

Διαδικασία πολυκριτήριας ανάλυσης

Αναλυτική ιεραρχική μέθοδος

Ευτυχία Γ. Ναθαναήλ

Βόλος, 2016-2017

Περιεχόμενα

1. Ιστορική αναδρομή
2. Ταυτότητα – Χρησιμότητα
3. Ταξινόμηση προβλημάτων λήψης απόφασης
4. Επιστημονικές προσεγγίσεις
5. Μεθοδολογία, μέθοδοι, μοντέλα και τεχνικές επίλυσης
6. Πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων
7. Διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης
8. Πληροφοριακά συστήματα υποστήριξης πολυκριτήριας ανάλυσης
9. Παράδειγμα πολυκριτήριας ανάλυσης & AHP
10. Μελλοντική έρευνα
11. Βιβλιογραφικές πηγές

Ιστορική αναδρομή (1/2)

- **Πρώτη** τεκμηριωμένη προσπάθεια επιστημονικής αντιμετώπισης του προβλήματος της σύνθεσης πολλαπλών κριτηρίων: εργασία του Pareto (1896) ο οποίος έθεσε τις απαραίτητες αξιωματικές βάσεις, εισάγοντας, παράλληλα, μια εκ των πλέον βασικών εννοιών της σύγχρονης πολυκριτήριας ανάλυσης, την **έννοια της αποδοτικότητας** (efficiency).
- Οι Von Neumann και Morgenstern (1944) αναπτύσσουν τη **θεωρία της χρησιμότητας**, η οποία αποτελεί τη βάση ενός από τα κυριότερα μεθοδολογικά ρεύματα.
- **Μεταπολεμικά** ο Koopmans (1951) επέκτεινε την έννοια της αποδοτικότητας του Pareto εισάγοντας την **έννοια του αποδοτικού συνόλου**, δηλαδή του συνόλου των εναλλακτικών δραστηριοτήτων οι οποίες δεν κυριαρχούνται από καμία άλλη εναλλακτική δραστηριότητα.
- **Στη δεκαετία του 1960** οι Charnes και Cooper (1961) συνέδεσαν τη θεωρία του γραμμικού προγραμματισμού και της πολυκριτήριας ανάλυσης (**goal programming**) και ο Fishburn (1965) επέκτεινε τη θεωρία της χρησιμότητας σε προβλήματα λήψης αποφάσεων υπό καθεστώς **πολλαπλών κριτηρίων**.

Ιστορική αναδρομή (2/2)

- **Τέλη δεκαετίας 1960:** η πολυκριτήρια ανάλυση άρχισε να απασχολεί και τους Ευρωπαίους επιχειρησιακούς ερευνητές. Πρωτοπόρος ο Roy (1968) ο οποίος ανέπτυξε τη θεωρία των **σχέσεων υπεροχής** (outranking relations) και θεωρείται ο ιδρυτής της «Ευρωπαϊκής σχολής» της πολυκριτήριας ανάλυσης.
- Επόμενες δύο δεκαετίες (**1970-1990**): η πολυκριτήρια ανάλυση αναπτύχθηκε ραγδαία σε θεωρητικό επίπεδο αλλά και σε θέματα πρακτικών εφαρμογών για την αντιμετώπιση διαφόρων πολύπλοκων πραγματικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Προς την κατεύθυνση αυτή σημαντική υπήρξε η συμβολή της **πληροφορικής και των υπολογιστών**.
- Πολυκριτήρια λήψη ή Υποστήριξη αποφάσεων (Multi-Criteria Decision Making ή Decision Support): **ανάπτυξη με ταχείς ρυθμούς τα τελευταία 30 χρόνια** στο πλαίσιο της επιχειρησιακής έρευνας και της επιστήμης των αποφάσεων, με τη συμμετοχή όλων των **εμπλεκομένων** στη λήψη της τελικής απόφασης (Multi Stakeholder Multi Criteria Decision Support - MSMCDS).

Χρησιμότητα – Ταυτότητα Πολυκριτήριας Ανάλυσης (1/3)

- **Συστηματική λογική και μαθηματική προσέγγιση** που βοηθάει τους υπεύθυνους να επιλύσουν διλήμματα που προκύπτουν από την επιδίωξη πολλών και πιθανώς αντικρουόμενων στόχων και επιδιώξεων.
- Η επίλυση πολύπλοκων και ιδιαίτερα σημαντικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων πρέπει να πραγματοποιείται μέσω πολύπλευρης και πολυδιάστατης ανάλυσης.
- Η εφαρμογή της πολυκριτήριας ανάλυσης μπορεί να μην οδηγεί σε βέλτιστες λύσεις, αλλά διευκολύνει να λυφθούν ικανοποιητικές αποφάσεις, οι οποίες ανταποκρίνονται στη γενικότερη πολιτική που ακολουθεί ο υπεύθυνος για τη λήψη απόφασης.
- **Λαμβάνει υπόψη** πολλαπλά κριτήρια, προσεγγίζοντας λύσεις που να εμφανίζουν τις καλύτερες επιδόσεις στην πλειονότητα των κριτηρίων ή που να ικανοποιούν τα περισσότερα εμπλεκόμενα μέρη – involved stakeholders.

Χρησιμότητα – Ταυτότητα Πολυκριτήριας Ανάλυσης (2/3)

- **Χρήσιμη:** γιατί αντιμετωπίζει καταστάσεις κατά τις οποίες έχουμε σύγκρουση στόχων-κριτηρίων (επίλυση διαφωνιών όταν στην απόφαση εμπλέκονται πολλοί αποφασίζοντες ο καθένας με διαφορετικό σύστημα προτιμήσεων) ή υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα στη μέτρηση των επιδόσεων των εναλλακτικών λύσεων ή υπάρχει πρόβλημα δικαιολόγησης κατά τη διατύπωση των προτιμήσεων του λήπτη αποφάσεων.
- **Ταυτότητα:** Σύνθεση όλων των παραμέτρων ώστε να επιτευχθεί η λήψη ορθολογικών αποφάσεων.
- **Διαφοροποίηση** από άλλες εναλλακτικές προσεγγίσεις: όχι απλή σύνθεση όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος, αλλά πραγματοποίηση της αναγκαίας σύνθεσης υπό το πρίσμα της πολιτικής λήψης αποφάσεων και του συστήματος προτιμήσεων και αξιών, το οποίο συνειδητά ή ασυνείδητα χρησιμοποιεί ο λήπτης αποφάσεων (policy and decision maker).

Χρησιμότητα – Ταυτότητα Πολυκριτήριας Ανάλυσης (3/3)

Το πολυκριτηριακό πρόβλημα χαρακτηρίζεται από τρεις βασικές παραμέτρους (Roy, 1996):

- ✓ Ένα σύνολο εναλλακτικών ενεργειών (ή απλά εναλλακτικών) $A = \{\alpha_1, \dots, \alpha_p\}$. Ο όρος εναλλακτική αναφέρεται στο αντικείμενο της απόφασης το οποίο και πρέπει να είναι πεπερασμένου αριθμού και καλά ορισμένο.
- ✓ Μια συνεπή οικογένεια κριτηρίων $G = \{g_1, \dots, g_q\}$. Κάθε κριτήριο συνιστά μια πραγματική συνάρτηση ορισμένη στο σύνολο A των εναλλακτικών, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει τη σύγκριση των εναλλακτικών α_1 και α_2 , μέσω της χρήσης των μεγεθών $g_j(\alpha_1)$ και $g_j(\alpha_2)$.
- ✓ Το σύνολο των μεγεθών των εναλλακτικών ενεργειών ως προς τα κριτήρια δίνεται συνήθως στην μορφή ενός πίνακα (πολυκριτηριακού πίνακα), με τις γραμμές να αναφέρονται στα κριτήρια και τις στήλες στις εναλλακτικές ενέργειες.

Ταξινόμηση προβλημάτων λήψης απόφασης (1/2)

Τα πολυκριτηριακά προβλήματα απόφασης ταξινομούνται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες (προβληματικές) (Roy, 2005), όπου κάθε μια από αυτές χαρακτηρίζει το είδος της απόφασης και κατευθύνει τη διαδικασία υποστήριξης καθώς και το είδος των τελικών αποτελεσμάτων:

(α) Επιλογής:

Επιλογή του υποσυνόλου των “βέλτιστων” εναλλακτικών ενεργειών (π.χ Κατά τη χωροθέτηση ενός εργοστασίου η προβληματική αφορά την επιλογή της πλέον κατάλληλης τοποθεσίας).

