων (π.χ. πολύ, λίγο). Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί όμως η διασαφήνιση των σχετικών μεγεθών (π.χ. το λίγο είναι καλύτερο από το πολύ).

Θεμελιώδης υπόθεση των μεθόδων Electre είναι η ύπαρξη μιας σχέσης υπεροχής μεταξύ δύο εναλλακτικών ενεργειών. Προκειμένου να οριστεί μια σχέση υπεροχής, πρέπει να καθοριστεί το πότε μια εναλλακτική υπερέχει ή ισοδυναμεί με κάποια άλλη. Τα κριτήρια g για τα οποία μια εναλλακτική a υπερέχει της εναλλακτικής b αποτελούν ένα “συνασπισμό συμφωνίας” (concordance), ο οποίος συμβολίζεται ως $C(aSgb)$. Αντίστοιχα, τα κριτήρια για τα οποία μια εναλλακτική a δεν υπερέχει της εναλλακτικής b αποτελούν ένα “συνασπισμό διαφωνίας” (discordance), ο οποίος συμβολίζεται ως $C(bSga)$. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι μια εναλλακτική a υπερέχει της εναλλακτικής b όταν πληρούνται οι παρακάτω δύο προϋποθέσεις:

- ✚ Η a είναι τόσο καλή όσο η b στο μεγαλύτερο μέρος του συνόλου των κριτηρίων.
- ✚ Η a δεν είναι τόσο κακή όσο η b στα εναπομείναντα κριτήρια.

Η πρώτη συνθήκη είναι ένας “συνασπισμός συμφωνίας” η οποία αξιολογείται αριθμητικά με την σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων της πρόσθεσης των βαρών των κριτηρίων. Η δεύτερη συνθήκη είναι ένας “συνασπισμός διαφωνίας”. Συμπερασματικά, οι μέθοδοι Electre μπορούν να θεωρηθούν ιδιαίτερα αποτελεσματικές στο πρόβλημα της ταξινόμησης, καθώς τα αποτελέσματα που παρέχουν δεν εξαρτώνται από το σύνολο των εναλλακτικών υπό θεώρηση, αλλά από τα κριτήρια και τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται. Αντίθετα, οι Electre δεν είναι κατάλληλες για την υπόδειξη μίας μόνης καλύτερης εναλλακτικής λύσης. Ακόμη ένα στοιχείο που κάνει τις μεθόδους Electre ιδιαίτερα δημοφιλείς, είναι η ύπαρξη μιας σειράς υλοποιημένων συστημάτων επίλυσης μέσω H/Y, οπότε παρακάμπτεται το πρόβλημα της πλήρους κατανόησης του μαθηματικού τους υπόβαθρου. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί η κριτική που δέχονται οι Electre, και αφορά στη χρήση κατωφλιών, η επιλογή των οποίων θεωρείται αυθαίρετη (αυτό μπορεί να μειώσει την αξιοπιστία της μεθόδου).

2.3.2.2 Μέθοδος PROMETHEE –

Οι μέθοδοι που ανήκουν στην οικογένεια αυτή άρχισαν να αναπτύσσονται στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Οι PROMETHEE I και II αποτελούν δύο από τις δημοφιλέστερες μεθόδους στο χώρο της πολυκριτήριας ανάλυσης. Οι δύο αυτές μέθοδοι είναι ίδιες όσον αφορά το στάδιο ανάπτυξης της σχέσης υπεροχής και διαφέρουν μόνο στη φάση της εκμετάλλευσης της σχέσης που αναπτύσσεται. Γενικά, οι μέθοδοι PROMETHEE απαιτούν τον καθορισμό μίας ορισμένης συνάρτησης προτίμησης για κάθε κριτήριο. Αυτή η συνάρτηση χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί ο βαθμός προτίμησης που σχετίζεται με την καλύτερη εναλλακτική στην περίπτωση των ανά ζεύγος συγκρίσεων. Οι PROMETHEE υπολογίζουν θετικές και αρνητικές ροές προτίμησης για κάθε εναλλακτική. Η θετική ροή εκφράζει το κατά πόσο μία εναλλακτική είναι η κυρίαρχη (δύναμη) ως προς τις άλλες, και η αρνητική το κατά πόσο κυριαρχείται από τις υπόλοιπες. Η PROMETHEE I βασίζεται σε αυτές τις ροές μας οδηγεί σε μία μερική κατάταξη, ενώ η PROMETHEE II μας δίνει μία πλήρη κατάταξη που βασίζεται στην εξισορρόπηση των δύο πωών προτίμησης.

Το πρώτο στάδιο της ανάπτυξης της σχέσης υπεροχής ξεκινάει με τον προσδιορισμό του δείκτη προτίμησης (preference index) $\pi(x_i, x_j)$ για κάθε ζεύγος εναλλακτικών δραστηριοτήτων x_i και x_j , που ορίζεται ως:

$$\pi(x_i, x_j) = \sum_{k=1}^n w_k p_k(x_i, x_j)$$

Ο δείκτης αυτός ορίζεται με παρόμοιο τρόπο με το δείκτη συμφωνίας στις μεθόδους ELECTRE.

Ο μερικός δείκτης προτίμησης $p_k(x_i, x_j)$ για το κριτήριο x_k ορίζεται σε συνάρτηση της διαφοράς $x_{ik} - x_{jk}$ μεταξύ των επιδόσεων των δύο εναλλακτικών στο κριτήριο x_k . Ειδικότερα:

$$p_k(x_i, x_j) = \begin{cases} 0 & x_{ik} < x_{jk} \\ h_k(x_{ik} - x_{jk}) & x_{ik} \geq x_{jk} \end{cases}$$

Υπάρχουν έξι περιπτώσεις γενικευμένων κριτηρίων για τη μορφή της συνάρτησης h_k (generalised criteria). Συγκεκριμένα:

1. Το σύνηθες κριτήριο (usual criterion): ο αποφασίζων είναι αδιάφορος μεταξύ δύο εναλλακτικών x_i και x_j στο κριτήριο x_k αν και μόνο αν $x_{ik} = x_{jk}$. Σε άλλη περίπτωση, αν $x_{ik} > x_{jk}$, ο αποφασίζων θεωρεί ότι υπάρχει σαφής προτίμηση της x_i έναντι της x_j . Οπότε η συνάρτηση h_k ορίζεται ως:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 0, & x_{ik} = x_{jk} \\ 1, & x_{ik} > x_{jk} \end{cases}$$

2. Το σχεδόν κριτήριο (quasi criterion): με βάση αυτό το κριτήριο, ο αποφασίζων θεωρεί ότι υπάρχει αδιαφορία μεταξύ των δύο εναλλακτικών x_i και x_j στο κριτήριο x_k , όταν η διαφορά $x_{ik}-x_{jk}$ δεν υπερβαίνει ένα κατώφλι αδιαφορίας q_k . Διαφορετικά υπάρχει σαφής προτίμηση. Στην περίπτωση αυτού του κριτηρίου θα πρέπει να οριστεί το κατώφλι αδιαφορίας. Τότε, η συνάρτηση h_k ορίζεται ως:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 0, & x_{ik} - x_{jk} < q_k \\ 1, & x_{ik} - x_{jk} \geq q_k \end{cases}$$

3. Το γραμμικής προτίμησης κριτήριο (criterion with linear preference) : ο αποφασίζων θεωρεί ότι εφόσον η διαφορά $x_{ik}-x_{jk}$ είναι μικρότερη από ένα κατώφλι προτίμησης p_k , τότε η προτίμηση του για την x_i αυξάνει γραμμικά συναρτήσει της διαφοράς $x_{ik}-x_{jk}$. Όταν αυτή η διαφορά ξεπερνάει το κατώφλι προτίμησης p_k , τότε θα έχουμε σαφή προτίμηση. Η συνάρτηση h_k ορίζεται ως:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 1, & x_{ik} - x_{jk} \geq p_k \\ \frac{x_{ik} - x_{jk}}{p_k}, & x_{ik} - x_{jk} < p_k \end{cases}$$

4. Το κριτήριο επιπέδου (level criterion) : στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε κατώφλι αδιαφορίας και κατώφλι προτίμησης. Εφόσον η διαφορά $x_{ik}-x_{jk}$ βρίσκεται μεταξύ του διαστήματος $[q_k, p_k]$, τότε υπάρχει μία ελαφριά προτίμηση για την εναλλακτική x_i . Στις άλλες περιπτώσεις ισχύουν τα ίδια με τα δύο προηγούμενα κριτήρια. Δηλαδή, όταν η διαφορά $x_{ik}-x_{jk}$ είναι μικρότερη από το κατώφλι αδιαφορίας q_k , τότε υπάρχει αδιαφορία ανάμεσα στις δύο εναλλακτικές. Όταν η διαφορά $x_{ik}-x_{jk}$ είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι προτίμησης p_k , τότε η προτίμηση είναι σαφώς για το x_i . Η συνάρτηση h_k ορίζεται ως:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 0 & x_{ik} - x_{jk} < q_k \\ 0,5 & x_{ik} - x_{jk} \in [q_k, p_k] \\ 1 & x_{ik} - x_{jk} > p_k \end{cases}$$

5. Το γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας (criterion with linear preference and indifference area) : ο αποφασίζων θεωρεί ότι η προτίμηση του αυξάνεται γραμμικά από την αδιαφορία στη σαφή προτίμηση, όταν η διαφορά $x_{ik}-x_{jk}$ βρίσκεται ανάμεσα στο όριο αδιαφορίας και το όριο προτίμησης. Η συνάρτηση h_k ορίζεται ως:

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = \begin{cases} 0 & x_{ik} - x_{jk} < q_k \\ \frac{x_{ik} - x_{jk} - q_k}{p_k - q_k} & x_{ik} - x_{jk} \in [q_k, p_k] \\ 1 & x_{ik} - x_{jk} > p_k \end{cases}$$

6. Το κριτήριο του Gauss (Gaussian criterion): οι προτιμήσεις σε αυτήν την περίπτωση περιγράφονται από μία συνεχή συνάρτηση με τη μορφή :

$$h_k(x_{ik} - x_{jk}) = 1 - \exp\left[-\frac{(x_{ik} - x_{jk})^2}{2\sigma^2}\right]$$

όπου σ είναι η παράμετρος που καθορίζει το σημείο αλλαγής στην καμπή της συνάρτησης.

Ο καθορισμός της συνάρτησης h_k βοηθάει στον υπολογισμό του δείκτη προτίμησης $\pi(x_i, x_j)$ για κάθε ζεύγος εναλλακτικών. Ο δείκτης προτίμησης παίρνει τιμές από το 0 έως το 1 έτσι ώστε:

1. $\pi(x_i, x_j) \approx 0 \Rightarrow$ οριακή υπεροχή της x_i έναντι της x_j

2. $\pi(x_i, x_j) \approx 1 \Rightarrow$ ισχυρή υπεροχή της x_i έναντι της x_j .

Εκμεταλλευόμενοι τη σχέση υπεροχής, υπολογίζονται τα ακόλουθα μεγέθη:

1. Ροή εισόδου (entering flow): $\varphi^-(x_i) = \sum_{\forall x_j \in A} \pi(x_j, x_i)$

2. Ροή εξόδου (leaving flow): $\varphi^+(x_i) = \sum_{\forall x_j \in A} \pi(x_i, x_j)$

3. Καθαρή ροή (net flow): $\varphi(x_i) = \varphi^+(x_i) - \varphi^-(x_i)$

Η ροή εξόδου $\varphi^+(x_i)$ δείχνει την υπεροχή της εναλλακτικής x_i ως προς τις υπόλοιπες εναλλακτικές και η ροή εισόδου $\varphi^-(x_i)$ δείχνει την υπεροχή όλων των υπόλοιπων εναλλακτικών έναντι x_i . Η καθαρή ροή είναι ένα συνολικό μέγεθος αξιολόγησης της εναλλακτικής x_i έναντι όλων των υπόλοιπων εναλλακτικών.

Στην PROMETHEE I οι παραπάνω ροές χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη δύο κατατάξεων. Η πρώτη κατάταξη Z_1 αναπτύσσεται βάσει των ροών εξόδου έτσι ώστε:

$$x_i P_1 x_j \Leftrightarrow \varphi^-(x_i) < \varphi^-(x_j)$$

$$x_i I_1 x_j \Leftrightarrow \varphi^-(x_i) = \varphi^-(x_j)$$

Η δεύτερη κατάταξη Z_2 αναπτύσσεται βάσει των ροών εξόδου έτσι ώστε:

$$x_i P_2 x_j \Leftrightarrow \varphi^+(x_i) < \varphi^+(x_j)$$

$$x_i I_2 x_j \Leftrightarrow \varphi^+(x_i) = \varphi^+(x_j)$$

Η τελική κατάταξη προκύπτει ως η τομή των δύο κατατάξεων ως εξής:

$$x_i P x_j \Leftrightarrow (x_i P_1 x_j) \wedge (x_i P_2 x_j) \\ (x_i I_1 x_j) \wedge (x_i I_2 x_j)$$

$$x_i I x_j \Leftrightarrow (x_i I_1 x_j) \wedge (x_i I_2 x_j)$$

$$x_i R x_j \Leftrightarrow \text{σε διαφορετική περίπτωση}$$

Στην PROMETHEE II, αντίθετα, υπάρχει μόνο μία κατάταξη για τις εναλλακτικές, η οποία γίνεται βάση τις συνολικές τους ροές και η οποία είναι πλήρης (δηλαδή δεν λαμβάνουμε υπόψη τη σχέση ασυγκριτικότητας). Αυτή η κατάταξη ορίζεται ως εξής:

$$x_i P x_j \Leftrightarrow \varphi(x_i) > \varphi(x_j)$$

$$x_i I x_j \Leftrightarrow \varphi(x_i) = \varphi(x_j).$$

2.3.3 Μέθοδοι Αναλυτικής - Συνθετικής Προσέγγισης

Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση (Aggregation-Disaggregation Approach) παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με την Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας, καθώς χρησιμοποιεί συναρτήσεις χρησιμότητας για τη μοντελοποίηση και αναπαράσταση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα, ώστε να γίνει επιλογή, κατάταξη ή ταξινόμηση των διακριτών εναλλακτικών λύσεων. Η διαφορά των δύο μεθόδων έγκειται στη διαδικασία της ανάπτυξης της συνάρτησης χρησιμότητας. Η Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση χρησιμοποιεί μια έμμεση διαδικασία βασιζόμενη στη διαδικασία της παλινδρόμησης. Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα γίνεται μέσα σε ένα περιορισμένο σύνολο εναλλακτικών ενεργειών, το *σύνολο αναφοράς*. Ο αποφασίζων εκφράζει τις συνολικές του προτιμήσεις για τις εναλλακτικές ενέργειες του συνόλου αναφοράς ανάλογα με τη μορφή που πρέπει να έχει το αποτέλεσμα της αξιολόγησης ή καθορίζοντας μια ταξινόμηση σε προκαθορισμένες ομάδες. Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται τεχνικές παλινδρόμησης που βασίζονται στον Μαθηματικό Προγραμματισμό, από όπου προκύπτει η συνάρτηση χρησιμότητας η οποία "αναπαράγει" τις αποφάσεις του αποφασίζοντα όπως αυτές εκφράστηκαν στο σύνολο αναφοράς. Η συνάρτηση χρησιμότητας χρησιμοποιείται για να εκφράσει τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα. Με αυτό τον τρόπο ανατίθεται ένα μέτρο αξίας (value) σε κάθε εναλλακτική, έτσι ώστε όσο μεγαλύτερο είναι το μέτρο αυτό, τόσο καλύτερη είναι η εναλλακτική. Για δύο εναλλακτικές a και b , εάν η a είναι καλύτερη της b , τότε αυτό εκφράζεται με τη σχέση $a P b$, ενώ αν η a είναι αδιάφορη ως προς τη b , αυτό εκφράζεται με την σχέση $a I b$. Αν U είναι η συνάρτηση χρησιμότητας οι δύο προηγούμενες καταστάσεις εκφράζονται από τις σχέσεις $U(a) > U(b)$ και $U(a) = U(b)$ αντίστοιχα. Έστω τώρα ένα σύνολο εναλλακτικών A οι οποίες αξιολογούνται με βάση τα κριτήρια g_1, g_2, \dots, g_n . Η μέθοδος της Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης δημιουργεί μια προσθετική συνάρτηση χρησιμότητας. Για μια εναλλακτική a , η συνάρτηση αυτή έχει την μορφή:

$$U[g_1(a), \dots, g_n(a)] = \sum_{i=1}^n u_i[g_i(a)]$$

όπου, $u_i[g_i(a)]$ η *οριακή χρησιμότητα* που αντιστοιχεί στο κριτήριο g_i ($i=1, 2, \dots, n$).