(β) Ταξινόμησης:

Σύνδεση της κάθε εναλλακτικής σε προκαθορισμένες κατηγορίες (Κατά την αξιολόγηση μιας αίτησης δανειοδότησης, το αντικείμενο της ανάλυσης αφορά την αξιολόγηση του αιτούντα και την ταξινόμηση του είτε στην κατηγορία των αποδεκτών αιτήσεων είτε στην κατηγορία των απορριπτέων αιτήσεων).

Ταξινόμηση προβλημάτων λήψης απόφασης (2/2)

(γ) Κατάταξης:

Κατάταξη των εναλλακτικών σύμφωνα με την φθίνουσα (ή αύξουσα) τάξη προτίμησης

(Κατά την εισαγωγή των μαθητών σε μια πανεπιστημιακή σχολή απαιτείται η κατάταξη τους βάσει της βαθμολογίας του στις εισαγωγικές εξετάσεις).

(δ) Περιγραφική:

Η τελευταία αυτή προβληματική αποσκοπεί στην διασαφήνιση του πολυκριτηριακού προβλήματος και στην απόδοση μιας ξεκάθαρης εικόνας που θα βοηθήσει στην υποστήριξη της απόφασης.

Στα πλαίσια της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, κάθε παράγοντας που επιδρά στη λήψη μιας απόφασης θεωρείται ότι έχει τη μορφή ενός κριτηρίου.

Επιστημονικές προσεγγίσεις (1/2)

Οι επιστημονικές μέθοδοι και οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις της πολυκριτήριας ανάλυσης εμπίπτουν σε 4 βασικές κατηγορίες (Pardalos et al, 1995):

1. Μέθοδοι **Πολυκριτήριου Μαθηματικού Προγραμματισμού - Multiobjective Mathematical Programming** (π.χ. Μέθοδος Προγραμματισμού Στόχων – Goal Programming).

Συστήματα Αξιών (Value Systems) - Αμερικάνικη Σχολή: Στοχεύει στην κατασκευή ενός συστήματος αξίας το οποίο προκύπτει από τη σύνθεση των προτιμήσεων των ληπτών αποφάσεων σε ότι αφορά τα κριτήρια.

2. Μέθοδοι **Πολυκριτήριας Θεωρία Χρησιμότητας - Multiattribute Utility Theory** (π.χ. Αναλυτική Διαδικασία Ιεράρχησης)

Πολυκριτήρια Βελτιστοποίηση (Multicriteria Optimization). Αποτελεί μια επέκταση του Μαθηματικού Προγραμματισμού. Στοχεύει στην επίλυση προβλημάτων όπου δεν υπάρχουν διακριτές εναλλακτικές επιλογές και οι στόχοι είναι περισσότεροι του ενός.

Επιστημονικές προσεγγίσεις (1/2)

3. Μέθοδοι Τεχνικών Σχέσεων Υπεροχής - **Outranking Relations** (π.χ. Μέθοδοι Electre)

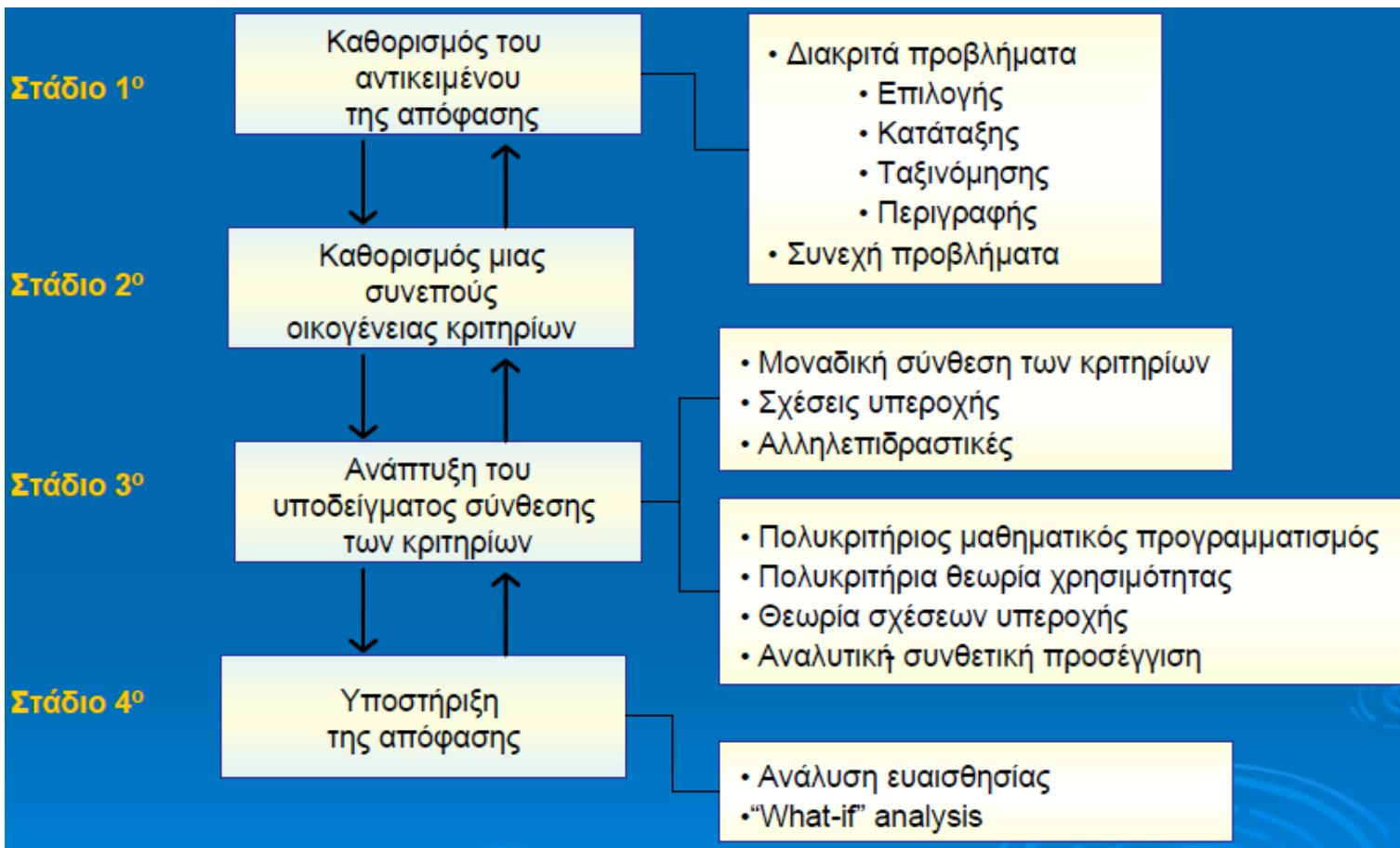
Γαλλική ή Ευρωπαϊκή Σχολή: Στοχεύει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της μη-συγκρισιμότητας μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων.

4. Μέθοδοι **Αναλυτικής – Συνθετικής Προσέγγισης – Aggregation Disaggregation Approach** (π.χ. Μέθοδοι UTA)

Στοχεύει στην ανάλυση της συμπεριφοράς του λήπτη αποφάσεων και τον τρόπο αντίληψής του. Με τη χρήση επαναληπτικών διαδικασιών, αναλύονται και στη συνέχεια συντίθενται σε ένα σύστημα αξιών όλες οι παράμετροι του προβλήματος και η μέθοδος κρίσης του λήπτη αποφάσεων.

Μεθοδολογία λήψης απόφασης

Στάδια διαδικασίας λήψης απόφασης κατά Roy (1995):



Βήματα επίλυσης προβλημάτων

- 1 Συγκέντρωση Πληροφορίας (Intelligence):** Αναγνώριση των προβλημάτων ή ευκαιριών και συγκέντρωση των απαραίτητων δεδομένων για το υπό εξέταση θέμα και διατύπωση του στόχου της διαδικασίας.
- 2 Σχεδιασμός (Design):** Οι λήπτες αποφάσεων θεωρούν συνολικά τα δεδομένα του προβλήματος και επιλέγουν τη μέθοδο και τα κριτήρια βάσει των οποίων θα γίνει η λήψη της τελικής απόφασης
- 3 Εναλλακτικές λύσεις (Alternatives):** Σχεδιασμός εναλλακτικών λύσεων που να οδηγούν προς την εκπλήρωση του στόχου.
- 4 Αποτίμηση (Impact estimation):** Εκτίμηση επιπτώσεων των λύσεων και αξιολόγηση αυτών..
- 5 Λήψη απόφασης (Decision making):** Επιλογή βέλτιστης λύσης τηρουμένων των δεδομένων αναλογιών, με τη συμμετοχή όλων των υπεύθυνων φορέων που εμπλέκονται.

Τεχνικές επίλυσης προβλημάτων

- Τεχνικές βελτιστοποίησης (optimization techniques).
Επιδιώκουν την εύρεση της βέλτιστης (καλύτερης δυνατής) λύσης ενός προβλήματος.
- Προσεγγιστικές / Ευρετικές τεχνικές (heuristic techniques).
Επιδιώκουν την εύρεση της καλύτερης δυνατής λύσης κάτω από κάποιες προϋποθέσεις.
Βασίζονται συνήθως σε παραδοχές με στόχο την “απλούστευση” του προβλήματος.

Επιλογή κριτηρίων

- Καθορισμός μιας “συνεπούς οικογένειας” κριτηρίων: αφορά στον εντοπισμό όλων εκείνων των παραγόντων που επιδρούν στο αποτέλεσμα της ανάλυσης των εναλλακτικών δραστηριοτήτων. Οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται από το συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο (knowledge domain) του προβλήματος υπό θεώρηση. Κάθε τέτοιος παράγοντας έχει τη μορφή κριτηρίου.
- Ως κριτήριο ορίζεται κάθε πραγματική συνάρτηση g η οποία αποτυπώνει τη συμπεριφορά των εναλλακτικών δραστηριοτήτων σε ένα πραγματικό αριθμό, ώστε για δύο οποιεσδήποτε εναλλακτικές δραστηριότητες x και x' να ισχύουν:

$$g(x) > g(x') \iff x > x': \text{η } x \text{ προτιμάται της } x'$$

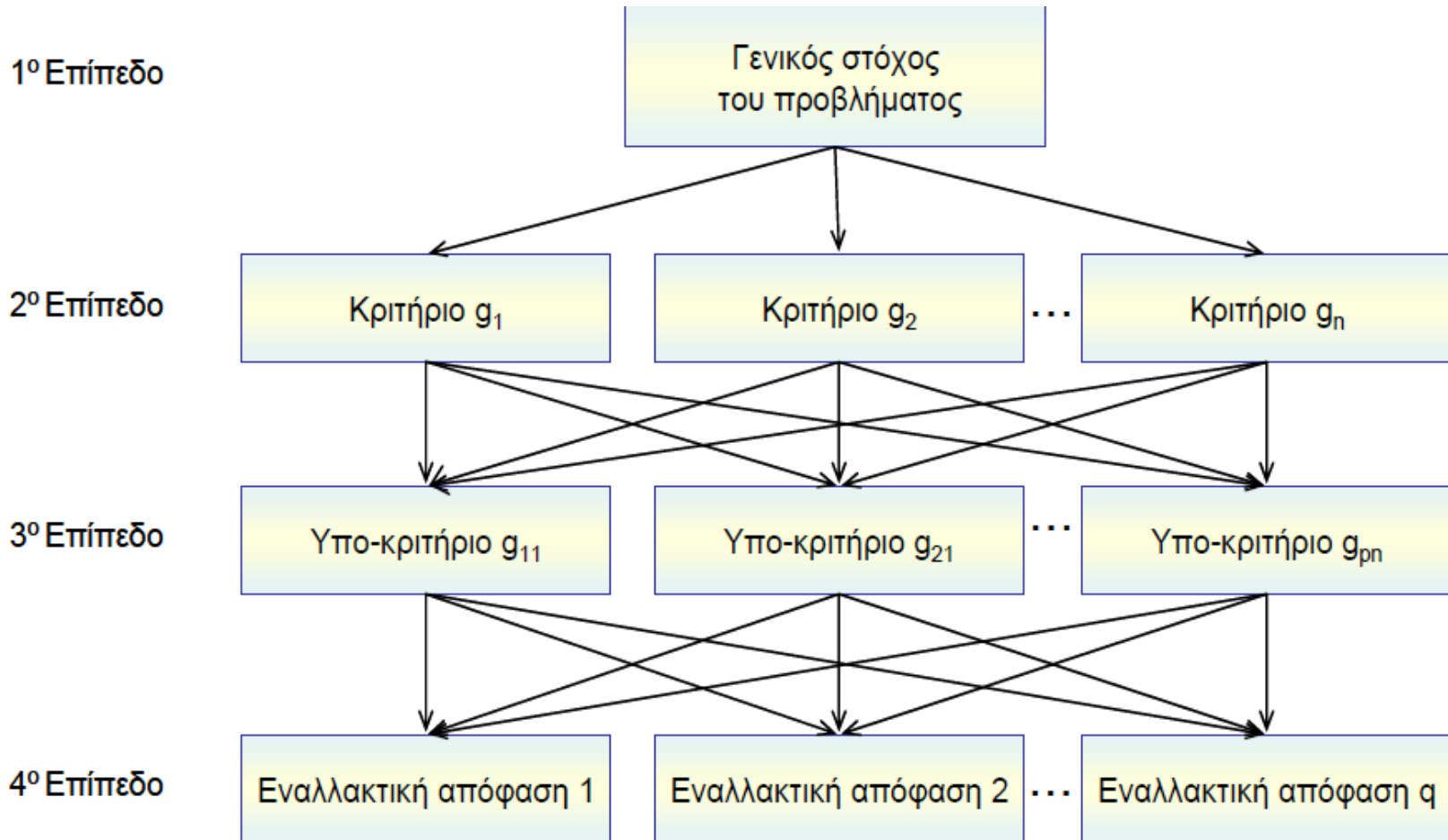
$$g(x) = g(x') \iff x \sim x': \text{η } x \text{ είναι ισοδύναμη της } x'$$

Μέθοδος 1: Πολυκριτήριο μαθηματικός προγραμματισμός

- 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 κι ενός πίνακα εκτιμήσεων για κάθε κριτήριο.
- 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.

Σημείωση: Πιο κάτω στην παρουσίαση γίνεται εκτενής αναφορά στην αναλυτική ιεραρχική μέθοδο (Analytic Hierarchy Process - AHP).

Σκαρίφημα: Αναλυτική ιεραρχική μέθοδος



Μέθοδος 2: Πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας

- Στοχεύει στην αναπαράσταση του συστήματος αξιών που συνειδητά ή ασυνείδητα ακολουθεί ο λαμβάνων την απόφαση.
- Η αναπαράσταση αυτή γίνεται με τη χρήση μιας κατάλληλης συνολικής συνάρτησης χρησιμότητας.
- Ζητούμενο είναι ο προσδιορισμός των επιμέρους και της συνολικής συνάρτησης χρησιμότητας και των ιδιοτήτων τους.
- Εφαρμόζεται για την επίλυση προβλημάτων με διακριτές εναλλακτικές λύσεις, και ειδικότερα για προβλήματα επιλογής. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου επιθυμείται κατάταξη ή ταξινόμηση των εναλλακτικών σε προκαθορισμένες κατηγορίες.

Στάδια πολυκριτήριας θεωρίας χρησιμότητας

- Στάδιο 1^ο: Καθορισμός των εναλλακτικών και των κριτηρίων αξιολόγησης.
- Στάδιο 2^ο: Εκτίμηση της απόδοσης των εναλλακτικών στα κριτήρια.
- Στάδιο 3^ο: Ανάπτυξη χρησιμοτήτων και βαρών για τα κριτήρια.
- Στάδιο 4^ο: Αξιολόγηση των εναλλακτικών και ανάλυση ευαισθησίας.

Η πλέον διαδεδομένη μορφή 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 τη χρησιμότητα των εναλλακτικών δράσεων βάσει των επιδόσεών τους στο κριτήριο g_i
- p_i : οι σταθερές (βάρη) που υποδηλώνουν τη σημαντικότητα των κριτηρίων

Μέθοδος 3: Θεωρία σχέσεων υπεροχής

- Οι Σχέσεις 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 Μεθόδων Πολυκριτήριας Ανάλυσης 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 κι όταν αυτά δεν είναι ποσοτικά προσδιορίσιμα (μέσα από δύο στάδια εφαρμογής).