Στη συνέχεια ακολουθεί μια διαδικασία κανονικοποίησης, μέσω της οποίας η καλύτερη των εναλλακτικών παίρνει τιμή χρησιμότητας 1 ενώ η χειρότερη εναλλακτική την τιμή 0.

2.3.3.1 Μέθοδος UTA (Utility Theory additive)

Η μέθοδος UTA, όπως αρχικά προτάθηκε από τους Jacquet-Lagrèze και Sisko (1978, 1982), βασίζεται σε ένα μοντέλο προγραμματισμού στόχων για να εκτιμήσει μία προσθετική, μη γραμμική συνάρτηση χρησιμότητας από μία κατάταξη προτίμησης των εναλλακτικών.

Το πρόβλημα είναι η σύγκριση, κατάταξη και αποτίμηση ενός συνόλου πράξεων, ή η επιλογή εναλλακτικών, σχετικά προς N κριτήρια που μετρούν την χρησιμότητα αυτών των εναλλακτικών. Οι μετρήσεις αυτών των εναλλακτικών δίνονται από το διάνυσμα $g(a) = (g_1(a), g_2(a), \dots, g_N(a))$ για κάθε εναλλακτική a που ανήκει στο A . Για παράδειγμα, για μία εναλλακτική για αυτοκινητόδρομο, τα $g_i(a)$ θα μπορούσαν να είναι η αναλογία κόστους-οφέλους, η επίδρασή του στην ασφάλεια, στο περιβάλλον κλπ.

Το μοντέλο υποθέτει την ύπαρξη μίας συνάρτησης χρησιμότητας :

$$U(g(a)) = U(g_1(a), g_2(a), \dots, g_N(a))$$

η οποία ικανοποιεί τα κλασσικά αξιώματα της θεωρίας αποφάσεων, που είναι ονομαστικά τα αξιώματα της συγκρισιμότητας, αντανακλαστικότητας, μεταβατικότητας των επιλογών, συνέχειας και αυστηρής υπεροχής.

Η συνάρτηση χρησιμότητας είναι προσθετική,

$$U(g(a)) = \sum_{i=1}^N u_i(g_i(a))$$

$$\text{με } u_i(g_i) \geq 0 \text{ et } \frac{du_i}{dg_i} > 0.$$

Η προσθετική συνάρτηση υποδηλώνει συγκεκριμένα ότι η μερική χρησιμότητα ενός κριτηρίου $u_i(g_i(a))$ εξαρτάται μόνο στο επίπεδο αυτού του συγκεκριμένου κριτηρίου. Αυτή η συνάρτηση παρέχει ένα άθροισμα των κριτηρίων σε ένα κοινό δείκτη ώστε να συγκρίνει και να αποτιμήσει τις εναλλακτικές που λαμβάνονται υπόψη.

Κατατάσσει την εναλλακτική σε μία ολοκληρωμένη "αδύναμη" σειρά R : εάν το P υποδεικνύει μία αυστηρή προτίμηση και I την αδιαφορία μεταξύ δύο εναλλακτικών a και b , τότε :

$$U[g(a)] > U[g(b)] \Leftrightarrow a P b$$

$$U[g(a)] = U[g(b)] \Leftrightarrow a I b$$

Σύμφωνα με τους Jacquet-Lagrèze και Sisko(1978, 1982), η μέθοδος UTA(α) εκτιμάει την συνάρτηση U στο σύνολο αναφερόμενων εναλλακτικών A , με βάση την μέθοδο γραμμικού προγραμματισμού στόχων. Η μέθοδος γραμμικού προγραμματισμού στόχων προτάθηκε από τους Charnes και Cooper (1961, 1977), και παρέχει μία προσέγγιση μίας μη γραμμικής συνάρτησης από γραμμικά διαστήματα.

Για να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος, το πεδίο παρέκκλισης κάθε κριτηρίου $[g_i^*, g_i^*]$, ορισμένο από την λιγότερο ικανοποιητική τιμή του κριτηρίου (g_i^*) και την καλύτερη τιμή του (g_i^*), διαιρείται σε α_i ίσα διαστήματα $[g_i^j, g_i^{j+1}]$. Οι μεταβλητές που εκτιμούνται από τη μέθοδο είναι οι μερικές χρησιμότητες σε αυτά τα όρια, έστω $u_i(g_i^j)$. Η χρησιμότητα σε μέσες τιμές των κριτηρίων δίνονται από γραμμική παρεμβολή. Κατά συνέπεια, για $g_i(a) \in [g_i^j, g_i^{j+1}]$ είναι:

$$u_i[g_i(a)] = u_i(g_i^j) + \frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j} [u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j)].$$

Για κάθε ζεύγος εναλλακτικών (a, b) που ανήκουν στο A' , ο λήπτης αποφάσεων πρέπει να εκφράσει τις προτιμήσεις του ή την αδιαφορία του. Όπως αναφέρεται στη μελέτη *A multi-criteria analysis of stated preferences among freight transport alternatives* (2003), σύμφωνα με την εκδοχή που προτάθηκε από τους Despotis et al. (1990), η ονομαζόμενη UTASTAR εκδοχή, τα αποτελέσματα αυτών των συγκρίσεων εισάγονται ως περιορισμοί σύμφωνα με τις ακόλουθες συνθήκες:

$$\sum_{i=1}^N \{u_i(g_i(a)) - u_i(g_i(b))\} + \sigma^+(a) - \sigma^-(a) - \sigma^+(b) + \sigma^-(b) \geq \delta \Leftrightarrow a P b$$

$$\sum_{i=1}^N \{u_i(g_i(a)) - u_i(g_i(b))\} + \sigma^+(a) - \sigma^-(a) - \sigma^+(b) + \sigma^-(b) = 0 \Leftrightarrow a I b$$

με όλα τα σ^+ και $\sigma^- \geq 0$.

Το σ^+ αντιπροσωπεύει σε ένα θετικό λάθος σε σχέση με τη διαφορά μεταξύ των επιπέδων χρησιμότητας, ενώ το σ^- υποδεικνύει ένα αρνητικό λάθος. Αυτά τα λάθη είναι όλα μη αρνητικά, αντιπροσωπεύουν τα πιθανά λάθη μίας εκτίμησης της χρησιμότητας μίας πράξης. Η αντικειμενική χρησιμότητα F που ελαχιστοποιείται είναι το σύνολο αυτών των λαθών :

$$F = \sum_{a \in A} \sigma^+(a) + \sigma^-(a)$$

Η παράμετρος δ που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω πρέπει να είναι αυστηρά θετική. Η τιμή του μπορεί να επηρεάσει την λύση του προγράμματος. Ως εκ τούτου, σύμφωνα με τους Beuthe και Scannella (2001), δεν πρέπει να πάρει αρχικά υψηλή τιμή. Η υπόθεση ότι οι μερικές χρησιμότητες αυξάνουν με την τιμή των κριτηρίων, επιβάλλει μία σειρά από επιπρόσθετους περιορισμούς:

$$u_i(g_i^{j+1} - u_i(g_i^j)) \geq s_i, \quad j=1,2,\dots,\alpha_i, i=1,2,\dots,N$$

όπου s_i πρέπει να είναι (αυστηρά) θετικός. Όπως για το δ , είναι καλύτερο να δοθεί αρχικά μία μικρή τιμή.

Τέλος, οι μερικές χρησιμότητες ομαλοποιούνται με βάση τις συνθήκες:

$$\sum_{i=1}^N u_i(g_i^*) = 1,$$

και

$$u_i(g_i^*) = 0 \forall i$$

Η πρώτη εξίσωση δείχνει ότι οι τιμές των $u_i(g_i^*)$, οι χρησιμότητες των κριτηρίων στα υψηλότερα επίπεδα τους αντιπροσωπεύουν τα σχετικά βάρη των κριτηρίων στη συνάρτηση χρησιμότητας.

Βάζοντας μαζί όλα τα παραπάνω, καταλήγουμε:

$$\text{MIN } F = \sum_{a \in A} [\sigma^+(a) + \sigma^-(a)]$$

Περισσότερες λεπτομέρειες καθώς και για συγκριτικές προσομοιώσεις μπορούν να βρεθούν στο Beuthe και Scannella (2001). Μερικές από αυτές τις εξειδικεύσεις

περιλαμβάνουν επιπρόσθετους περιορισμούς για χειρισμό περισσότερων πληροφοριών που μπορεί να δοθούν από τον λήπτη αποφάσεων.

Μπορεί να έχουμε δύο τύπους λύσεων: είτε όλα τα λάθη έχουν μηδενικές τιμές και $F = 0$, είτε κάποια λάθη είναι θετικά και $F > 0$. Στην δεύτερη περίπτωση, δεν υπάρχει μία μη γραμμική προσθετική συνάρτηση χρησιμότητας που να παρουσιάζει τέλεια τις προτιμήσεις που εκφράζονται από των λήπτη αποφάσεων. Εάν αποκλείσουμε την περίπτωση ενός λήπτη αποφάσεων ο οποίος δεν θα μπορούσε να συγκρίνει με λογική τα σχέδια ή θα ήταν ανορθολογικός με την έννοια της παρουσίασης αμετάβατων προτιμήσεων, η παρουσία των λαθών μπορεί να υποδεικνύει ότι οι προτιμήσεις του λήπτη αποφάσεων χαρακτηρίζονται από μερικές χρησιμότητες οι οποίες δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους ή δεν αυξάνονται μονότονα. Όμως, μπορεί να υπάρχει και η πιο απλή περίπτωση όπου τα επιλεγμένα διαστήματα θα έπρεπε να είναι πιο πολυάριθμα ή να οριστούν με άλλο τρόπο.

Ο καθορισμός μίας προσθετικής συνάρτησης και η προέλευση της από ξεχωριστές εκτιμήσεις των μερικών συναρτήσεων, προϋποθέτει μία προνομιακή ανεξαρτησία. Αυτό σημαίνει ότι, εάν δύο εναλλακτικές χαρακτηρίζονται από τις ίδιες τιμές για κάποια κριτήρια, οι προτιμήσεις μεταξύ τους εξαρτώνται μόνο από τις τιμές που παίρνουν από τα άλλα κριτήρια. Το κατά πόσο αυτή η υπόθεση είναι αποδεκτή σε πρακτικές εφαρμογές, διαφέρει ανάλογα με την κάθε περίπτωση. Οι von Winterfeldt και Edwards (1973) έχουν την άποψη ότι μία προσθετική συνάρτηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μία καλή προσέγγιση. Πράγματι, μία προσθετική συνάρτηση μη γραμμικών συναρτήσεων μερικής χρησιμότητας είναι ένας ευέλικτος προσδιορισμός και μπορεί να παρέχει μία εκτίμηση που λαμβάνει υπόψη έναν ορισμένο βαθμό ανεξαρτησίας μεταξύ των κριτηρίων. Ο Stewart (1995) εμπειρικά απέδειξε ότι ήταν όντως ένας ισχυρός προσδιορισμός. Επιπλέον, με τη χρήση ενός συνόλου προσομοιώσεων. Οι Beuthe και Scannella (2001) έδειξαν ότι με το μοντέλο UTA είναι δυνατόν να αποκτηθούν χρήσιμα αποτελέσματα με το F ίσο ή κοντά στο 0, ακόμα και στην περίπτωση ανεξαρτησίας μεταξύ των κριτηρίων.

Όταν το F ισούται με μηδέν ή όχι, η λύση του προγράμματος μπορεί να μην είναι μοναδική, όπως συχνά συμβαίνει στην περίπτωση του γραμμικού προγραμματισμού. Αυτό το πρόβλημα πρέπει να λυθεί, λοιπόν, με μία post-optimality ανάλυση των αποτελεσμάτων. Οι Jacquet-Lagrèze και Siskos (1978) πρότειναν απλά να χρησιμοποιηθεί μία συνάρτηση η οποία είναι ο μέσος όρος των ακραίων βέλτιστων συναρτήσεων που αποκτήθηκαν από την ανάλυση ευαισθησίας που εφαρμόστηκε στα τελευταία όρια κάθε κριτηρίου. Αυτή η ανάλυση ευαισθησίας γίνεται με ένα επιπρόσθετο περιορισμό

$$\sum_{a \in A} \sigma(a) \leq F^* + \theta$$

όπου θ είναι ένας μικρός θετικός αριθμός. Αυτή η διαδικασία παρουσιάστηκε για να δώσει μία πρακτική και αποτελεσματική μέθοδο εκτίμησης, και ένα παράδειγμα

της χρήσης της βρίσκεται στην ανάλυση *A multi-criteria analysis of stated preferences among freight transport alternatives* (2003).

2.3.4 Μέθοδοι Πολυκριτήριου Μαθηματικού Προγραμματισμού

Ρίχνοντας μία πιο γενική ματιά στις μεθόδους Πολυκριτήριου Μαθηματικού Προγραμματισμού μπορούμε να πούμε ότι μία επέκταση του αποτελεί και η Πολυκριτήρια Βελτιστοποίηση. Αποβλέπει κυρίως στην επίλυση προβλημάτων όπου οι εναλλακτικές ανήκουν σε ένα συνεχές πεδίο τιμών (δεν υπάρχουν διακριτές εναλλακτικές επιλογές) και οι στόχοι είναι περισσότεροι του ενός. Η επίλυση του προβλήματος γίνεται μέσω επαναληπτικών μεθόδων και γραμμικού προγραμματισμού που οδηγούν: α) στην ικανοποίηση των κριτηρίων, β) στην κατασκευή ενός μοντέλου χρησιμότητας και γ) στο συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων.

2.3.4.1 Μέθοδος DEA (Data Envelopment Analysis)

Αντίθετα με τις προηγούμενες μεθόδους, η DEA, σύμφωνα με τον Nauman, 1998, δεν οδηγεί σε ολική κατάταξη των πηγών, αλλά προτείνει ποιες πηγές είναι καλύτερες από τις άλλες. Αναπτύχθηκε από τους Charnes, Cooper και Rhodes (1978) ως μία γενική μέθοδος κατηγοριοποίησης του πληθυσμού των παρατηρήσεων. Η μέθοδος DEA καθορίζει την αποτελεσματικότητα κάθε πηγής S_{j0} ξεχωριστά επιλύοντας ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού:

π.χ. για τιμές d_{ij} όπου $i=1, \dots, 5$

$$\max w_1 d_{1j0} + w_2 d_{2j0} + w_3 d_{3j0} - w_4 d_{4j0} - w_5 d_{5j0}$$

$$\text{s.t. } w_1 d_{1j} + w_2 d_{2j} + w_3 d_{3j} - w_4 d_{4j} - w_5 d_{5j} \leq 1 \quad \forall S_j$$

$$w_4 d_{4j0} + w_5 d_{5j0} = 1$$

$$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 \geq \epsilon > 0$$

Με τη μέθοδο DEA τα βάρη των κριτηρίων δεν ορίζονται από τον χρήστη αλλά πρόκειται για μεταβλητές που καθορίζονται από τη μέθοδο. Η βέλτιστη τιμή ενός τέτοιου γραμμικού προγραμματισμού (LP) είναι είτε 1, δηλαδή η πηγή είναι αποτελεσματική, είτε μεταξύ 0 και 1, προσδιορίζοντας δηλαδή τον βαθμό αναποτελεσματικότητας.