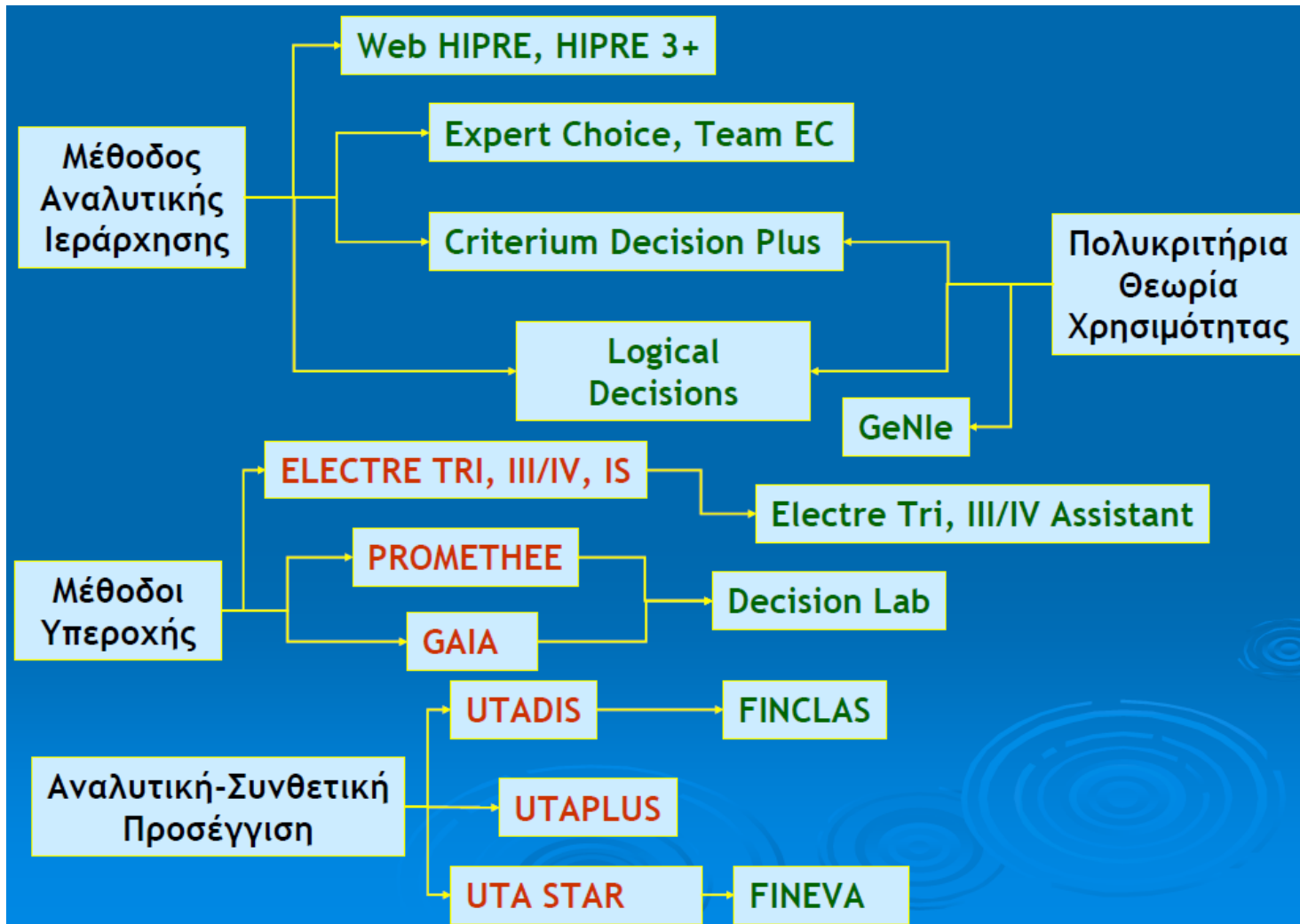
Μέθοδος 4: Αναλυτική-Συνθετική προσέγγιση

- Χρησιμοποιεί συναρτήσεις χρησιμότητας για τη μοντελοποίηση και αναπαράσταση των προτιμήσεων του λήπτη αποφάσεων, ώστε να γίνει επιλογή, κατάταξη ή ταξινόμηση των διακριτών εναλλακτικών λύσεων. Η διαφορά με την Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας έγκειται στη διαδικασία της ανάπτυξης της συνάρτησης χρησιμότητας.
- Η ανάλυση των προτιμήσεων του λήπτη αποφάσεων γίνεται μέσα σε ένα περιορισμένο σύνολο εναλλακτικών ενεργειών, το σύνολο αναφοράς.
- Ο λήπτης αποφάσεων 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.

Σύγκριση μεθόδων (πηγή: Ευαγγέλου & Καρακαπιλίδης, 2005)

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας	<ul style="list-style-type: none"> Αναπαράσταση ποιοτικών παραγόντων Αποτύπωση της λογικής του αποφασίζοντα Επαναχρησιμοποίηση του μοντέλου απόφασης 	<ul style="list-style-type: none"> Κατανόηση του μοντέλου απόφασης Παραχωρήσεις μεταξύ κριτηρίων Αβεβαιότητα των εκτιμήσεων
Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση	<ul style="list-style-type: none"> Αποτύπωση της λογικής του αποφασίζοντα Επαναχρησιμοποίηση των αποφάσεων Ταξινόμηση σε σαφώς ορισμένες κατηγορίες 	<ul style="list-style-type: none"> Κατανόηση του μοντέλου απόφασης Εισαγωγή των δεδομένων Υποκειμενικές κρίσεις
Σχέσεις Υπεροχής	<ul style="list-style-type: none"> Εναλλακτικές Προφίλ Κατώφλια κριτηρίων Κλίμακα κριτηρίων Συνασπισμοί "συμφωνίας" και "διαφωνίας" 	<ul style="list-style-type: none"> Μοντελοποίηση του προβλήματος Ονομαστική ταξινόμηση Αισιόδοξη κι απαισιόδοξη πρόβλεψη
Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης	<ul style="list-style-type: none"> Μοντελοποίηση του προβλήματος Αναπαράσταση ποιοτικών παραγόντων Κατανόηση μοντέλου απόφασης 	<ul style="list-style-type: none"> Μεγάλος αριθμός σχετικών συγκρίσεων Δύσκολη η επαναχρησιμοποίηση του μοντέλου Φαινόμενο της αναστροφής των αξιολογήσεων

Εργαλεία επίλυσης με Η/Υ (πηγή: Ευαγγέλου & Καρακαπιλίδης, 2005)



Πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων

- **Ταυτότητα:** Αποτελεί ταυτόχρονα μεθοδολογική προσέγγιση και σύνολο τεχνικών με στόχο την ιεράρχηση διαφορετικών εναλλακτικών από την καλύτερη μέχρι τη χειρότερη.
- Οι εναλλακτικές διαφέρουν μεταξύ τους στο βαθμό επίτευξης διαφορετικών στόχων, με αποτέλεσμα καμία εναλλακτική να μην είναι προφανώς προτιμητέα σε όλους τους στόχους.
- Δεν αποκλείεται να εμφανίζονται ορισμένες περιπτώσεις όπου **ορισμένοι στόχοι δρουν αντιθετικά μεταξύ τους** (όπως η βαθμολογία των τεχνικών χαρακτηριστικών και η τιμή).
- **Στόχος** της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων είναι να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων και όχι να λάβει την απόφαση. Αποσυνθέτει ένα σύνθετο πρόβλημα, ελέγχει εάν οι διαθέσιμες εναλλακτικές ικανοποιούν τους επιμέρους στόχους, δίνει βαρύτητες στους στόχους και επανασυνθέτει τα τμήματα του προβλήματος.

Πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων: Βασικές αρχές

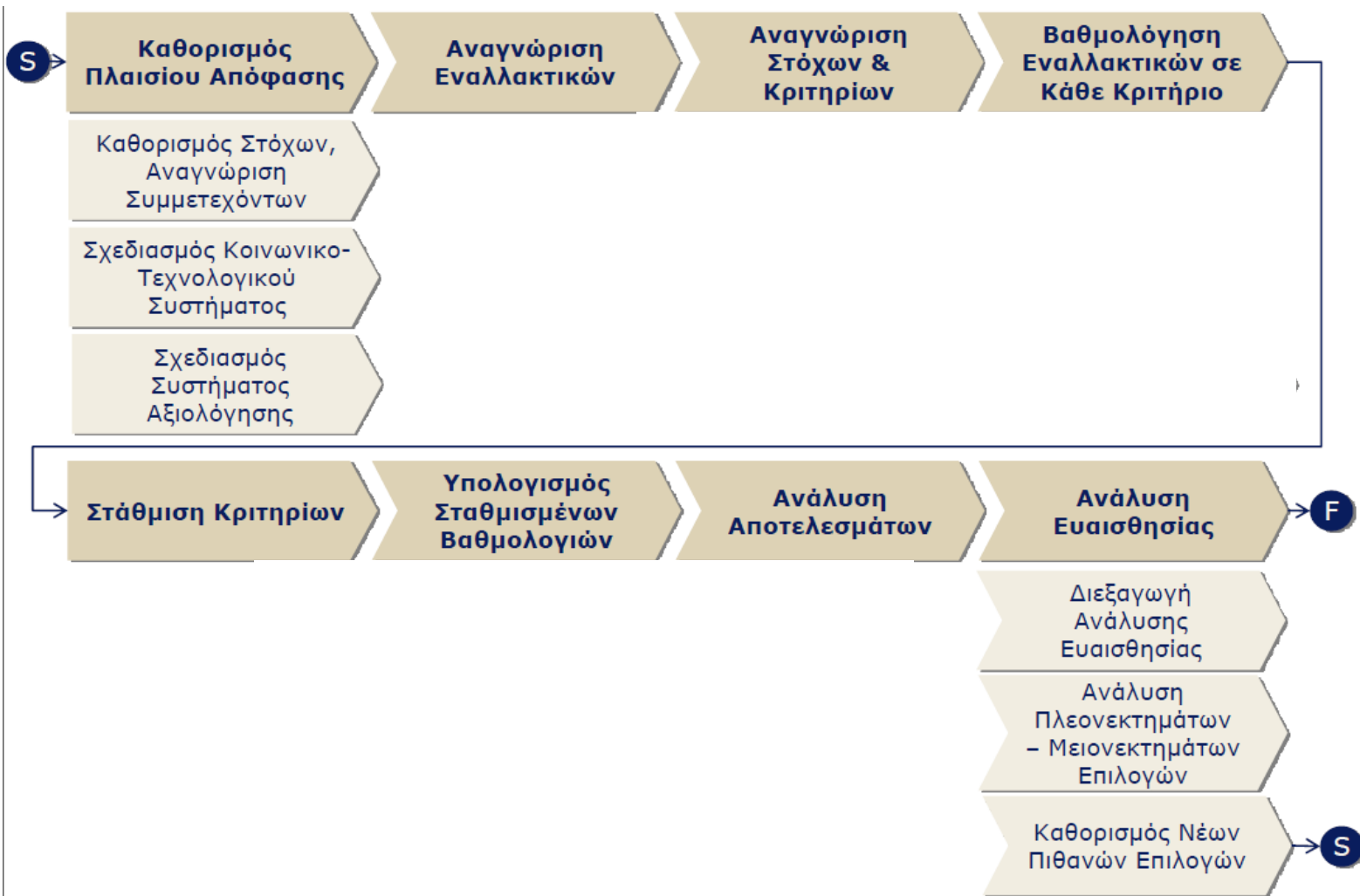
- Η βασική υπόθεση της προσέγγισης είναι **οι λήπτες των αποφάσεων να επιθυμούν να είναι συνεπείς κατά τη λήψη των αποφάσεων, άρα να μην επιδιώκουν να λάβουν αποφάσεις αντικρουόμενες μεταξύ τους.**

Υφίστανται τρία βασικά αξιώματα που διέπουν την προσέγγιση:

1. Το πρώτο σχετίζεται με την **ύπαρξη πιθανοτήτων (probabilities)**, δηλαδή μεγεθών που περιγράφουν το ποσοστό πραγματοποίησης των ενδεχομένων.
2. Το δεύτερο σχετίζεται με την **ύπαρξη της χρησιμότητας**, δηλαδή μεγεθών που εκφράζουν την υποκειμενική αξία του ενδεχόμενου κατά το λήπτη αποφάσεων, με βάση τη διάθεση κινδύνου που έχει.
3. Το τρίτο προσφέρει έναν **οδηγό στη λήψη αποφάσεων**, σύμφωνα με τον οποίο λαμβάνεται η απόφαση η οποία παρουσιάζει το μεγαλύτερο άθροισμα των σταθμισμένων (μέσω των πιθανοτήτων) χρησιμοτήτων.

Τα τρία αξιώματα επεκτάθηκαν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να καλύψουν την **ανάλυση πολλαπλών στόχων**.

Βήματα πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων



Καθορισμός στόχων

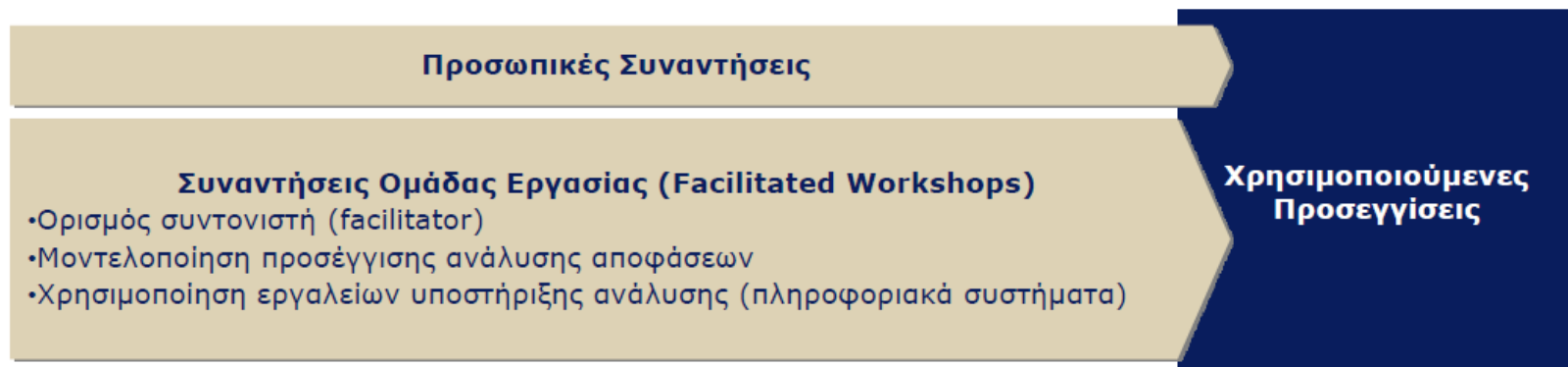
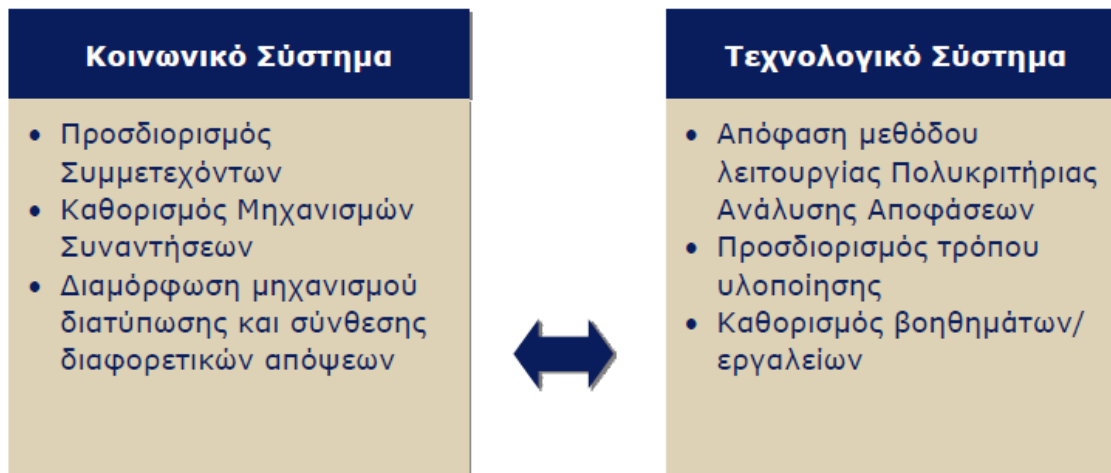
- Πρωταρχικό βήμα στη διεξαγωγή της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων είναι ο **καθορισμός του πλαισίου απόφασης.**
- Το βασικότερο στοιχείο του πλαισίου είναι ο **καθορισμός των στόχων του φορέα λήψης απόφασης, αφού η επίτευξη αυτών των στόχων θα εξασφαλίσει την προστιθέμενη αξία της ανάλυσης στον οργανισμό.** Καθορισμός εσφαλμένων στόχων καθιστά όλη την ανάλυση άχρηστη. Ένας βασικός στόχος είναι πιθανό να αποσυντίθεται σε επιμέρους στόχους, ενώ κάποιοι από αυτούς τους επιμέρους στόχους μπορεί να αντιτίθενται σε άλλους.
- Οι στόχοι της ανάλυσης είναι δυνατό να μεταβληθούν κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής της ανάλυσης βάσει νέων δεδομένων και απόψεων, αλλά ο αρχικός καθορισμός των στόχων αποτελεί απαραίτητο βήμα ώστε να καθοδηγηθεί ασφαλώς η μελέτη.
- Το βήμα αυτό καταλήγει στην επίσημη διατύπωση του στόχου της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων την οποία πρέπει να αποδέχονται όλοι οι εμπλεκόμενοι.