(Nauman, 1998)

2.3.4.2 Μέθοδος TOPSIS (The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

Η μέθοδος TOPSIS αναπτύχθηκε από τους Hwang και Yoon (1981) ως μία εναλλακτική των μεθόδων ELECTRE. Όπως στη μέθοδο SAW, ο πίνακας των αποφάσεων είναι κλιμακωτός και σταθμισμένος. Για τη συνάρτηση κλίμακας, οι συγγραφείς χρησιμοποιούν τη σχέση:

$$v_{ij} = \frac{d_{ij} \times w_j}{\sqrt{\sum_i d_{ij}}}$$

ώστε κάθε συντελεστής κριτηρίου να είναι κανονικός. Αντίθετα με τη μέθοδο SAW, οι συγγραφείς δεν αθροίζουν στο σημείο αυτό τις τιμές, αλλά υπολογίζουν τη σχετική Ευκλείδεια απόσταση των λύσεων από μία φανταστική ιδανική λύση. Η λύση που πλησιάζει περισσότερο την ιδανική λύση και απομακρύνεται περισσότερο από την αρνητική-ιδανική λύση, επιλέγεται ως η βέλτιστη. Οι ιδανικές και οι αρνητικές-ιδανικές λύσεις είναι:

$$A^* = (v_1^*, \dots, v_j^*) := \{(\max_{i=1, \dots, j} v_{ij} | j \in J_c)\}$$

$$A^- = (v_1^-, \dots, v_j^-) := \{(\min_{i=1, \dots, j} v_{ij} | j \in J_c)\}$$

Η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ κάθε λύσης και της ιδανικής και αρνητικής-ιδανικής λύσης ορίζεται ως:

$$S^{(+/-)}(S_i) := \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^{(+/-)})^2}$$

και το μέγεθος που δείχνει πόσο πλησιάζει η λύση την ιδανική λύση δίνεται από τη σχέση:

$$C^*(S_i) := \frac{s - s_i}{s^* s_i + s - s_i}$$

(Triantaphyllou et al., 1996, Nauman, 1998)

3 Υπολογιστική νέφους

3.1 Εισαγωγή

Θα υπάρξουν πολλοί τρόποι με τους οποίους το Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing) θα αλλάξει τις επιχειρήσεις και την οικονομία και οι περισσότεροι είναι δύσκολο να προβλεφθούν, αλλά μια εικόνα ήδη αναδύεται. Οι επιχειρήσεις προσιδιάζουν όλο και περισσότερο την ίδια την τεχνολογία: πιο προσαρμοσμένες, πιο συνυφασμένες και πιο εξειδικευμένες. Αυτές οι βελτιώσεις δεν είναι καινούργιες, αλλά το Cloud Computing θα τις επιταχύνει (The Economist, 2008).

Οι καταναλωτές έχουν προηγηθεί των επιχειρήσεων στη χρήση υπηρεσιών που στηρίζονται στη λογική του Νέφους, το οποίο επιτρέπει καλύτερη συνεργασία, όπως είναι τα blogs, τα wikis και τα κοινωνικά δίκτυα (Facebook, Twitter). Η πρώτη γενιά των ατόμων που έχουν μεγαλώσει χρησιμοποιώντας όλα αυτά τα εργαλεία τώρα εισέρχονται στο εργατικό δυναμικό. Όντας συνηθισμένοι στη νοοτροπία της ελεύθερης ανταλλαγής πληροφοριών, αυτοί οι <<ιθαγενείς>> της ψηφιακής εποχής θα είναι ανυπόμονοι με τους κανόνες των παραδοσιακών υπολογιστικών συστημάτων των επιχειρήσεων (The Economist, 2008).

Γενικά το Cloud Computing, το όνειρο των υπολογιστών ως ένα βοηθητικό πρόγραμμα το οποίο έχει πάρει την ονομασία του από τη χρήση ενός σύννεφου σαν ένα σύμβολο για την αποϊκόνηση μιας σύνθετης υποδομής που περιέχει διαγράμματα του συστήματος, έχει τη δυνατότητα να μετατρέψει ένα μεγάλο μέρος της πληροφορικής βιομηχανίας, καθιστώντας το λογισμικό ακόμη περισσότερο ελκυστικό ως υπηρεσία και να σχηματίσει με τους δικούς του κανόνες τον τρόπο που σχεδιάζεται και αγοράζεται το υλικό (hardware). Για τους προγραμματιστές με καινοτόμες ιδέες για νέες υπηρεσίες στο Διαδίκτυο δεν απαιτούνται πλέον μεγάλες κεφαλαιουχικές δαπάνες σε hardware για την ανάπτυξη των υπηρεσιών τους ή το ανθρώπινο βάρος για να το λειτουργήσουν. Επιπλέον, οι εταιρείες με μεγάλες απαιτήσεις μπορούν να πέρνουν τα αποτελέσματα τους όσο το δυνατόν πιο γρήγορα μπορούν να αποδώσουν τα προγράμματα τους, αφού υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν 1.000 servers για μία ώρα και να κοστίζουν λιγότερο από ό, τι αν χρησιμοποιηθεί ένας server για 1000 ώρες.

3.2 Έννοια - Σπουδαιότητα

Ορισμός 1

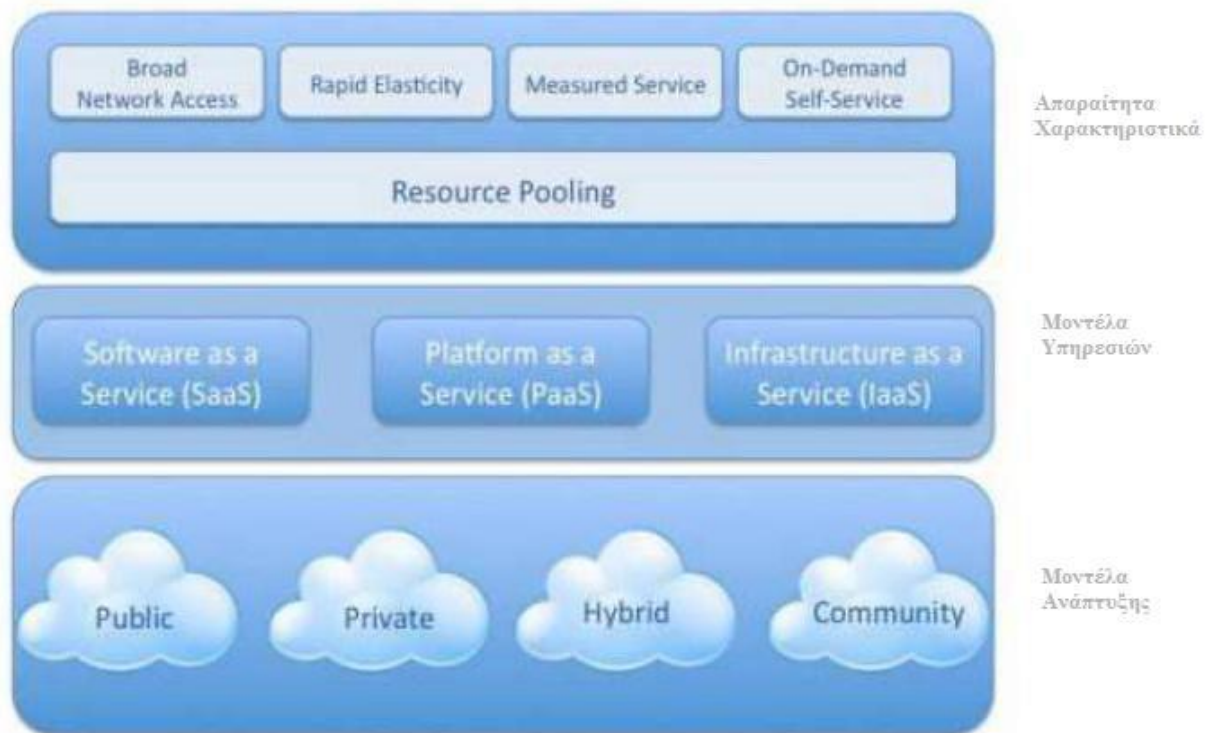
Το cloud computing είναι η χρήση των υπολογιστικών πόρων (hardware και software) που παραδίδονται ως υπηρεσία μέσω δικτύου (συνήθως το Internet). Το cloud computing αναθέτει εξ αποστάσεως υπηρεσίες με τα δεδομένα του χρήστη, λογισμικό και υπολογισμούς.

Ορισμός 2

Το cloud computing αναφέρεται στις εφαρμογές που διανέμονται ως άνω υπηρεσίες από το Διαδίκτυο αλλά αναφέρεται και στο hardware και software που υπάρχει στα κέντρα δεδομένων που παρέχουν τις εν λόγω υπηρεσίες. Τις υπηρεσίες αυτές τις έχουν ονομάσει οι ίδιες οι εταιρίες ως Software as a Service (SaaS).

Οι παραπάνω ορισμοί έχουν συλλεχθεί από το Διαδίκτυο για να υπάρξει μια γενική άποψη του τι είναι η Υπολογιστική Νέφους (Cloud Computing).

Παρακάτω θα υπάρξει μια πιο συγκεκριμένη άποψη του τι είναι Cloud Computing λαμβάνοντας πληροφορίες από ένα άρθρο του Cloud security Alliance. Ο ορισμός έχει δωθεί από το Εθνικό Ινστιτούτο Τυποποιήσεων και Τεχνολογίας (NIST – National Institute of Standards and Technology) ένα ίδρυμα ευρέως γνωστό σε παγκόσμιο επίπεδο για τη δουλειά του στο πεδίο της τεχνολογίας πληροφοριών. Το NIST ορίζει την αρχιτεκτονική του Cloud Computing περιγράφοντας πέντε ουσιώδη χαρακτηριστικά, τρία μοντέλα υπηρεσίας νέφους και τέσσερα μοντέλα ανάπτυξης νέφους.



Σχήμα 6 Απεικόνιση ορισμού NIST για την αρχιτεκτονική του Cloud Computing

3.2.1 Ουσιώδη χαρακτηριστικά του Cloud Computing

Υπάρχουν πέντε ουσιώδη χαρακτηριστικά του Cloud Computing, τα οποία εξηγούν τη σχέση και τη διαφορά που υφίσταται συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους.

- Αυτό-εξυπηρέτηση κατά απαίτηση (on-demand-self-service),
Οι καταναλωτές μπορούν να εφοδιάζονται ή να απορρίπτουν την παροχή υπηρεσιών, χωρίς ανθρώπινη διαμεσολάβηση με τον πάροχο υπηρεσιών.
- Ευρεία πρόσβαση στο δίκτυο,
Παρέχεται ικανότητα κάλυψης δικτύου και πρόσβαση μέσω τυποποιημένων μηχανισμών.
- Διάθεση πόρων (resource pooling),
Οι πόροι του παρόχου που χρησιμοποιούνται για υπολογιστικές διαδικασίες διατίθενται για να εξυπηρετούν πολλαπλούς χρήστες. Οι πόροι χρησιμοποιούν ένα μοντέλο <<πού-ενοικιαστή>> και συνδυάζοντας δυναμικά φυσικούς και εικονικούς πόρους ανταποκρίνονται στην εκάστοτε καταναλωτική ζήτηση.
- Ταχεία ελαστικότητα,
Οι υπηρεσίες μπορούν να παρέχονται γρήγορα και ελαστικά.
- Μετρούμενη υπηρεσία,

Τα συστήματα Cloud Computing οργανώνουν και βελτιστοποιούν αυτόματα τη διάθεση των πόρων παρέχοντας δυνατότητα μέτρησης των χρησιμοποιούμενων υπηρεσιών ανάλογα το είδος (αποθήκευσης, επεξεργασίας, εύρος σύνδεσης ή διαθέσιμων λογαριασμών χρηστών)

3.2.2 Μοντέλα υπηρεσίας νέφους

Υπάρχουν τρία μοντέλα υπηρεσίας νέφους και τρεις θεμελιώδεις κατηγορίες οι οποίες συχνά αναφέρονται και ως <<μοντέλο SPI>> (Software, Platform or Infrastructure as a service – Λογισμικό, Πλατφόρμα ή Δομή μιας υπηρεσίας).

1. Λογισμικό νέφους ως υπηρεσία (SaaS),

Αυτή είναι μια δυνατότητα που δίνεται στους χρήστες να χρησιμοποιούν τις εφαρμογές που διατίθενται στο νέφος.

2. Πλατφόρμα νέφους ως υπηρεσία (PaaS),

Κάνοντας χρήση αυτού του είδους των υπηρεσιών ο χρήστης μπορεί να λειτουργήσει εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί από τον ίδιο, χρησιμοποιώντας γλώσσα προγραμματισμού ή εργαλεία που παρέχονται από τον πάροχο της υπηρεσίας στη δομή του νέφους.

3. Δομή του νέφους ως υπηρεσία (IaaS),

Αυτή είναι μια δυνατότητα που παρέχεται στον καταναλωτή η οποία τον εφοδιάζει με λειτουργίες επεξεργασίας, αποθήκευσης, δικτύου και άλλους θεμελιώδεις υπολογιστικούς πόρους στους οποίους ο χρήστης μπορεί να αναπτύξει και να τρέξει οποιαδήποτε μορφής λογισμικό, όπως λειτουργικά συστήματα ή προγράμματα.

3.2.3 Μοντέλα ανάπτυξης νέφους

Υπάρχουν τέσσερα μοντέλα ανάπτυξης νέφους και χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

1. Δημόσιο νέφος (Public cloud),

Η δομή του δημόσιου νέφους είναι διαθέσιμη σε όλο το κοινό.

2. Ιδιωτικό νέφος (Private cloud),

Σε αυτού του είδους το νέφος η δομή είναι κοινή για έναν οργανισμό.

3. Νέφος κοινότητας (Community cloud),

Σε αυτού του είδους νέφους η δομή του είναι κοινή για αρκετούς οργανισμούς και υποστηρίζει μια συγκεκριμένη κοινότητα με κοινά ενδιαφέροντα και κοινές ανάγκες.

4. Υβριδικό νέφος (Hybrid cloud),

Το παρόν είναι ένα νέφος αποτελούμενο από δύο ή περισσότερα νέφη διαφορετικού είδους.

3.2.4 Σπουδαιότητα

Το cloud computing είναι σημαντικό, διότι ενσωματώνει μια σειρά από διαφορετικές τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί μέσα από την ιστορία των εμπορικών υπολογιστών. Πρόκειται για ένα σημαντικό εξελικτικό στάδιο. Η άνοδος του Διαδικτύου, η αύξηση του εύρους ζώνης στην επιφάνεια εργασίας, το κίνημα για την εξωτερική ανάθεση, η ανάπτυξη του Service Oriented Architecture (SOA), κινητών και ασύρματων υπολογιστών - όλα είναι μέρος της επανάστασης cloud computing.

Το cloud computing είναι επίσης σημαντικό διότι στο μέλλον μπορεί να επιφέρει αλλαγές όπως η κατάργηση της εκ των προτέρων δέσμευσης από τους χρήστες στο σύννεφο, επιτρέποντας έτσι στις εταιρείες να ξεκινήσουν με ένα μικρό κεφάλαιο και να υπάρχει αύξηση των πόρων του hardware μόνο όταν υπάρχει αύξηση στις ανάγκες τους. Ακόμα υπάρχει η δυνατότητα οι χρήστες να πληρώνουν για τη χρήση των υπολογιστικών πόρων σε βραχυπρόθεσμη βάση, για παράδειγμα να πληρώνουν (την χρήση επεξεργαστών με την ώρα, την αποθήκευση με την μέρα) και να τους ελευθερώνουν όταν δεν τους χρειάζονται. Υπάρχουν όμως και κάποια εμπόδια που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να αναπτυχθεί σωστά το cloud computing. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει αυτά τα προβλήματα και δίνει μια πιθανή λύση για να ξεπεραστούν. Τα τρία πρώτα αφορούν το συναίσθημα, τα επόμενα πέντε επηρεάζουν την ανάπτυξη και τα δύο τελευταία είναι πολιτικά και επιχειρηματικά εμπόδια.

Πίνακας 1 Εμπόδια και λύσεις για την ανάπτυξη του cloud computing

Εμπόδια	Λύσεις
1 Διαθεσιμότητα / Συνέχεια της επιχείρησης	Χρήση πολλαπλών πάροχοι Cloud
2 Κλείδωμα των δεδομένων	Τυποποιημένες εφαρμογές ή Υβριδικά μοντέλα cloud computing
3 Εμπιστευτικότητα των δεδομένων και δυνατότητα ελέγχου	Ανάπτυξη της κρυπτογράφησης, Firewalls
4 Σημεία συμφόρησης στη μεταφορά δεδομένων	Fedexing Disks
5 Απρόβλεπτη απόδοση	Υποστήριξη VM, Flash Memory
6 Κλιμακωτή αποθήκευση (scaling storage)	Να υπάρξουν πάροχοι που θα το εφεύρουν
7 Σφάλματα σε μεγάλα Κατανεμημένα Συστήματα	Να εφευρεθεί ένας Debugger που θα στηρίζεται σε κατανεμημένα VMs
8 Γρήγορη κλιμάκωση (scaling quickly)	Να εφευρεθεί ένας auto-Scaler που θα στηρίζεται στην ML
9 Φήμη των υπηρεσιών	Προσφορά φήμης-φύλαξης των υπηρεσιών, όπως αυτές για το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο
10 Άδεια χρήσης λογισμικού	Pay-for-use άδειες

3.3 Η εξέλιξη του Cloud Computing

Υπήρχε ανέκαθεν μια διαφωνία για την εξέλιξη του Cloud Computing και την ανάδειξη του Υπολογιστικού Πλέγματος (Grid Computing). Μερικοί θεωρούν ότι το Cloud Computing και το Grid Computing είναι το ίδιο φαινόμενο, ενώ άλλοι υποστηρίζουν ότι το πρώτο είναι επέκταση του δεύτερου. Για να βρούμε την αλήθεια πρέπει να μάθουμε για το Grid Computing (Stanoevska και Wozniak, 2009).

Το Grid Computing είναι ένα σύνθετο φαινόμενο το οποίο αναπτύχθηκε μέσα από τις πρώιμες εξελίξεις στις παράλληλες, διανεμημένες και υψηλής επίδοσης υπολογιστικές διαδικασίες (Hams et al. , 2006). Οι Stanoevska-Slabeva και Wozniak (2009) δίνουν τον εξής ορισμό:

<<Ένα υπολογιστικό πλέγμα (ότι δηλαδή αντιπροσωπεύει το Grid Computing) είναι μια δομή υπολογιστικών μηχανημάτων και λογισμικού που παρέχει εξαρτημένη, σταθερή, διάχυτη και φθηνή πρόσβαση σε υψηλές υπολογιστικές δυνατότητες.>>

Μετά από αυτό η ανάπτυξη της υποστήριξης γενικών πληροφοριακών συστημάτων με τη μορφή διαμοιραζόμενων πόρων άρχισε να μετριέται όπως και στο πραγματικό πρόβλημα πλέγματος. Σύμφωνα με τους Foster et al. (2001):

<<Το πραγματικό και συγκεκριμένο πρόβλημα που βρίσκεται κατω από τη σύλληψη του πλέγματος είναι η συντονισμένη διαμοίραση των πόρων και η επίλυση προβλημάτων με ένα δυναμικό, αποτελούμενο από πολλά ιδρύματα, εικονικό οργανισμό. Η διαμοίραση που ενδιαφέρει τον χρήστη δεν είναι πρωταρχικά η ανταλλαγή φακέλων αλλά η απευθείας πρόσβαση σε υπολογιστές, λογισμικό, δεδομένα και άλλους πόρους, όπως απαιτείται από ένα εύρος συντονιστικών στρατηγικών επίλυσης προβλημάτων και στρατηγικών

διαμεσολάβησης των πόρων, όπως αυτές αναδύονται από τη βιομηχανία, την επιστήμη και τη μηχανική.>>

Οι οικονομικοί οργανισμοί μπορούν να οριστούν, βάσει αυτού του ορισμού, ως μία δυναμική ομάδα από μονάδες, περαιτέρω ομάδες ή οργανισμούς που καθορίζουν τις συνθήκες και τους κανόνες διαμοίρασης πόρων (Joseph et al. , 2004).

Κάποιοι οργανισμοί έχουν ορίσει το Grid Computing βάσει χαρακτηριστικών του. Σύμφωνα με την IBM:

<<Το Grid Computing σου επιτρέπει να ενοποιείς το σύνολο των χρηστών τερματικών, των αποθηκευτικών συστημάτων και των δικτύων σε ένα μεγάλο σύστημα που ευνοεί τη διανομή δύναμης ενός πολλαπλού συστήματος σε έναν μόνο χρήστη για ένα συγκεκριμένο σκοπό. Σε ένα χρήστη το σύστημα φαίνεται να είναι ένα τεράστιο υπολογιστικό σύστημα.>> (Kourpas, 2006)

Η περιγραφή του Cloud Computing νωρίτερα και του Grid Computing εδώ δείχνουν ότι τα δύο αυτά έχουν πολλές ομοιότητες. Αυτό οδηγεί σε διένεξη όσον αφορά τις διαφορές στις δυο τεχνολογίες. Ο παρακάτω Πίνακας δείχνει διαφορές μεταξύ του Cloud Computing και του Grid Computing, όπως παρουσιάζεται από την Katarina Stanoevska-Slabeva Thomas Wozniak (2009).

	Grid Computing	Cloud Computing
Χρησιμοποιούμενα μέσα	Κατανομή σε πολλαπλούς διακομιστές (servers) μιας απλής διαδικασίας.	Εικονικοί servers, ένας server εκτελεί πολλές διαδικασίες ταυτόχρονα.
Τυπικό μοτίβο χρησιμοποίησης	Συνήθως χρησιμοποιείται για εκτέλεση εργασιών λ.χ. εκτέλεση ενός προγράμματος για περιορισμένο χρόνο.	Τακτική χρήση για υπηρεσίας μακρόχρονης υποστήριξης.
Επίπεδο χρήσης εικονικών μέσων	Περιορισμένη χρήση εικονικών μέσων	Εκτεταμένη χρήση εικονικών μέσων

Σχήμα 7 (πηγή Stanoevska-Slabeva και Wozniak) Τεχνικές διαφορές μεταξύ δύο Τεχνολογιών

Όπως παρουσιάζεται και στον παραπάνω Πίνακα αυτό που διαφοροποιεί το Cloud Computing από το Grid Computing είναι η έννοια της δημιουργίας εικονικών πόρων, έννοια που φέρεται συνήθως με το όνομα <<virtualization>>. Το Cloud Computing αξιοποιεί το virtualization προκειμένου να μεγιστοποιήσει την υπολογιστική ισχύ. Το virtualization, επειδή διαχωρίζει τη λογική από τη φυσική ύπαρξη, επιλύει κάποιες από τις προκλήσεις που εγείρονταν με τη χρήση του Grid Computing. Ενώ το Grid Computing πετυχαίνει μεγάλο επίπεδο χρησιμοποίησης

από τη κατανομή σε πολλαπλούς servers μιας απλής διαδικασίας, η δημιουργία εικονικών servers στο Cloud Computing πετυχαίνει τον ίδιο στόχο επιτρέποντας σε ένα server να υπολογίζει πολλές διαδικασίες ταυτόχρονα (Lynch, 2008).

Παράλληλα με τις διαφορές στον τρόπο εκμετάλλευσης της τεχνολογίας μεταξύ των δύο φαινομένων, παρατηρείται και διαφορά στο μοτίβο της χρησιμοποίησής τους. Ενώ το Grid Computing χρησιμοποιείται κυρίως όταν απαιτείται ανάθεση μιας εκτέλεσης εργασίας, ενώ το Cloud Computing χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει μακρόχρονη παροχή υπηρεσιών (EGEE, 2008).

Οι Foster et al. (2008) θέλοντας να καταλήξουν στο αν το Cloud Computing προήλθε από την εξέλιξη του Grid Computing, δίνουν μία περιγραφή ανάμεσα στη σχέση που υπάρχει μεταξύ τους:

<<Υποστηρίζουμε ότι το Cloud Computing όχι μόνο υπερέρχει του Grid Computing, αλλά αποτελεί εξέλιξη αυτού και στηρίζεται σε αυτό, καθώς αποτελεί την ραχοκοκαλιά του και τη δομή υποστήριξής του. Η εξέλιξη αποτελεί ένα αποτέλεσμα αλλαγής της εστίασης από μια δομή που να προσφέρει αποθήκευση και υπολογιστικούς πόρους (όπως αυτή του Grid Computing) σε μια δομή που να στηρίζεται στην οικονομία και να στοχεύει να παρέχει πιο αφηρημένους πόρους και υπηρεσίες (όπως στην περίπτωση του Cloud Computing).>>

Άρα μπορούμε να πούμε ότι το Grid Computing είναι η βάση για την εξέλιξη του Cloud Computing. Το δεύτερο αντιπροσωπεύει την αυξητική στάση προς την εξωτερική ανάθεση πόρων πληροφοριακών συστημάτων, όπως είναι η υπολογιστική ισχύ, ο αποθηκευτικός χώρος πληροφοριών ή οι επιχειρηματικές εφαρμογές και η απόκτηση αυτών των υπηρεσιών (Stanoevska-Slabeva και Wozniak, 2009).

3.4 Χαρακτηριστικά του Cloud Computing

Πιο πάνω αναφέρονται κάποια ουσιώδη χαρακτηριστικά τα οποία συμπεριλαμβάνονταν στον ορισμό που δίνει το NIST. Εδώ αναφέρονται αναλυτικά όλα τα χαρακτηριστικά που διαθέτει η Υπολογιστική νέφος (Cloud Computing) τα οποία είναι:

Agility (Ευκινησία) . Η ευκινησία βελτιώνεται συνεχώς με την δυνατότητα των χρηστών να εφοδιάζουν συνέχεια το cloud με νέες τεχνολογικές πηγές.

Application Programming Interface (API) . Υπάρχει προσβασιμότητα στο λογισμικό και αυτό επιτρέπει τους Η/Υ να αλληλεπιδρούν με το λογισμικό σύννεφο με τον ίδιο τρόπο όπως η διεπαφή του χρήστη διευκολύνει την αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστή.

Cost (Κόστος). Πρώτο και κύριο μέλημα αυτής της τεχνολογίας είναι να μειωθεί όσο γίνεται το κόστος. Οπότε χρησιμοποιώντας το μοντέλο διανομής του δημόσιου σύννεφου οι κεφαλαιουχικές δαπάνες που θα έπρεπε να κάνουμε μετατρέπονται

σε απλές λειτουργικές δαπάνες. Από εκεί και πέρα η τιμολόγηση με βάση την υπολογιστική χρησιμότητα του εκάστοτε παρόχου είναι πολύ μηδαμινό κόστος.

Η ανεξαρτησία της τοποθεσίας και της συσκευής, επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε συστήματα με τη χρήση ενός web browser ανεξάρτητα από τη θέση τους ή το τι συσκευή χρησιμοποιούν (π.χ., PC, κινητό τηλέφωνο). Όσον αφορά την υποδομή είναι off-site (συνήθως παρέχεται από τρίτους) και υπάρχει πρόσβαση μέσω του Διαδικτύου ενώ οι χρήστες μπορούν να συνδεθούν από οπουδήποτε.

Virtualization . Αυτό είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει στους διακομιστές και στις συσκευές αποθήκευσης να μοιράζονται έτσι ώστε να αυξηθεί η εκμετάλλευσή τους. Οι εφαρμογές μπορούν εύκολα να μεταφερθούν από έναν φυσικό διακομιστή σε έναν άλλο.

Multitenancy (Πολυμίσθωση). Η πολυμίσθωση επιτρέπει την κοινή χρήση των πόρων και των δαπανών σε ένα μεγάλο αριθμό χρηστών επιτρέποντας έτσι:

Την συγκέντρωση των υποδομών σε περιοχές με χαμηλότερο κόστος (όπως η ακίνητη περιουσία, η ηλεκτρική ενέργεια, κλπ.).

Την αύξηση της παραγωγικής ικανότητας (οι χρήστες δεν χρειάζεται να μηχανεύονται για να υπάρξουν υψηλά επίπεδα παραγωγικότητας).

Την αξιοποίηση και βελτίωση της αποδοτικότητας για τα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν μόνο το 10-20% της απόδοσής τους.

Reliability (Αξιοπιστία) . Η αξιοπιστία βελτιώνεται όταν χρησιμοποιούνται πολλαπλά πλεονάζουσες θέσεις, γεγονός που καθιστά καλά σχεδιασμένο το cloud computing. Επιπλέον είναι κατάλληλο για την συνέχεια της επιχείρησης αλλά και για να υπάρξει ανάκτηση από μία καταστροφή.

Επεκτασιμότητα και ελαστικότητα μέσω της δυναμικής ("on-demand"), η τροφοδότηση των πόρων γίνεται σε ένα λεπτόκοκκο και υπάρχει self-service βάση σε σχεδόν πραγματικό χρόνο χωρίς οι χρήστες να χρειάζεται να μηχανεύονται όταν έχουν φορτία αιχμής.

Performance (Απόδοση) . Η απόδοση παρακολουθείται και οι συνεπίεις και χαλαρά συνδεδεμένες αρχιτεκτονικές που έχουν κατασκευαστεί με τη χρήση διαδικτυακών υπηρεσιών, όπως η διασύνδεση των συστημάτων.

Security (Ασφάλεια) . Η Ασφάλεια θα μπορούσε να βελτιωθεί λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης των δεδομένων αλλά υπάρχουν ανησυχίες για την απώλεια του ελέγχου επί ορισμένων ευαίσθητων δεδομένων, καθώς και η έλλειψη ασφάλειας για αποθηκευμένους πυρήνες. Η ασφάλεια είναι συχνά τόσο καλή ή καλύτερη από ό, τι άλλα παραδοσιακά συστήματα, εν μέρει επειδή οι πάροχοι είναι σε θέση να αφιερώσουν πόρους για την επίλυση θεμάτων ασφαλείας επειδή πολλοί πελάτες

δεν μπορούν να αντέξουν οικονομικά. Ωστόσο, η πολυπλοκότητα της ασφάλειας αυξάνεται σημαντικά όταν τα δεδομένα είναι κατανομημένα σε μια ευρύτερη περιοχή ή μεγαλύτερο αριθμό συσκευών και σε πολυ-ενοικιαστήκα συστήματα που μοιράζονται μη συνδεδεμένους χρήστες. Επιπλέον, η πρόσβαση των χρηστών σε αρχεία καταγραφής ελέγχου ασφαλείας μπορεί να είναι δύσκολη ή αδύνατη. Εγκαταστάσεις Ιδιωτικού σύννεφου είναι εν μέρει ένα κίνητρο και αυτό βγαίνει από την επιθυμία των χρηστών να διατηρούν τον έλεγχο της υποδομής και να αποφευχθεί η απώλεια του ελέγχου της ασφάλειας των πληροφοριών.

Maintenance (Συντήρηση). Η συντήρηση των cloud computing εφαρμογών είναι πολύ πιο εύκολη και αυτό γιατί δεν χρειάζεται να εγκατασταθεί στον υπολογιστή του κάθε χρήστη και μπορεί να προσεγγιστεί από διάφορες θέσεις.

4 Μεθοδολογία

4.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της πτυχιακής αυτής εργασίας, όπως έχει προαναφερθεί και στον πρόλογο, έγινε έρευνα και παράλληλα συγγραφή μιας εργασίας η οποία παρουσιάστηκε σε συνέδριο. Αυτή η έρευνα έχει σαν θέμα την επιλογή ενός παρόχου Cloud Computing (Υπολογιστική Νέφους) από την μεριά του απλού χρήστη αναλύοντας το με την Πολυκριτήρια ανάλυση. Αυτό το θέμα επιλέχθηκε επειδή η Υπολογιστική Νέφους έχει δημιουργήσει νέα δεδομένα και έχει αλλάξει τον τρόπο λειτουργίας του Η/Υ και της επιχείρησης. Οι στόχοι της εργασίας ήταν να απαντηθούν τα παρακάτω ερωτήματα:

- Ποια είναι τα κριτήρια επιλογής παρόχου υπηρεσιών Cloud Computing για τον μέσο χρήστη;
- Πως σχετίζονται αυτά τα κριτήρια μεταξύ τους;
- Ποιοι είναι οι πιο κατάλληλοι πάροχοι υπηρεσιών Cloud Computing για τον μέσο χρήστη;
- Πως μπορεί να βοηθήσει το Cloud Computing στην Εκπαιδευτική Διαδικασία;

Επιλέχθηκαν 11 πάροχοι, οι οποίοι είναι οι πιο δημοφιλείς. Η επιλογή των παρόχων ήταν σύμφωνα με τις ακόλουθες κατευθυντήριες γραμμές:

- Θα πρέπει να προσφέρουν βασικές υπηρεσίες δωρεάν για τον τελικό χρήστη.
- Θα πρέπει να έχουν ένα αρκετά απλό περιβάλλον εργασίας, ώστε να είναι εύκολο να χρησιμοποιηθούν από το μέσο χρήστη. Αυτό είναι σημαντικό, καθώς μας ενδιαφέρει όχι μόνο αν οι ειδικοί χρησιμοποιούν αυτές τις υπηρεσίες, αλλά και οι μαθητές με μικρή σχετική εμπειρία.