Συμμετέχοντες στη λήψη απόφασης

- Στη λήψη απόφασης συμμετέχουν οι **αποφασίζοντες (decision makers)** αλλά και οι **λοιποί εμπλεκόμενοι (stakeholders)** που επηρεάζουν ή επηρεάζονται από την απόφαση.
- Ξεχωριστό ρόλο έχει ο **βασικός συμμετέχοντας (keyplayer)** ο οποίος έχει ουσιαστική συνεισφορά στο τελικό αποτέλεσμα.
- Ο **λήπτης της τελικής απόφασης (final decision maker)** θα πρέπει να εκφράσει τις αξίες του μέσω της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, καθώς και τις αξίες όλων των **αφανών εμπλεκομένων**, των οποίων τα συμφέροντα αντιπροσωπεύει.
- Σε ορισμένες περιπτώσεις στη διαδικασία συμμετέχουν και εμπλεκόμενοι οι οποίοι δεν έχουν άμεσο συμφέρον, αλλά χρειάζεται η συμμετοχή τους λόγω της εξειδικευμένης γνώσης τους σε ζητήματα που είναι σημαντικά για την τελική απόφαση (εσωτερικοί υπάλληλοι του Οργανισμού, εξωτερικοί συνεργάτες, επιστήμονες), υπό τη μορφή συμβουλευτικού οργάνου (advisory group or council).

Σχεδιασμός συστήματος λήψης απόφασης

Η Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον αρμονικό συνδυασμό κοινωνικών και τεχνολογικών παραμέτρων

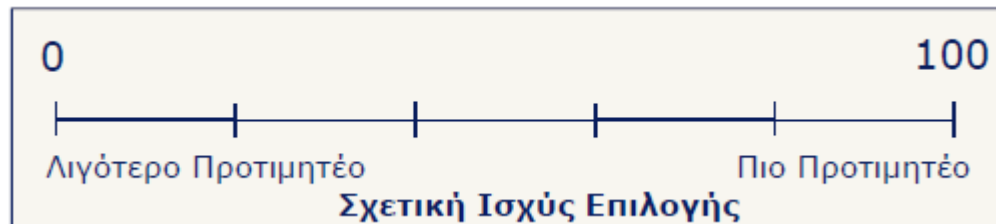


Βαθμολόγηση εναλλακτικών (1/2)

Η βαθμολόγηση των εναλλακτικών απαιτεί:

- Την κατασκευή κλίμακας που να αντιπροσωπεύει τις επιλογές σε σχέση με τις συνέπειες.
- Τη ζύγιση των κλιμάκων με βάση τη σχετική σημαντικότητά τους.
- Τον υπολογισμό των σταθμισμένων μέσων όρων βάσει καθορισμένων κλιμάκων.

Η πιο συνήθης πρακτική είναι η χρησιμοποίηση **100βάθμιας κλίμακας**, όπου η πιο προτιμητέα επιλογή λαμβάνει την τιμή **100** και η λιγότερο προτιμητέα την τιμή **0**.



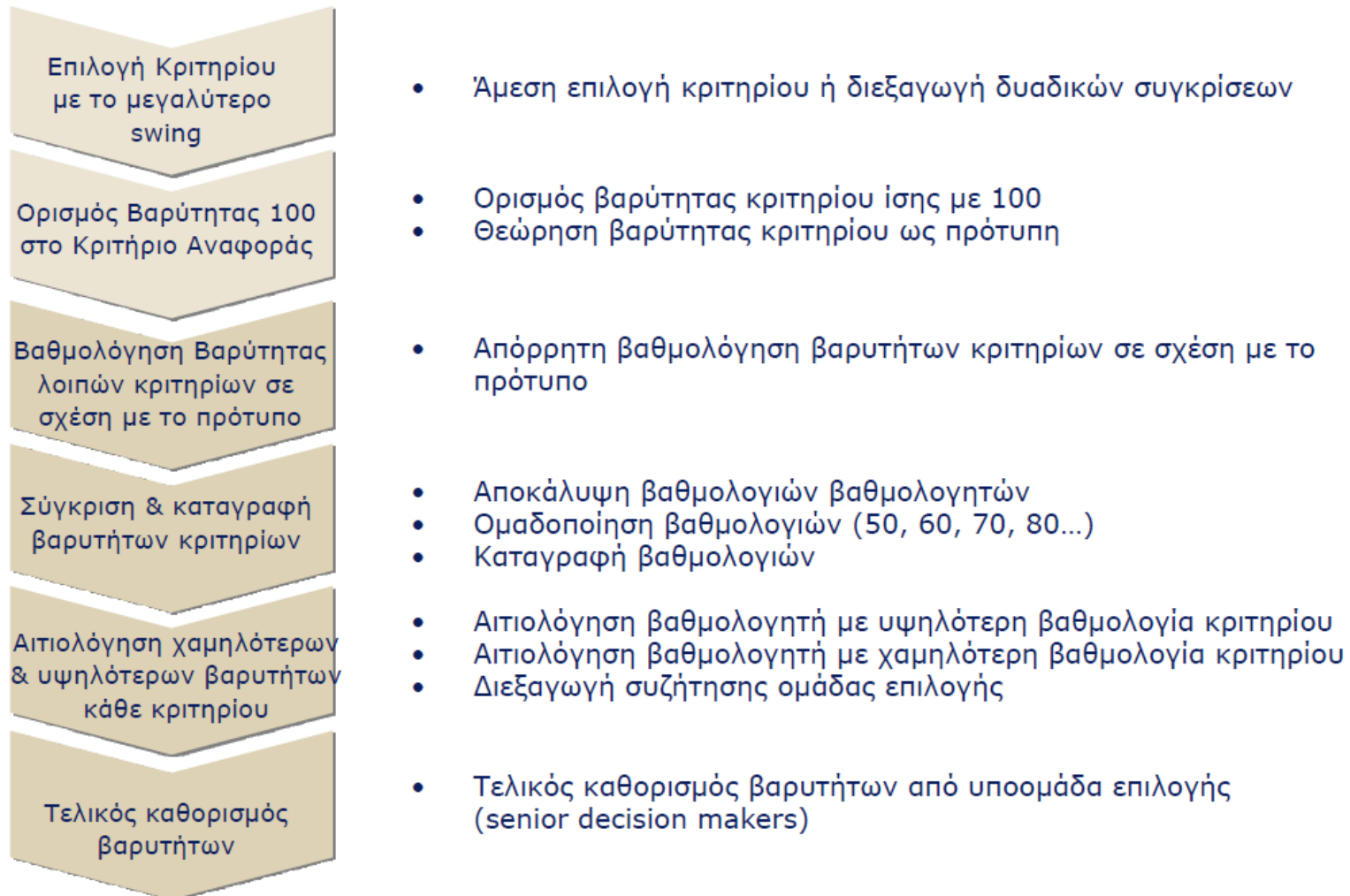
Βαθμολόγηση εναλλακτικών (2/2)

- Οι **σχετικές βαθμολογήσεις (relative judgments)** με βάση τη σύγκριση των **συνεπειών τους είναι συνήθως ευκολότερες από τις απόλυτες βαθμολογήσεις.**
- Η μέθοδος βαθμολόγησης με τη χρήση κλίμακας καταλήγει σε νούμερα που εκφράζουν τη **σχετική ισχύ της επιλογής που δηλώνει την αξία που σχετίζεται με τις συνέπειες των επιλογών σε ένα συγκεκριμένο κριτήριο.** Όμως, η συγκεκριμένη προσέγγιση δεν είναι πάντα ενδεδειγμένη.
- Στις περιπτώσεις όπου υφίσταται πρότυπα, ενδείκνυται η βαθμολόγηση με χρήση **σταθερής κλίμακας (fixed scales).** Το μηδενικό σημείο είναι η **ελάχιστη αποδεκτή τιμή (τιμή κάτω του μηδενός απορρίπτει την επιλογή ανεξαρτήτως της βαθμολογίας της στα άλλα κριτήρια).**
- Η τιμή 100 ορίζεται με βάση τη **μέγιστη εφικτή τιμή που θα μπορούσε να επιτευχθεί.**