- Θα πρέπει να χρησιμοποιείται επί του παρόντος ή σε κάποια στιγμή στο παρελθόν από τους ειδικούς που συμμετείχαν στην έρευνα ερωτηματολογίου.
- Η επαγγελματική κρίση μας χρησιμοποιήθηκε επίσης ως όλοι οι συγγραφείς της παρούσας εργασίας είναι έμπειροι χρήστες του Διαδικτύου.

Ο κατάλογος των παρόχων που χρησιμοποιούνται για την κατάταξη και κάποια σχόλια που περιγράφουν το καθένα παραθέτονται στον παρακάτω πίνακα.

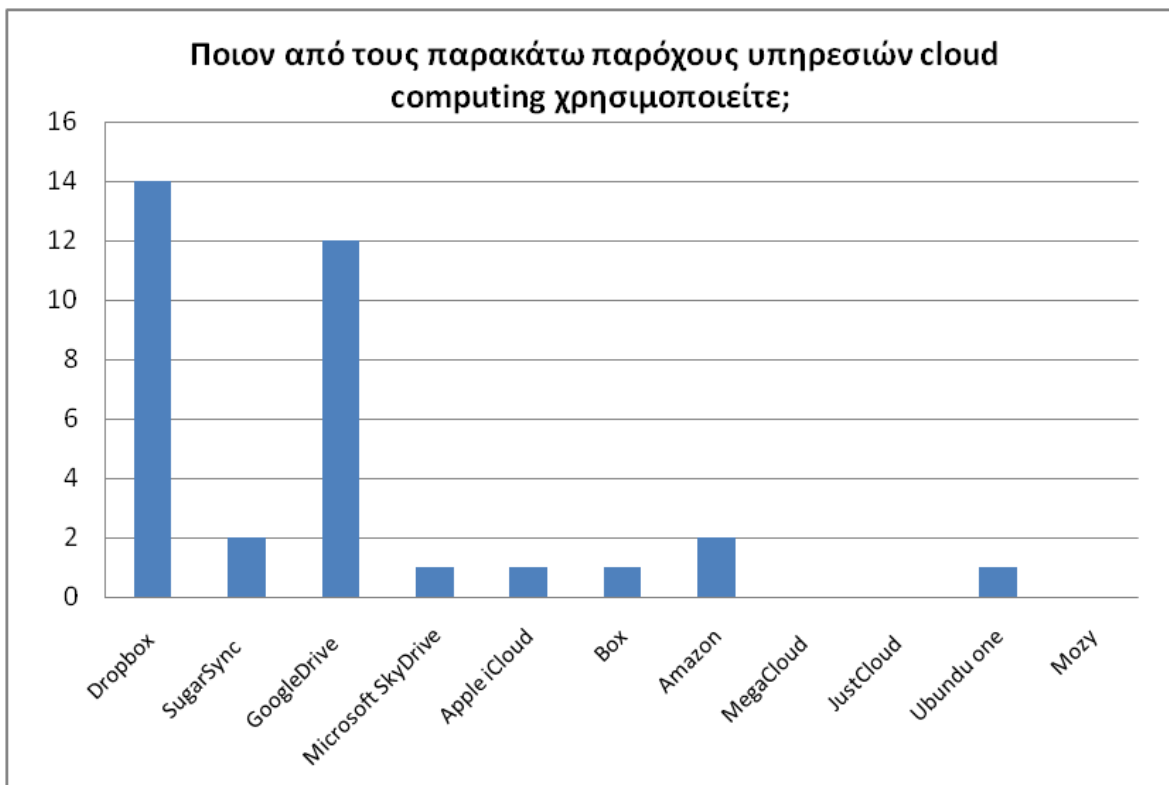
Πίνακας 2 Λίστα Παρόχων Cloud Computing

Όνομα Παρόχου	Ελεύθερος Χώρος	Ιστοσελίδα	Σχόλιο
Dropbox	2 GB	www.Dropbox.com	Το DropBox δημιουργήθηκε το 2007 και σε αυτό το διάστημα των 5 ετών έχει γίνει ένας ευρέως αναγνωρισμένος πάροχος Υπολογιστικής Νέφους με πάνω από 50 εκατομμύρια χρήστες. http://www.Dropbox.com/static/docs/DropboxFactSheet.pdf
SugarSync	5 GB	www.sugarsync.com	Ο πάροχος SugarSync δημιουργήθηκε το 2008 και μέχρι τώρα έχει αρκετά εκατομμύρια χρήστες σε όλο τον κόσμο, ενώ συνεργάζεται με εταιρείες όπως η Lenovo, η SanDisk, France Telecom-Orange, Korea Telecom και άλλοι που πιστοποιεί ότι είναι μια δημοφιλής υπηρεσία παροχής Υπολογιστικής Νέφους. http://www.sugarsync.com/company/ http://en.wikipedia.org/wiki/SugarSync
GoogleDrive	5 GB	drive.google.com	Η GoogleDrive από τη Google είναι αρκετά νέος ως πάροχος Cloud Computing, που δημιουργήθηκε στις 24 Απριλίου του 2012. Παρά το γεγονός ότι μόνο 4 μήνες στην αγορά, λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη δημοτικότητα του Google και τις υπηρεσίες της όπως το Google Docs, η υπηρεσία αυτή έχει πολύ καλές προοπτικές. http://en.wikipedia.org/wiki/Google_drive
Microsoft SkyDrive	7 GB	skydrive.live.com	Το SkyDrive της Microsoft δημιουργήθηκε την 1η Αυγούστου 2007 ως Windows Live Folders και υιοθέτησε το όνομα του τρέχοντος 8 ημέρες αργότερα, στις 9 Αυγούστου 2007. Έγινε διαθέσιμος στο ευρύ κοινό στις 22 Μαΐου 2008 και μέχρι σήμερα έχει περισσότερους από 100 εκατομμύρια χρήστες. Ένα ειδικό πλεονέκτημα είναι ότι έχει μεταφραστεί σε πολλές άλλες γλώσσες εκτός από τα αγγλικά σε σύγκριση με άλλους παρόχους. http://en.wikipedia.org/wiki/Skydrive

Apple iCloud	5 GB	www.apple.com/icloud	<p>Το iCloud της Apple ξεκίνησε να αναπτύσσεται στις 6 Ιούνη του 2011 και για το ευρύ κοινό στις 12 Οκτωβρίου του 2011. Μέχρι το τέλος του Ιουλίου 2012 είχαν καταγραφεί πάνω από 150 εκατομμύρια χρήστες. Οι υπηρεσίες του όμως παρέχονται μόνο για χρήστες συσκευών Apple.</p> <p>http://en.wikipedia.org/wiki/Icloud</p>
Box	5 GB	www.box.com	<p>Το Box.net ιδρύθηκε το 2005 και από τότε μετράει πάνω από 10 εκατομμύρια χρήστες, ενώ χρησιμοποιείται από περίπου 120.000 επιχειρήσεις.</p> <p>http://techcrunch.com/tag/box-net/</p> <p>http://en.wikipedia.org/wiki/Box_(service)</p>
Amazon	5 GB	www.amazon.com	<p>Το Amazon Cloud Drive είναι μια άλλη εφαρμογή του Amazon, το οποίο δημιουργήθηκε στις 29 Μαρτίου 2011. Το Cloud Drive δίνει περισσότερα οφέλη για τους χρήστες των υπηρεσιών της Amazon από τους απλούς χρήστες.</p> <p>http://en.wikipedia.org/wiki/Amazon_Cloud_Drive</p>
MegaCloud	8 GB	www.megacloud.com	<p>Το MegaCloud ιδρύθηκε το 2011 και είναι αρκετά δημοφιλής καθώς προσφέρει μεγάλη δωρεάν χωρητικότητα αποθήκευσης και είναι εισηγμένο σε πολλές top 10 λίστες των παρόχων υπηρεσιών cloud.</p> <p>http://www.cloudreviews.com/megacloud-review.html</p> <p>http://megacloud.com/</p> <p>http://www.bestfreecloudstorageproviders.com/</p>
JustCloud	Unlimited	www.justcloud.com	<p>Το JustCloud ξεκίνησε στις 25 Μαΐου 2010. Δεν έχει περιορισμούς αποθήκευσης αρχείων που το καθιστά πολύ ελκυστικό για τους χρήστες.</p> <p>http://www.justcloud.com/terms</p>
Ubuntu one	5 GB	one.ubuntu.com	<p>Το Ubuntu One ξεκίνησε το Μάιο του 2009 και μέχρι τον Ιούλιο του 2011 υπολογίζεται ότι είχε πάνω από 1 εκατομμύριο χρήστες. Το πλεονέκτημα ότι είναι open source το οποίο το καθιστά πολύ δημοφιλή.</p> <p>http://en.wikipedia.org/wiki/Ubuntu_One</p>
Mozy	2 GB	www.mozy.com	<p>Το Mozy ιδρύθηκε το 2005 και σήμερα έχει πάνω από 3 εκατομμύρια εγγεγραμμένους χρήστες και περίπου 80.000 εγγεγραμμένες επιχειρήσεις.</p> <p>http://www.mozy.com/news</p> <p>http://en.wikipedia.org/wiki/Mozy</p>

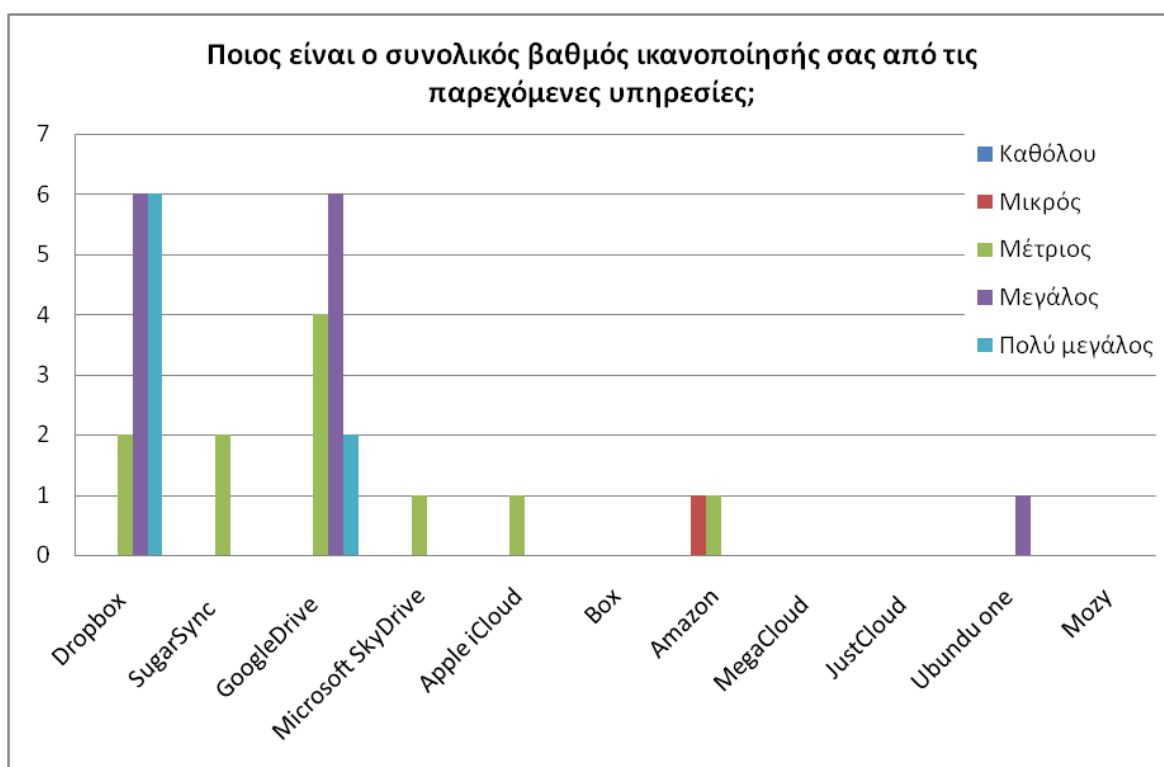
Για να υπάρχει πιο μεγάλη εγκυρότητα στην εργασία επιλέχθηκαν 20 ειδικοί (20 μέλη ΔΕΠ και ΕΠ Τμημάτων Πληροφορικής Πανεπιστημίων και ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης με μεγάλη σχετική εμπειρία) για να απαντήσουν σε ένα ερωτηματολόγιο για να βαθμολογήσουν τις διμερές σχέσεις και να επιλέξουν ποια κριτήρια είναι τα πιο σημαντικά έτσι ώστε να επιλεγθούν οι πάροχοι. Τα κριτήρια (συγκεκριμένα 12) επιλέχθηκαν μέσα από βιβλιογραφική έρευνα αλλά και συγκεκριμένη ερώτηση στο ερωτηματολόγιο στους 20 ειδικούς για να προτείνουν δικό τους κριτήριο. Αυτά τα κριτήρια τα βαθμολόγησαν οι ειδικοί με μία 5-βάθμια κλίμακα Likert. Μαζεύοντας όλες τις απαντήσεις, βγήκε για το κάθε κριτήριο ο Σταθμικός Μέσος Όρος ο οποίος είναι το άθροισμα γινομένου και έτσι δημιουργήθηκε μια τελική κατάταξη από την οποία επιλέξαμε τα 6 πιο σημαντικά κριτήρια με βάση τις γνώμες των ειδικών.

Εκτός, όμως, από την επιλογή των κριτηρίων οι ειδικοί απάντησαν σε κάποιες ακόμα ερωτήσεις και οι απαντήσεις τους έχουν ενδιαφέρον. Το σχήμα (Σχήμα 8) απεικονίζει τους παρόχους υπηρεσιών Cloud Computing που χρησιμοποιούνται από τους ειδικούς, λαμβάνοντας μέρος στην έρευνα του ερωτηματολογίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι το DropBox φαίνεται να είναι πρώτο, καθώς είναι ένας από τους παλαιότερους παρόχους και έχει καταφέρει να αποκτήσει ένα υψηλό επίπεδο ικανοποίησης (Σχήμα 9) από τους χρήστες του και ένα εξίσου υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης (σχήμα 10). Το Amazon και το iCloud της Apple προσανατολίζονται κυρίως σε ένα συγκεκριμένο τύπο χρήστη, τον χρήστη των προϊόντων τους, και ως τέτοια δεν είναι πλήρως χρήσιμα στο υπόλοιπο των χρηστών. Παρ' όλα αυτά, έχουν συμπεριληφθεί στην έρευνά μας λόγω της υψηλής αξίας του εμπορικού σήματος και των δύο εταιρειών και του τεράστιου αριθμού χρηστών που έχουν. Από την άλλη πλευρά, MegaCloud, JustCloud και Mozy φαίνονται υστερούν σε σχέση με τον ανταγωνισμό. Τα δύο πρώτα έχουν εισέλθει στην αγορά πρόσφατα και δεν έχουν ένα διάσημο εμπορικό σήμα. Ειδικά στην περίπτωση του JustCloud το οποίο προσφέρει απεριόριστο χώρο αποθήκευσης αρχείων, κάτι που θα μπορούσε να προσφέρει πολλά στους χρήστες. Ωστόσο, φαίνεται ότι δεν έχει φθάσει σε ένα επίπεδο ωριμότητας αρκετό ώστε να είναι σε θέση να ανταγωνιστεί DropBox και GoogleDrive και το ίδιο μπορεί να ειπωθεί για τον Mozy ανεξάρτητα από το γεγονός ότι ο συγκεκριμένος πάροχος υπάρχει εδώ και αρκετό καιρό.



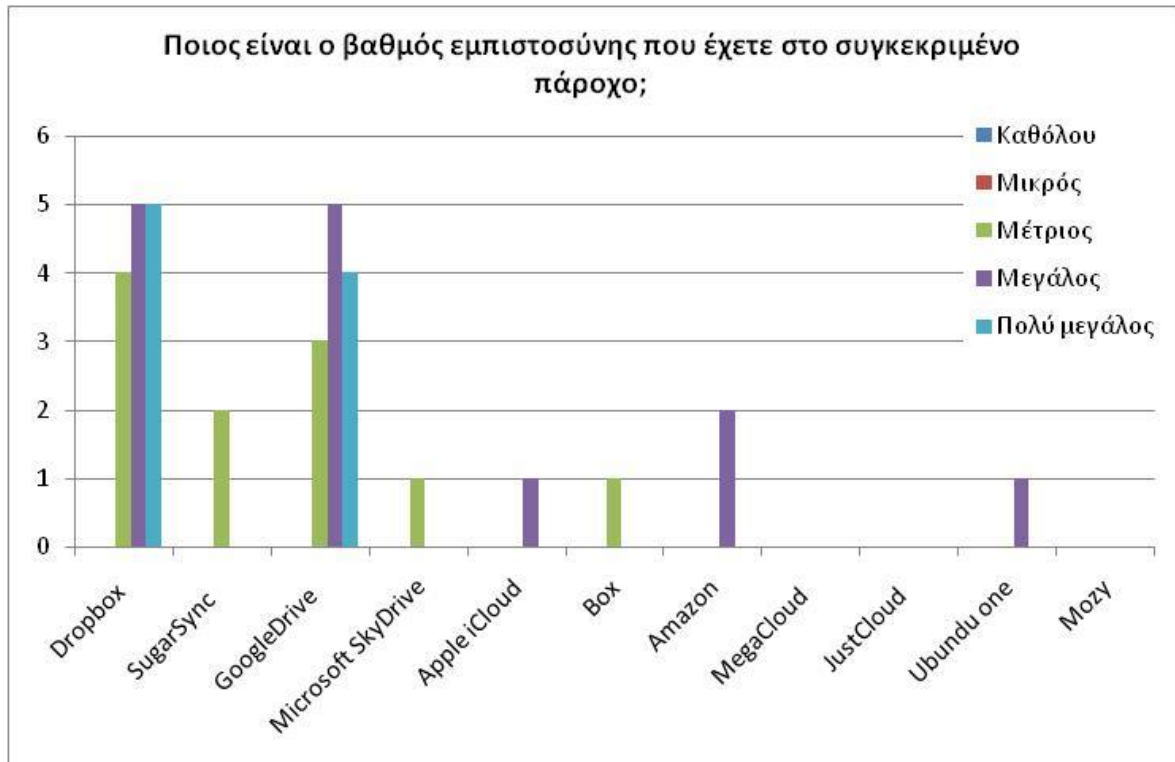
Σχήμα 8 Υπηρεσίες Cloud computing που χρησιμοποιούνται από την ομάδα εμπειρογνομόνων

Όσον αφορά το επίπεδο ικανοποίησης από τις υπηρεσίες cloud computing, οι ειδικοί αρκετά έως πολύ ικανοποιημένοι από το Dropbox, και πολύ ικανοποιημένοι από το GoogleDrive. Η σχετικά μικρή χρήση των άλλων παρόχων δεν επιτρέπει την κατάρτιση ασφαλών σχετικά συμπερασμάτων (Σχήμα 9).



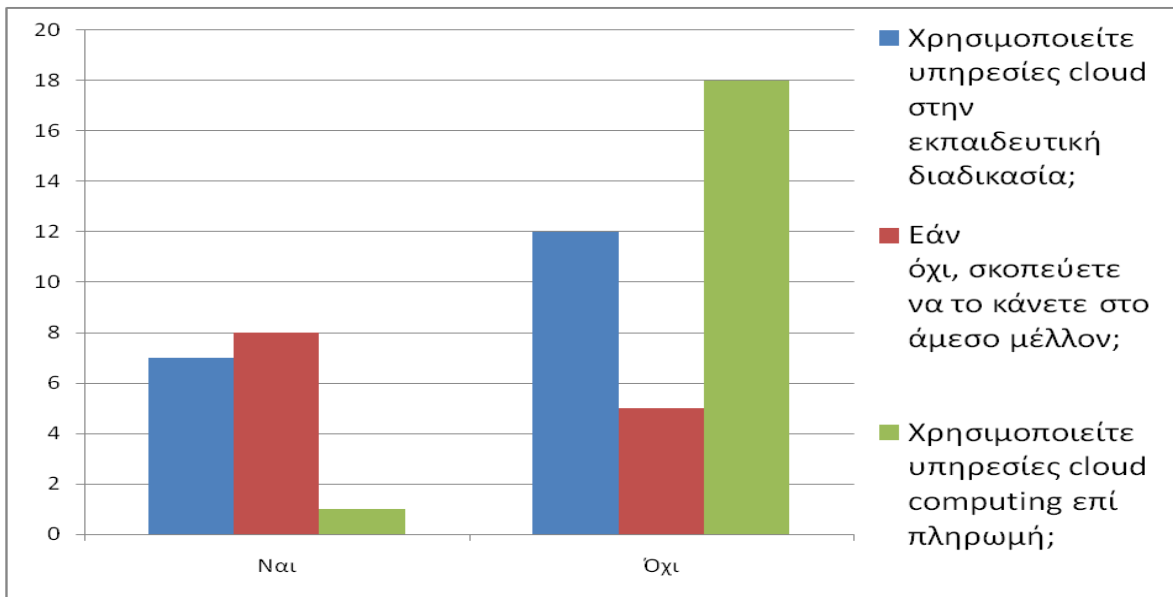
Σχήμα 9 Επίπεδο της ικανοποίησης των παρόχων για το cloud computing από τους ειδικούς

Τα αποτελέσματα σχετικά με το επίπεδο της εμπιστοσύνης στις υπηρεσίες του cloud computing είναι παρόμοια: οι χρήστες δείχνουν μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στο Dropbox και στο GoogleDrive. Οι λίγοι ειδικοί που χρησιμοποιούν Amazon, η Apple iCloud και Ubundu δηλώνουν επίσης ένα πολύ καλό επίπεδο εμπιστοσύνης (Σχήμα 10).



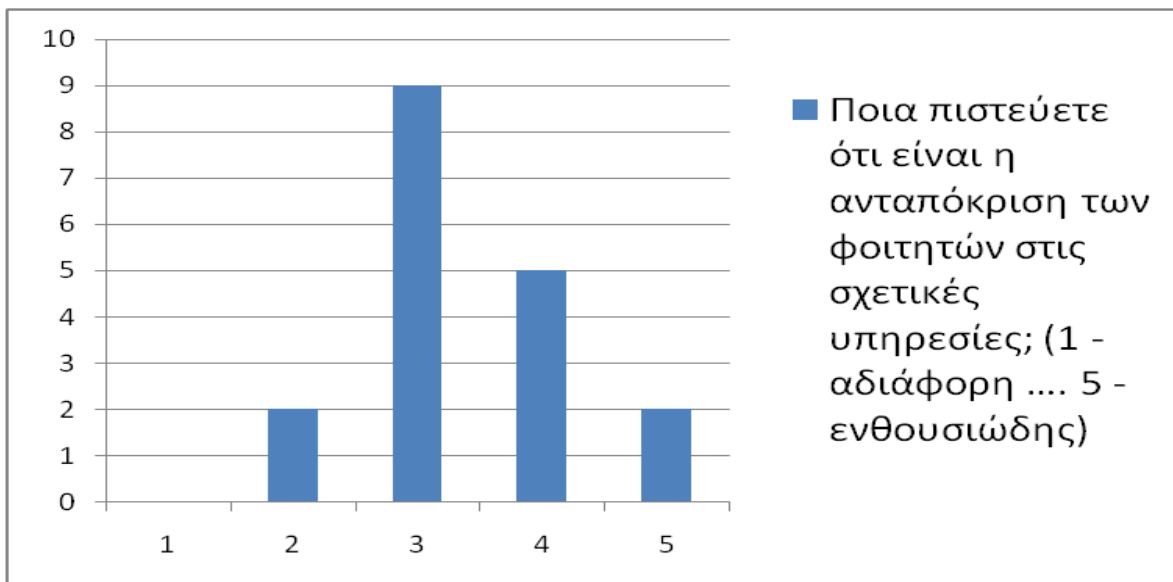
Σχήμα 10 Επίπεδο εμπιστοσύνης στους παρόχους το cloud computing από τους ειδικούς

Στο Σχήμα 11 είναι οπτικά εμφανές ότι οι περισσότεροι από τους ειδικούς δεν χρησιμοποιούν το cloud computing στα μαθήματά τους, και αυτό φίνεται από το ότι μόνο επτά από τις 19 έγκυρες απαντήσεις (37%) είναι θετικές. Παρά το γεγονός ότι, οι περισσότεροι από τους ειδικούς θεωρούν με μια θετική άποψη την υιοθέτηση υπηρεσιών cloud computing στο εγγύς μέλλον. Επίσης, η συντριπτική πλειοψηφία των ειδικών δηλώνουν ότι είναι ικανοποιημένοι με το επίπεδο των υπηρεσιών που απολαμβάνουν δωρεάν και δεν ενδιαφέρονται για την αναβάθμιση σε μια πιο ενισχυμένη αλλά δαπανηρή επίπεδο.



Σχήμα 11 Επίπεδο της χρήσης των υπηρεσιών cloud computing στη διδασκαλία

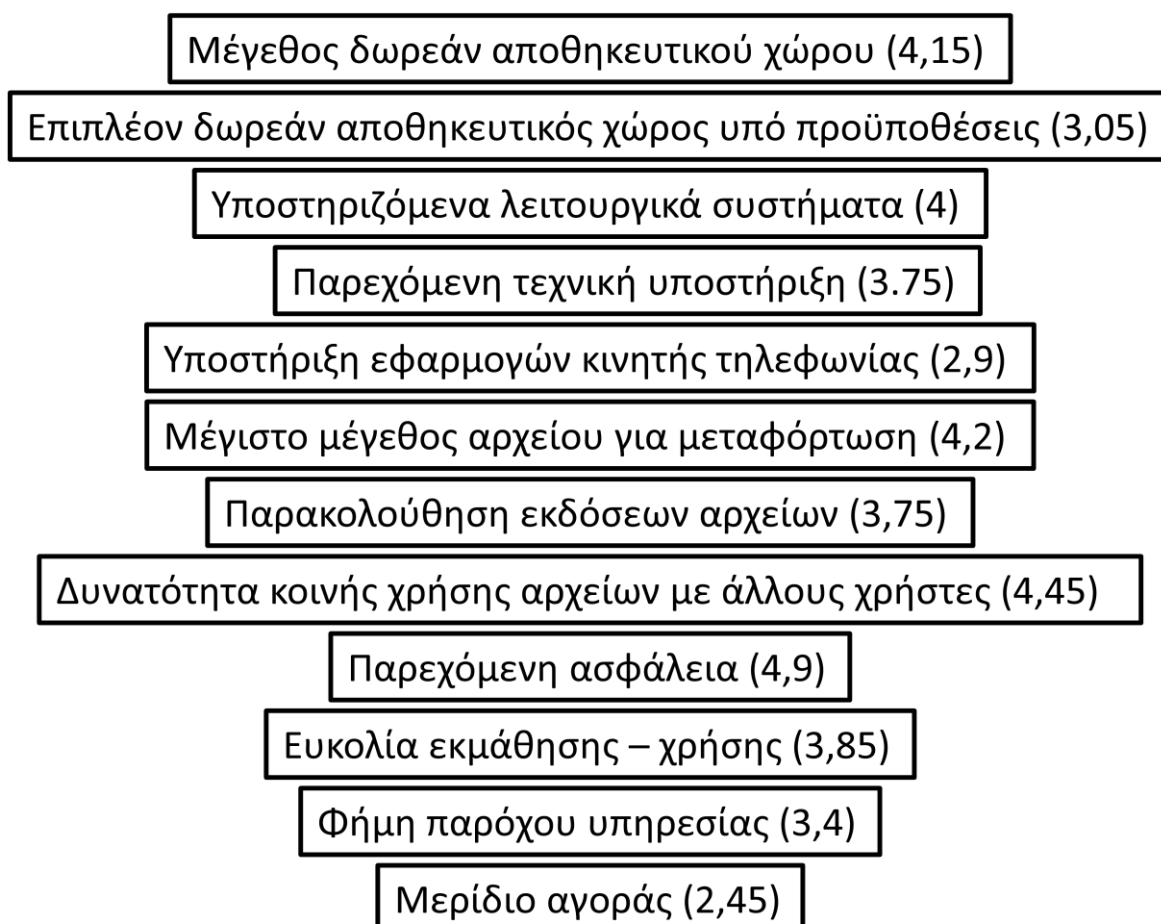
Τέλος, η ομάδα των ειδικών αξιολογεί την ανταπόκριση των φοιτητών για το cloud computing με μια θετική άποψη (Σχήμα 12), αλλά πρέπει να υπάρχει στο μυαλό μας ότι αυτά είναι IT ιδρύματα ή σχετικοί φοιτητές και ως εκ τούτου είναι πιο εξοικειωμένοι με τις τεχνολογίες πληροφορικής από το μέσο όρο σπουδαστών .



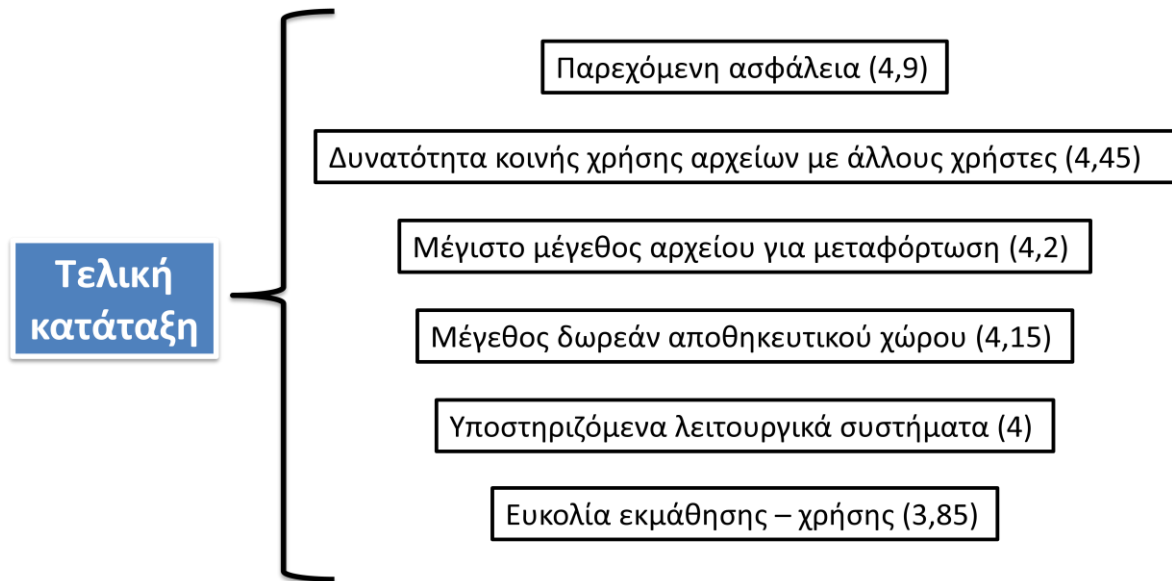
Σχήμα 12 Εκτίμηση της ανταπόκρισης των φοιτητών στις υπηρεσίες cloud με την ομάδα ειδικών

4.2 Προσδιορισμός βαρών κριτηρίων

Τα αρχικά κριτήρια ήταν τα παρακάτω, σε παρένθεση είναι ο ΣΜΟ (Σταθμικός Μέσος Όρος) όπως αναφέρθηκε και παραπάνω:



Από αυτά τα 12 επιλέχθηκαν τα έξι πιο σημαντικά, βάζοντάς τα σε μία τελική κατάταξη:



Στη συνέχεια, η μέθοδος που επιλέχθηκε για τον προσδιορισμό των βαρών των κριτηρίων είναι η έμμεση εκτίμηση από διμερείς συγκρίσεις. Στη μέθοδο αυτή ο αποφασίζων, οι 20 ειδικοί στην περίπτωση μας, καλείται να συγκρίνει ανά δύο και σε όρους σημαντικότητας μεμονωμένα κριτήρια ή ενώσεις κριτηρίων. Στο σύστημα των διμερών συγκρίσεων (pairwise comparisons) που παράγεται, οι ειδικοί αναζητούν τα σχετικά βάρη τα οποία επαληθεύουν το σύστημα αυτό. Επειδή ενδέχεται το σύστημα των ανισοεξισώσεων να είναι κενό, επιστρατεύεται η τεχνική του Προγραμματισμού Στόχων (Goal Programming) του γραμμικού προγραμματισμού για την επίλυσή του, με το ελάχιστο σφάλμα συμβατότητας του συστήματος.

Ποιό συγκεκριμένα η περίπτωσή μας έχει ως εξής:

Έχουμε 6 κριτήρια τα οποία τα θεωρούμε ως τα πιο σημαντικά στο πολυκριτήριο πρόβλημά μας. Μετά από σχετικές ερωτήσεις που έγιναν στους ειδικούς αποφασίσαμε ότι:

- Το κριτήριο << Παρεχόμενη ασφάλεια >> είναι το πιο σημαντικό και με διαφορά από τα υπόλοιπα.
- Η σειρά σημαντικότητας των κριτηρίων είναι όπως στην τελική κατάταξη
- Τα κριτήρια << Μέγιστο μέγεθος αρχείου για μεταφόρτωση >> και << Μέγεθος δωρεάν αποθηκευτικού χώρου >> είναι περίπου ισοδύναμα
- Το κριτήριο << Ευκολία εκμάθησης – χρήσης >> είναι το λιγότερο σημαντικό και με διαφορά από τα υπόλοιπα
- Κανένα κριτήριο (εκτός του << Παρεχόμενη ασφάλεια >>) δεν μπορεί να έχει βάρος πάνω από 0,25
- Όλα τα βάρη των κριτηρίων έχουν άθροισμα μονάδα

Αναπτύξαμε ένα μοντέλο προγραμματισμού στόχου με βάση τις παραπάνω σχέσεις. Αυτό το μοντέλο μπορεί να οριστεί ως εξής:

Κριτήρια	Επιλεγμένα	Μέση τιμή βάρους	Βάρος
Παρεχόμενη ασφάλεια	✓	4.90	w ₁
Δυνατότητα κοινής χρήσης αρχείων με άλλους χρήστες	✓	4.45	w ₂
Μεγιστο μέγεθος αρχείου για μεταφόρτωση	✓	4.20	w ₃
Μέγεθος δωρεάν αποθηκευτικού χώρου	✓	4.15	w ₄
Υποστηριζόμενα λειτουργικά συστήματα	✓	4.00	w ₅
Ευκολία εκμάθησης - χρήσης	✓	3.85	w ₆

$$\text{Min } Z = s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5 + s_6 + s_7 + s_8 + s_9 + s_{10} + s_{11} + s_{12} + s_{13} + s_{14} + s_{15}$$

με την επιφύλαξη των ακόλουθων στόχων,

$$w_1 - w_2 + s_1 \geq 0.01$$

$$w_2 - w_3 + s_2 \geq 0.01$$

$$w_3 - w_4 + s_3 \geq 0.01$$

$$w_4 - w_5 + s_4 \geq 0.01$$

$$w_5 - w_6 + s_5 \geq 0.01$$

$$w_1 - s_6 \geq 0.25$$

$$w_1 + s_{15} \leq 0.3$$

$$w_2 + s_7 \leq 0.25$$

$$w_3 + s_8 \leq 0.25$$

$$w_4 + s_9 \leq 0.25$$

$$w_5 + s_{10} \leq 0.25$$

$$w_6 + s_{11} \leq 0.1$$

$$w_6 - s_{14} \geq 0.05$$

$$W_3 - W_4 + S_{12} - S_{13} = 0$$

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 = 1$$

και οι περιορισμοί μη-αρνητικότητας,

$w_i \geq 0$, για $i = 1, 2 \dots 6$ (w_i είναι το βάρος που κατανέμεται σε καθένα από τα 6 κριτήρια) και

$s_i \geq 0$, για $i = 1, 2 \dots 15$ (s_i είναι η μεταβλητή απόκλιση από τους στόχους)

Τέλος, το παραπάνω μοντέλο προγραμματισμού στόχου έχει λυθεί με τη χρήση του λογισμικού βελτιστοποίησης LINGO V.11 (www.lindo.com) και έδωσέ τα ακόλουθα αποτελέσματα: $w_1 = 0,25$, $w_2 = 0,185$, $w_3 = 0,175$, $w_4 = 0,175$, $0,165 = W_5$ και $W_6 = 0,05$, ελαχιστοποιώντας έτσι τη συνολική απόκλιση (αξία της αντικειμενικής συνάρτησης Z) περίπου στο μηδέν.

4.3 Εφαρμογή AHP

Η μέθοδος της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP) αναπτύχθηκε από τον Saaty (1980,1994) και σε μία κατάσταση που δίνεται και απαιτείται να παρθεί μία απόφαση δημιουργεί μια δομή ιεραρχίας για να αντιπροσωπεύει τις σχέσεις των σημαντικών στοιχείων. Είναι μια ευρέως χρησιμοποιημένη και τεκμηριωμένη Πολυκριτήρια Μέθοδος παρά το γεγονός ότι έχει δεχθεί κριτική (Bana e Costa και Vansnick, 2008, Belton V και Stewart TJ, 2002), η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις φαίνεται δικαιολογημένη. Από την μεριά του συγγραφέα, η μεθοδολογία αυτή έχει τα όριά της, ειδικά σε ένα πρόβλημα απόφασης με πολλές εναλλακτικές λύσεις, αλλά αποδίδει καλά σε περιβάλλον εργαστηρίου με μια μικρή ομάδα ειδικών ως συμμετέχοντες και έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στο παρελθόν σε ένα παρόμοιο θέμα (Tuncay 2010).

Όπως ήδη έχει προαναφερθεί και πιο πάνω, η AHP τέθηκε σε εφαρμογή από 20 ειδικούς κατά την διάρκεια ενός οργανωμένου εργαστηρίου (workshop). Τους δώθηκε μια μέρα πριν η λίστα με τους παρόχους και τους ζητήθηκε να εξοικειωθούν με τις υπηρεσίες που προσφέρονται από κάθε ένα από τους παρόχους ανεξάρτητα από το αν χρησιμοποιούν επί του παρόντος ένα συγκεκριμένο πάροχο ή όχι. Όλοι τους ήταν εξοικειωμένοι με την μέθοδο AHP και έτοιμοι να εκτελέσουν τις διπλές συγκρίσεις της μεθόδου. Το πακέτο λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε είναι το Expert Choice V.11 (www.expertchoice.com), το οποίο είναι αποκλειστικά αφιερωμένο στη μέθοδο AHP και παρέχει αναλυτική και λεπτομερή αποτελέσματα.

Οι πίνακες 3 έως 8 παρουσιάζουν τις συγκρίσεις των σχετικών προτιμήσεων σε σχέση με καθένα από τα 6 κριτήρια

Πίνακας 3 Σύγκριση της σχετικής προτίμησης σε σχέση με το κριτήριο "Παρεχόμενη Ασφάλεια"
(ασυνέπεια: 0.02)

	SugarSync	GoogleDrive	Microsoft SkyDrive	Apple iCloud	Box.net	Amazon	MegaCloud	JustCloud	Ubundu One	Mozy
Dropbox	2	2	7	5	3	6	7	2	7	3
SugarSync		1	7	4	2	5	6	1	6	2
GoogleDrive			7	4	2	5	6	1	6	2
Microsoft SkyDrive				1/4	1/6	1/3	1/2	1/7	1/2	1/6
Apple iCloud					1/3	2	3	1/4	3	1/3
Box.net						4	5	1/2	5	1
Amazon							2	1/5	2	1/4
MegaCloud								1/6	1	1/5
JustCloud									6	2
Ubundu One										1/5

Πίνακας 4 Σύγκριση της σχετικής προτίμησης σε σχέση με το κριτήριο "Δυνατότητα κοινής χρήσης αρχείων με άλλους χρήστες" (ασυνέπεια: 0.01)

	SugarSync	GoogleDrive	Microsoft SkyDrive	Apple iCloud	Box.net	Amazon	MegaCloud	JustCloud	Ubundu One	Mozy
Dropbox	1/2	1	3	4	2	1/2	3	2	5	1
SugarSync		2	4	5	3	1	4	3	6	2
GoogleDrive			3	4	2	1/2	3	2	5	1
Microsoft SkyDrive				2	1/2	1/4	1	1/2	3	1/3
Apple iCloud					1/3	1/5	1/2	1/3	2	1/4
Box.net						1/3	2	1	4	1/2
Amazon							4	3	6	2
MegaCloud								1/2	3	1/3
JustCloud									4	1/2
Ubundu One										1/5

Πίνακας 5 Σύγκριση της σχετικής προτίμησης σε σχέση με το κριτήριο "Μέγιστο μέγεθος αρχείου για μεταφόρτωση" (ασυνέπεια: 0,04)

	SugarSync	GoogleDrive	Microsoft SkyDrive	Apple iCloud	Box.net	Amazon	MegaCloud	JustCloud	Ubundu One	Mozy
Dropbox	1	6	8	8	8	3	1	7	3	4
SugarSync		6	8	8	8	3	1	7	3	4
GoogleDrive			3	4	4	1/4	1/6	2	1/4	1/3
Microsoft SkyDrive				2	2	1/6	1/8	1/2	1/6	1/5
Apple iCloud					1	1/7	1/8	1/3	1/7	1/6
Box.net						1/7	1/8	1/3	1/7	1/6
Amazon							1/3	5	1	2
MegaCloud								7	3	4
JustCloud									1/5	1/4
Ubundu One										2

Πίνακας 6 Σύγκριση της σχετικής προτίμησης σε σχέση με το κριτήριο "Μέγιστο μέγεθος δωρεάν αποθηκευτικού χώρου" (ασυνέπεια: 0,02)

	SugarSync	GoogleDrive	Microsoft SkyDrive	Apple iCloud	Box.net	Amazon	MegaCloud	JustCloud	Ubundu One	Mozy
Dropbox	1/4	1/4	1/6	1/4	1/4	1/4	1/7	1/8	1/4	1
SugarSync		1	1/3	1	1	1	1/4	1/6	1	4
GoogleDrive			1/3	1	1	1	1/4	1/6	1	4
Microsoft SkyDrive				3	3	3	1/2	1/4	3	6
Apple iCloud					1	1	1/4	1/6	1	4
Box.net						1	1/4	1/6	1	4
Amazon							1/4	1/6	1	4
MegaCloud								1/3	4	7
JustCloud									6	8
Ubundu One										4

Πίνακας 7 Σύγκριση της σχετικής προτίμησης σε σχέση με το κριτήριο "Υποστηριζόμενα Λειτουργικά Συστήματα" (ασυνέπεια: 0,01)

	Sugar Sync	Google Drive	Microsoft Skydrive	Apple cloud	Box.net	Amazon	MegaCloud	JustCloud	Ubundu One	Mozy
Dropbox	1/2	2	1	7	1/2	2	2	1	2	2
SugarSync		4	2	8	1	4	4	2	4	4
GoogleDrive			1/2	6	1/4	1	1	1/2	1	1
Microsoft SkyDrive				7	1/2	2	2	1	2	2
Apple iCloud					1/8	1/6	1/6	1/7	1/6	1/6
Box.net						4	4	2	4	4
Amazon							1	1/2	1	1
MegaCloud								1/2	1	1
JustCloud									2	2
Ubundu One										1

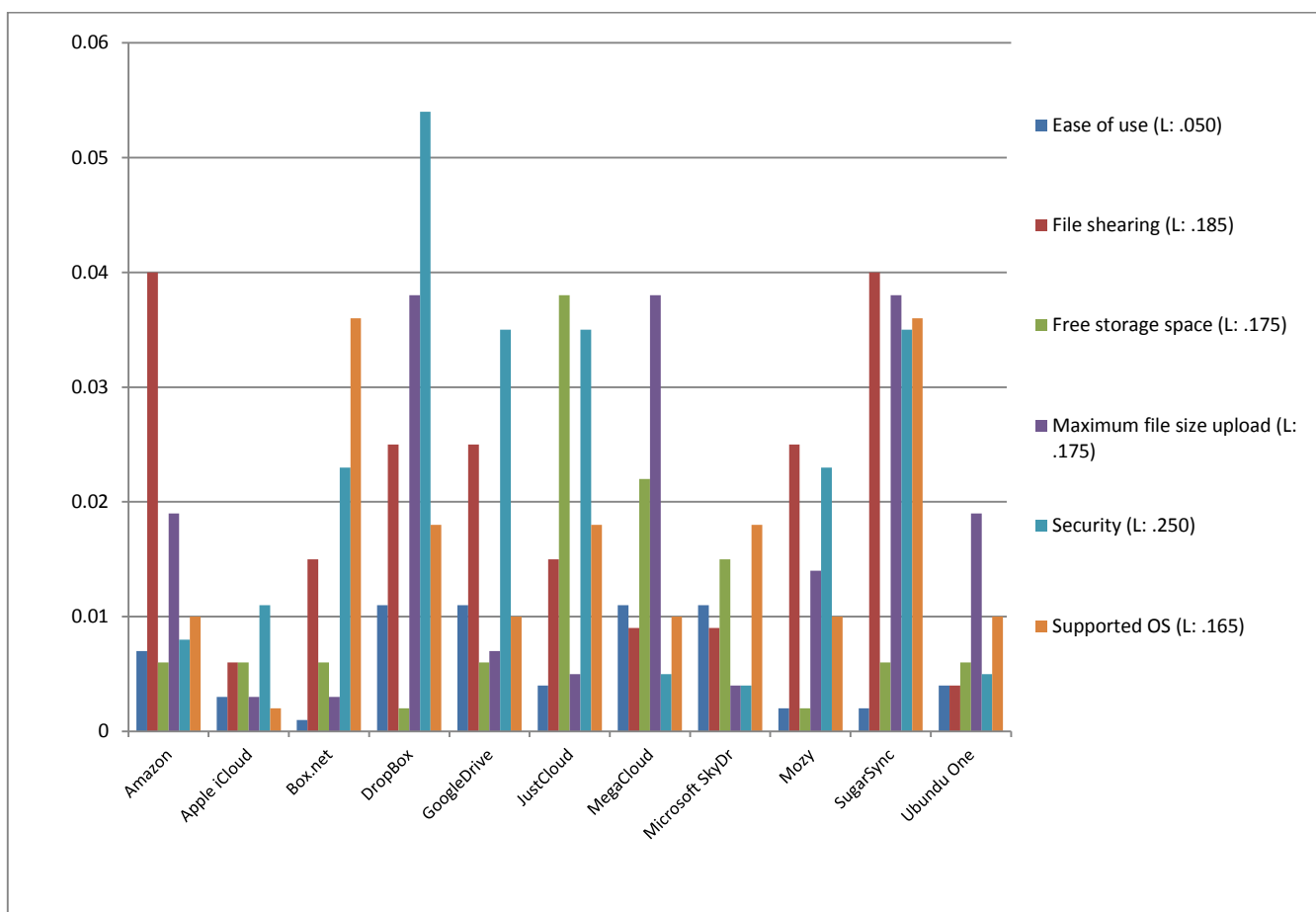
Πίνακας 8 Σύγκριση της σχετικής προτίμησης σε σχέση με το κριτήριο "Ευκολία εκμάθησης - χρήσης" (ασυνέπεια: 0,01)

	SugarSync	GoogleDrive	Microsoft SkyDrive	Apple iCloud	Box.net	Amazon	MegaCloud	JustCloud	Ubundu One	Mozy
Dropbox	5	1	1	4	6	2	1	3	3	5
SugarSync		1/5	1/5	1/2	2	1/4	1/5	1/3	1/3	1
GoogleDrive			1	4	6	2	1	3	3	5
Microsoft SkyDrive				4	6	2	1	3	3	5
Apple iCloud					3	1/3	1/4	1/2	1/2	2
Box.net						1/5	1/6	1/4	1/4	1/2
Amazon							1/2	2	2	4
MegaCloud								3	3	5
JustCloud									1	3
Ubundu One										3

Η ασυνέπεια σε όλους τους πίνακες είναι πολύ κάτω από 0,10, προσφέροντας ένα αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας, πράγμα που σημαίνει ότι τόσο η κατάσταση έντασης και η κατάσταση μεταβατικότητας είναι πολύ ικανοποιημένες. Τέλος, Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε το βαθμό της απόκλισης από συνέπεια σε όλες τις αποφάσεις επειδή δεν είναι δυνατό στις περισσότερες περιπτώσεις να έχουμε τέλεια συνέπεια (Keeney 2002, Saaty 1980).

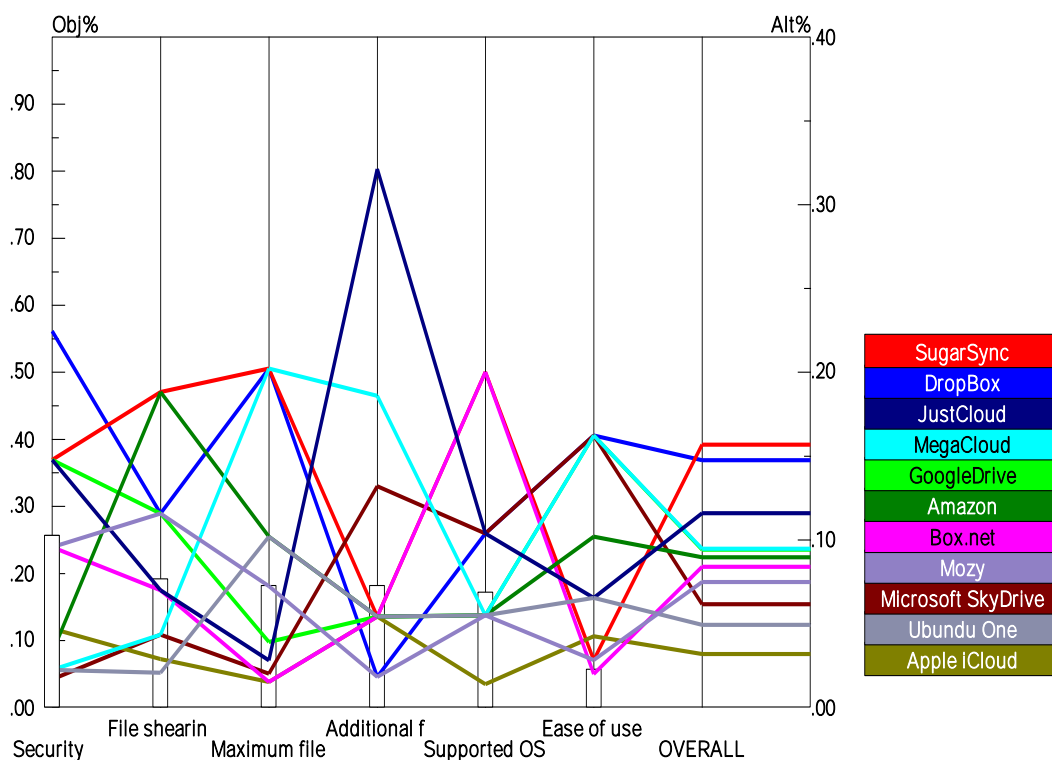
5 Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο υπάρχουν τα αποτελέσματα από την μέθοδο AHP που εφαρμόστηκε στα παρακάτω σχήματα. Στο σχήμα 15 απεικονίζονται τα αποτελέσματα για κάθε κριτήριο και κάθε εναλλακτική λύση. Αξίζει να σημειωθεί ότι την πιο υψηλή τιμή στο σχήμα αυτό την έχει το DropBox στο κριτήριο security, αυτό είναι λίγο έως πολύ αναμενόμενο διότι το DropBox είναι ο πιο αναγνωρισμένος πάροχος cloud computing. Ενώ την πιο χαμηλή τιμή την έχει το Box.net στο κριτήριο ease of use.



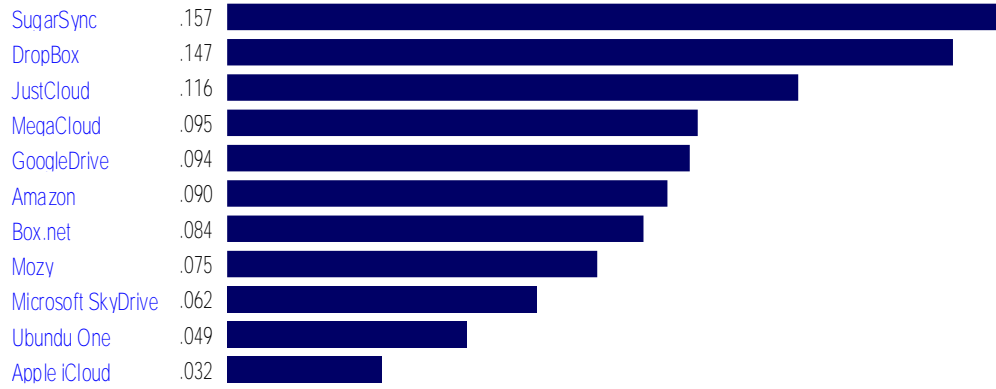
Σχήμα 13 Αποτελέσματα για κάθε κριτήριο και κάθε εναλλακτική του (Το L δηλώνει το βάρος του κάθε κριτηρίου).

Στο σχήμα 16 απεικονίζονται οι επιδόσεις του κάθε πάροχου στο εκάστοτε κριτήριο. Την υψηλότερη τιμή επίδοσης την έχει το JustCloud στο κριτήριο additional file size ενώ την πιο χαμηλή την μοιράζονται δύο πάροχοι, το Box.net και Apple iCloud στο κριτήριο Maximum file upload.

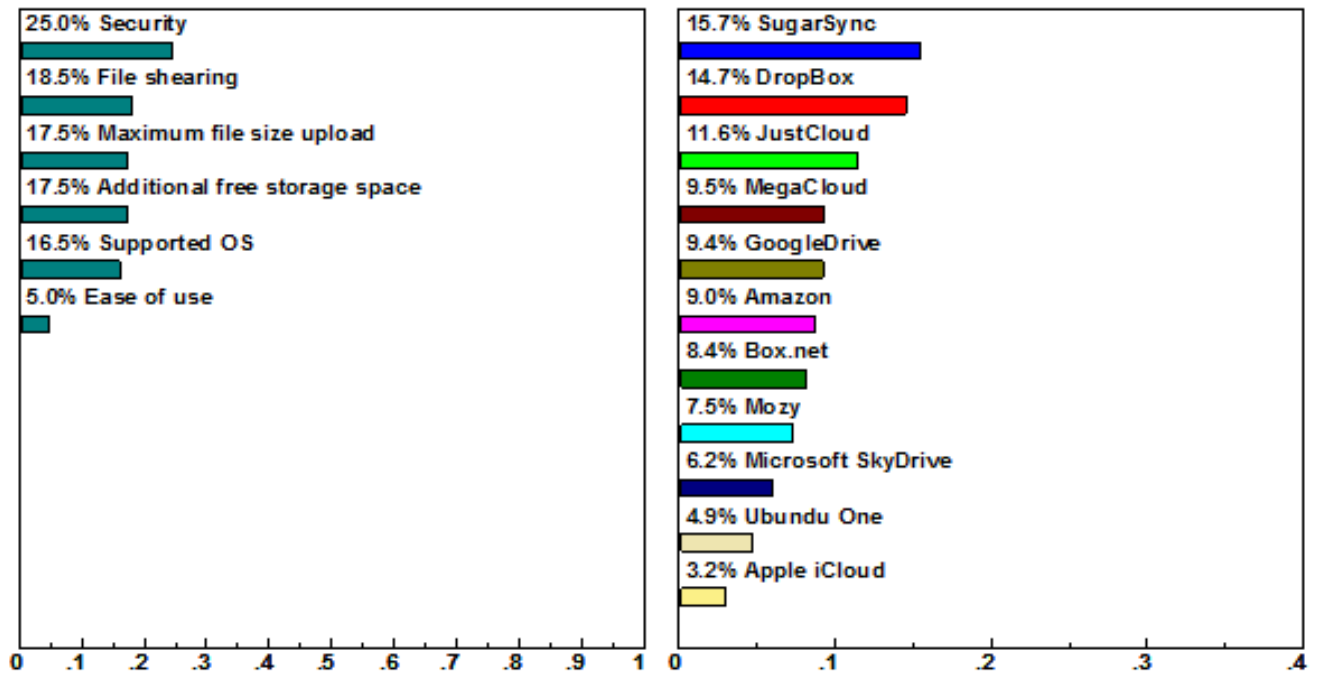


Σχήμα 14 Η επίδοση των παρόχων στο κάθε κριτήριο.

Overall Inconsistency = .02



Σχήμα 15 Τα αποτελέσματα από την AHP.



Σχήμα 16 Τελικά αποτελέσματα της AHP μαζί με τα ποσοστά των βαρών.

Στα σχήματα 17 και 18 απεικονίζονται τα τελικά αποτελέσματα της AHP μεθόδου. Η δεξιά πλευρά του πίνακα του Σχήματος 18 παρουσιάζει την τελική κατάταξη των παρόχων που προσφέρουν υπηρεσίες υπολογιστικού νέφους. Το SugarSync οδηγεί το δρόμο, ενώ ακολουθείται πολύ στενά από το DropBox και λίγο πιο πίσω βρίσκεται το JustCloud. Το Apple iCloud έχει καταταγεί τελευταίο, παρ'όλα αυτά κάποιος πρέπει πάντα να έχει κατά νου ότι η συγκεκριμένη υπηρεσία είναι αφιερωμένη κυρίως στους χρήστες των προϊόντων της Apple.

6 Συμπεράσματα

Το όλα σκεπτικό πίσω από αυτή την πτυχιακή εργασία οφείλεται στην προσπάθεια που έγινε ώστε να αποφασιστεί η επιλογή και η χρήση των κατάλληλων παρόχων υπολογιστικού νέφους (cloud computing). Έτσι αποφασίστηκε να εξεταστεί βαθιά το ζήτημα αυτό με τις σχετικές γνωμοδοτήσεις μιας ομάδας ειδικών που αποτελείται από ακαδημαϊκούς. Με στόχο να παρθούν αξιόπιστα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκε η πολυκριτήρια μέθοδος AHP.

Χωρίς αμφιβολία οι πάροχοι GoogleDrive και DropBox είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον από τους ειδικούς που συμμετείχαν. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας αυτής απέδωσαν ως τον καλύτερο πάροχο το SugarSync, παρά το γεγονός ότι δεν χρησιμοποιείται ευρέως από τους ειδικούς. Δεύτερο έρχεται το DropBox, όπως αναμενόταν να βρίσκεται στις δύο πρώτες θέσεις, ενώ τρίτο το JustCloud. Την πρώτη πεντάδα κλείνουν τα MegaCloud και GoogleDrive αντιστιχα. Από κει και πέρα τις υπόλοιπες θέσεις έχουν πάρει τα Amazon την έκτη θέση, Box.net την έβδομη θέση, Mozy την όγδοη θέση, SkyDrive της Microsoft την ένατη θέση, Ubundu One την δέκατη θέση ενώ την τελευταία θέση έχει πάρει το iCloud της Apple. Το DropBox και το GoogleDrive βρίσκονται και τα δύο στην πρώτη πεντάδα και σε κάθε περίπτωση είναι αυτά που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον από τους ειδικούς και τους φοιτητές. Για αυτό το λόγο η προτεινόμενη τελική επιλογή θα πρέπει να γίνει μεταξύ SugarSync, DropBox και GoogleDrive.

Τέλος, ήταν προφανές τόσο από βιβλιογραφική ανασκόπηση όσο και από την πρακτική άσκηση πάνω σε αυτό το θέμα ότι η υπηρεσία Υπολογιστικού Νέφους (Cloud Computing) 'Ήρθε για να μείνει'. Πρόταση η οποία επίσης εκφράζεται από όλους τους ειδικούς που συμμετείχαν στην έρευνα. Ως επιβεβαίωση των παραπάνω, νέοι πάροχοι του Cloud Computing προκύπτουν συνεχώς έτοιμοι να ανταγωνιστούν για ένα μερίδιο της αγοράς η οποία αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bana e Costa, C. A. and Vansnick, J. C. (2008) 'A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP', *European Journal of Operational Research*, Vol. 187 No. 3, pp. 1422 - 1428.

Belton, V. and Stewart, T. J. (2002) *Multi criteria decision analysis - An integrated approach*. Kluwer Academic Publishers, Boston.

Buyya, R., Yeo, C. S., Venugopal, S., Broberg, J. and Brandic, I. (2009) 'Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype and reality for delivering computing as the 5th utility', *Future Generation Computer Systems*, Vol. 25 No. 6, pp. 599 - 616.

Dagdeviren, M. (2008) 'Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE', *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 19, pp. 397 - 406.

Ercan, T. (2010) 'Effective use of cloud computing in educational institutions', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 2 No. 2, pp. 938 - 942.

Forman, E. and Selly, M. A. (2002) *Decisions by objectives*, World Scientific Publishing Company.

Keeney, R. L. (2002) 'Common mistakes in making value trade-offs'. *Operational Research*, Vol. 50 No. 6, pp. 935 – 945.

Saaty, T. L. (1980) *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill International, New York.

Saaty, T. L. (1994) 'How to make a decision: the analytic hierarchy process', *Interfaces*, Vol. 24 No. 6, pp.19 - 43.

Saaty, T. L. (2008) 'Decision making with the analytic hierarchy process', *International Journal of Services Sciences*, Vol. 1 No. 1, pp. 83 - 98.

Siskos, Y. (2008) '*Decision models*, New Technologies publications, Athens (in Greek).

Subashini, S. and Kavitha, V. (2011) 'A survey on security issues in service delivery models of cloud computing', *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 34 No. 1, pp. 1 - 11.

Vaidya, O. S. and Kumar, S. (2006) 'Analytic hierarchy process: An overview of applications', *European Journal of Operational Research*, Vol. 169 No. 1, pp. 1 - 29.

Yang, H. and Tate, M. 'Where are we at with Cloud Computing?: A Descriptive Literature Review' in *ACIS 2009 proceedings*, Paper 26, <http://aisel.aisnet.org/acis2009/26>

Zhang, Q., Cheng, L. and Boutaba, R. (2010) 'Cloud computing: state-of-the-art and research challenges', *Journal of Internet Services and Applications*, Vol. 1 No. 1, pp. 7 - 18.

Bouyssou, D. (1990): "Building criteria: a prerequisite for MCDA" in *Readings in MCDA*, Bana e Costa (Ed.); Springer Verlag, Germany: 58-80

Roy, B. (1991), "The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods", *Theory and Decision*, 31, 49-73.

Ευαγγέλου Χ. & Καρακαπιλίδης Ν. 2005, *Πολυκριτήρια Ανάλυση και Λήψη Αποφάσεων*, σημειώσεις διαλέξεων για το μάθημα «Τεχνολογίες Υποστήριξης Συνεργασίας», Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πάτρας – Πολυτεχνική σχολή, Πάτρα έτος 2006-2007.

Ευαγγέλου Χ. 2005, «Ολοκλήρωση Συστημάτων Υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων και διαχείρισης οργανωσιακής γνώσης.» Διδακτορική Διατριβή στο Πανεπιστήμιο Πατρών.

Παναγιωτόπουλος Π. 2007, « Εφαρμογή Πολυκριτήριας Μεθοδολογίας ΑHP για την επιλογή ERP. » Διπλωματική εργασία στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Σπανός Σ. 2004, « Αναλυτική μελέτη πολυκριτηριακών Μεθοδων λήψης αποφάσεων.» Διπλωματική εργασία στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Παναγιώτου Ν. 2010, *Συστήματα Αποφάσεων Πολυκριτήρια Ανάλυση*, σημειώσεις διαλέξεων από την ερευνητική ομάδα βιομηχανικού λογισμικού, Τμήμα μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ιστοσελίδες:

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης – Ψηφιοθήκη <http://invenio.lib.auth.gr>
<http://invenio.lib.auth.gr/record/127518/files/05%20%CE%9A%CE%B5%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%203%20%CE%97%20%CE%B5%CF%80%CE%BF%CF%87%CE%AE%20%CF%84%CE%BF%CF%85%20Cloud%20Computing.pdf?version=1>

Wikipedia [online]

http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing

(Accessed 21 December 2012).

12ο Ειδικό Συνέδριο Ελληνικής Εταιρίας Επιχειρησιακών Ερευνών

9η Συνάντηση Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων

http://ad.teikav.edu.gr/mcda/9th_mcda_teikav/Archike.html

Cloud Security Alliance <https://cloudsecurityalliance.org/>

International Society on Multiple Criteria Decision Making

<http://www.mcdmsociety.org/index.html>

High School operations Research

http://www.hsor.org/what_is_or.cfm?name=mutli-attribute_utility_theory

<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658810600661508#tabModule>