Καθορισμός βαρύτητας κριτηρίων

- Ο καθορισμός της βαρύτητας στο κάθε κριτήριο εκφράζει τη σημαντικότητα του κάθε κριτηρίου στην τελική επιλογή. Ο καθορισμός βαρύτητας καθενός κριτηρίου, σταθμίζει την επιμέρους βαθμολογία κάθε επιλογής στο εν λόγω κριτήριο και ρυθμίζει την επίδρασή της στην τελική βαθμολογία που θα οδηγήσει στην προτεινόμενη επιλογή. Η ανάθεση των βαρυτήτων πραγματοποιείται ανά ιεραρχικό επίπεδο κριτηρίων.
- Η συχνότερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος προσδιορισμού βαρυτήτων είναι η μέθοδος **swing weighting**.
- Όμως, πώς συγκρίνεται η διαφορά από το 0 έως το 100 στην κλίμακα ενός κριτηρίου με την αντίστοιχη διαφορά στην κλίμακα ενός άλλου;
- **Απάντηση:** Πρέπει να ληφθεί υπόψη, τόσο η σημαντικότητα του κριτηρίου, όσο και η διαφορά μεταξύ της καλύτερης και χειρότερης επιλογής στο κριτήριο αυτό. Ένα πολύ σημαντικό κριτήριο, στο οποίο όλες οι επιλογές «σκοράρουν» το ίδιο, δεν επηρεάζει τελικώς την κρίση ενός λήπτη αποφάσεων.

Η τεχνική Nominal Group (βήματα διαδικασίας)



Σταθμισμένες βαθμολογίες (1/2)

Καθορισμός σταθμισμένων βαθμολογιών σε κάθε επίπεδο της ιεραρχίας:

- ✓ Η συνολική βαθμολογία προτίμησης μίας εναλλακτικής επιλογής είναι το σταθμισμένο άθροισμα των βαθμολογιών της επιλογής στα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση.

$$s_i = w_1 s_{i1} + w_2 s_{i2} + \dots + w_n s_{in} = \sum_{j=1}^n w_j s_{ij}$$

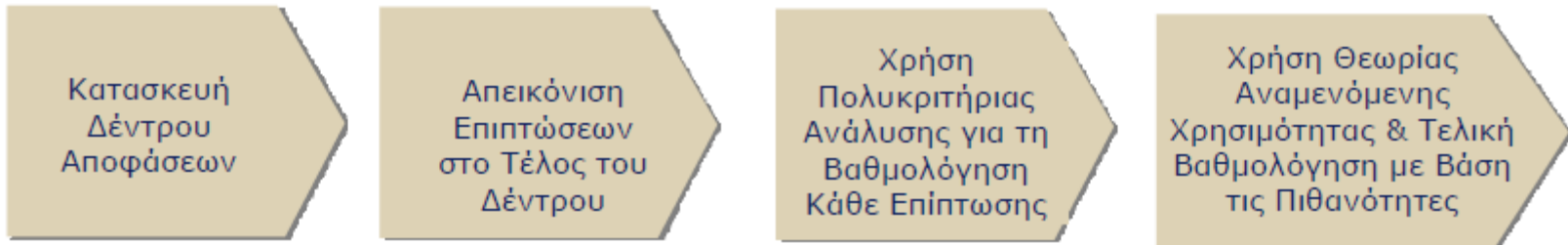
Σταθμισμένες βαθμολογίες (2/2)

Καθορισμός συνολικών σταθμισμένων βαθμολογιών:

- Ο καθορισμός των συνολικών σταθμισμένων βαθμολογιών προϋποθέτει την αμοιβαία ανεξαρτησία προτίμησης (**mutual preference independence**) των κριτηρίων. Αυτό σημαίνει ότι οι βαθμολογίες που τοποθετούνται σε όλες οι επιλογές σε ένα κριτήριο δεν επηρεάζονται από τις βαθμολογίες άλλων κριτηρίων.
- Η ύπαρξη αμοιβαίας εξάρτησης δύο κριτηρίων ανακαλύπτεται, είτε κατά τη διαμόρφωση των κριτηρίων είτε κατά τη βαθμολόγηση των επιλογών σε αυτά τα κριτήρια. Όταν μία επιλογή δε μπορεί να βαθμολογηθεί σε ένα κριτήριο γιατί απαιτείται η γνώση της βαθμολογίας σε ένα άλλο σημαίνει ότι υπάρχει εξάρτηση των κριτηρίων. Δύο εξαρτώμενα κριτήρια θα μπορούσαν πιθανά να συνδυαστούν σε ένα, υπό προϋποθέσεις.
- Το απλό μοντέλο σταθμισμένων βαθμολογιών μπορεί να αντικατασταθεί από **πολλαπλασιαστικό μοντέλο**, σε πολυπλοκότερες περιπτώσεις.

Αντιμετώπιση αβεβαιότητας

- Μία μέθοδος αντιμετώπισης της αβεβαιότητας είναι ο συνδυασμός της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων με τα Δένδρα Αποφάσεων:



- Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση κατασκευάζονται πολλά εναλλακτικά σενάρια με βάση σημαντικά εξωτερικά γεγονότα και πραγματοποιούνται αντίστοιχες αναλύσεις Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων (όλες με την ίδια δομή στόχων και κριτηρίων). Τα σενάρια μπορούν να σταθμιστούν αναφορικά με την πιθανότητα που έχουν να συμβούν. Αναλύσεις ευαισθησίας στην τοποθετημένη βαρύτητα κάθε σεναρίου εξασφαλίζουν τη μελέτη της επίδρασης των σεναρίων στην τελική βαθμολόγηση των επιλογών.
- Εάν υφίσταται αβεβαιότητα σε ένα ή δύο κριτήρια, είναι δυνατό ξεχωριστή μοντελοποίηση των αβεβαιοτήτων (με χρήση κατανομών) να επιτρέψει βαθμολόγηση βασισμένη σε αναμενόμενες τιμές.

Ανάλυση ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να διεξαχθεί:

- Με προσαρμογή των βαρυτήτων των κριτηρίων.
- Με προσαρμογή των βαθμολογιών σε περιπτώσεις όπου υπήρχαν διαφωνίες μεταξύ διαφορετικών εμπλεκόμενων στη διαδικασία βαθμολόγησης.

Χρησιμότητα ανάλυσης ευαισθησίας:

- Η ανάλυση ευαισθησίας εντοπίζει ξεκάθαρα τις λίγες δυνατές εναλλακτικές που συνήθως υπάρχουν.
- Η ανάλυση ευαισθησίας αποκαλύπτει πιθανές εναλλακτικές που είναι σχεδόν ισοδύναμες.
- Η ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να αποκαλύψει τρόπους με τους οποίους οι εναλλακτικές επιλογές μπορούν να βελτιωθούν.

Τελικό στάδιο - Προτάσεις



- Η φθίνουσα ταξινόμηση των επιλογών με βάση τη βαθμολογία της πολυκριτήριας ανάλυσης φανερώνει με σειρά προτίμησης τις εναλλακτικές επιλογές.
- Οι βαθμολογίες φανερώνουν την απόσταση των επιλογών μεταξύ τους.
- Η απεικόνιση κριτηρίων σε δύο διαστάσεις μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες και να αποτελέσουν αφορμή για σοβαρές συζητήσεις.
- Τα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι καλό να συζητούνται σε μία σειρά συναντήσεων ώστε να αντιμετωπίσουν αναμενόμενα και μη αναμενόμενα αποτελέσματα.

Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης

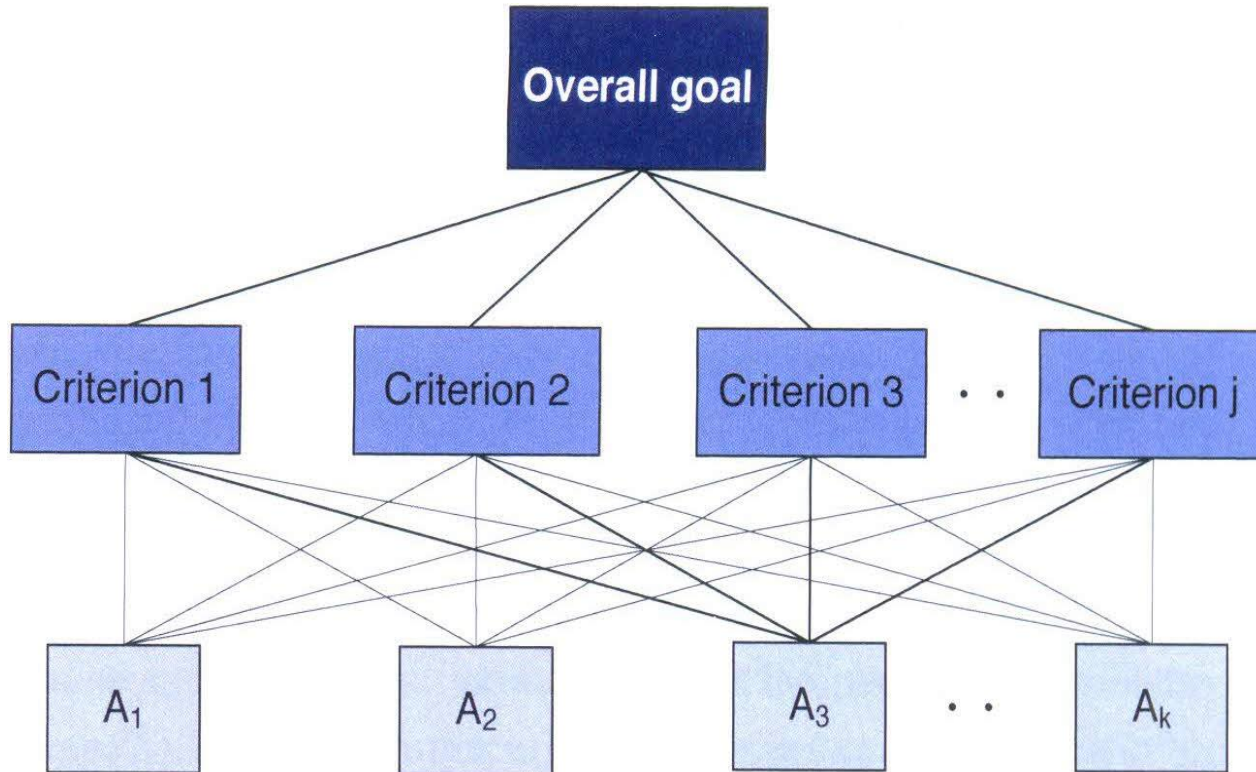
- **Ταυτότητα:** μέθοδος μετατροπής υποκειμενικών βαθμολογιών σχετικής βαρύτητας σε ένα σύνολο βαθμολογιών ή βαρυτήτων.
- Αντιμετωπίζει το **πρόβλημα της κατανομής βαρυτήτων (weights)** σε ένα σύνολο από δραστηριότητες, σύμφωνα με το βαθμό σημαντικότητάς τους.
- Χρησιμοποιεί τη διεξαγωγή **δυναδικών συγκρίσεων** και αναπτύσσει μια **κλίμακα προτίμησης** μεταξύ των δραστηριοτήτων με βάση τις εκτιμήσεις των ληπτών αποφάσεων.

Δίνει απαντήσεις σε ερωτήματα του τύπου:

1. Πόσο σημαντικό είναι το κριτήριο A **σε σχέση** με το κριτήριο B;
 2. Πόσο καλή είναι η επιλογή X **σε σχέση** με την επιλογή Y;
- Οι δυναδικές συγκρίσεις χρησιμοποιούνται, τόσο για τον προσδιορισμό των βαρυτήτων των κριτηρίων, όσο και για τη διεξαγωγή των επιλογών μεταξύ διαφορετικών εναλλακτικών. Χρήση σε προβλήματα με διακριτές επιλογές.

Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος

[Saaty, 1985]



Βήματα ΑΗΡ

- Προσδιορισμός κριτηρίων
- Καθορισμός δεικτών για κάθε κριτήριο
- Απόδοση συγκριτικής / σχετικής σημαντικότητας ανά ζεύγη
- Επιλογή εναλλακτικών
- Εκτίμηση συνεπειών = ποσοτικοποίηση μέτρων
- Σύγκριση απόδοσης εναλλακτικών για κάθε κριτήριο

AHP - σύγκριση

Πόσο σημαντικότερο είναι το κριτήριο i έναντι του κριτηρίου j	Δείκτης σύγκρισης
ίδια	1
μέτρια	3
πολύ	5
πάρα πολύ	7
εξαιρετικά περισσότερο	9

Επιτρέπεται η χρήση και ενδιάμεσων τιμών

Πλήθος συγκρίσεων

Πλήθος στοιχείων	1	2	3	4	5	6	7	n
Πλήθος συγκρίσεων	0	1	3	6	10	15	21	$\frac{n(n-1)}{2}$

Πίνακας συγκρίσεων

	A	B	C
A	1	1/3	5
B		1	7
C			1

Για τη συμπλήρωση του πίνακα χρησιμοποιούνται αντίστροφες τιμές σε σχέση με τη διαγώνιο:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

Πίνακας συγκρίσεων

	A	B	C
A	1	1/3	5
B	3	1	7
C	1/5	1/7	1

Άνυσμα προτεραιότητας

Άθροισμα όλων των κελιών ανά στήλη στον πίνακα συγκρίσεων:

	A	B	C
A	1	1/3	5
B	3	1	7
C	1/5	1/7	1
SUM	21/5	31/21	13

Άνυσμα προτεραιότητας

Διαίρεση κάθε στοιχείου με το άθροισμα της στήλης του (weight normalization):

	A	B	C	Normalized principal Eigen vector
A	$5/21$	$7/31$	$5/13$	0.2828
B	$15/21$	$21/31$	$7/13$	0.6434
C	$1/21$	$3/31$	$1/13$	0.0738

Καλείται και **άνυσμα προτεραιότητας**, αθροίζεται πάντα στη μονάδα (1).
Είναι κάτι παραπάνω από ιεράρχηση.

ΓΙΑΤΙ;

Άνυσμα προτεραιότητας

Διαίρεση κάθε στοιχείου με το άθροισμα της στήλης του (weight normalization):

	A	B	C	Normalized principal Eigen vector
A	5/21	7/31	5/13	0.2828
B	15/21	21/31	7/13	0.6434
C	1/21	3/31	1/13	0.0738

Το B υπερτερεί του A 2.27 (=64.34/28.28) φορές

Ανάλυση συνέπειας

Έχει ο πίνακας σύγκρισης συνέπεια;
Εκτίμηση “Principal Eigen Value” αθροίζοντας το γινόμενο
κάθε “Eigen vector” με το άθροισμα της στήλης του
αντίστροφου πίνακα

$$\lambda_{\max} = \frac{21}{5}(0.2828) + \frac{31}{21}(0.6434) + 13(0.0738) = 3.0967$$

Δείκτης συνέπειας

- Αν $B > A$ και $A > C$
- Τότε αναμένεται ότι $B > C$ (transitive property)
- Αποδεικνύεται ότι για $n =$ μέγεθος πίνακα
- Δείκτης συνέπειας: $\lambda_{\max} = n$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3.0967 - 3}{2} = 0.0484$$

Σύγκριση CI

- Το CI συγκρίνεται με το μέσο δείκτη συνέπειας 500 πινάκων, τυχαία, ο τυχαίος δείκτης συνέπειας “Random Consistency Index” (RI) είναι:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Λόγος συνέπειας

- Ο λόγος συνέπειας Consistency Ration CR αποτελεί τη σύγκριση μεταξύ του δείκτη συνέπειας και του τυχαίου δείκτη συνέπειας και εκφράζεται μέσω της σχέσης:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

- Αν $CR < 10\%$, η συνέπεια είναι αποδεκτή (10% απόκλιση)

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0484}{0.58} = 8.3\% < 10\%$$

Συνολικός δείκτης συνέπειας

$$\overline{CR} = \frac{\sum_i w_i CI_i}{\sum_i w_i RI_i} = \frac{0.897(1) + 0.05(0.663) + 0.04(0.337)}{0.9(1) + 0.58(0.663) + 0.58(0.337)} = 0.092 < 10\%$$

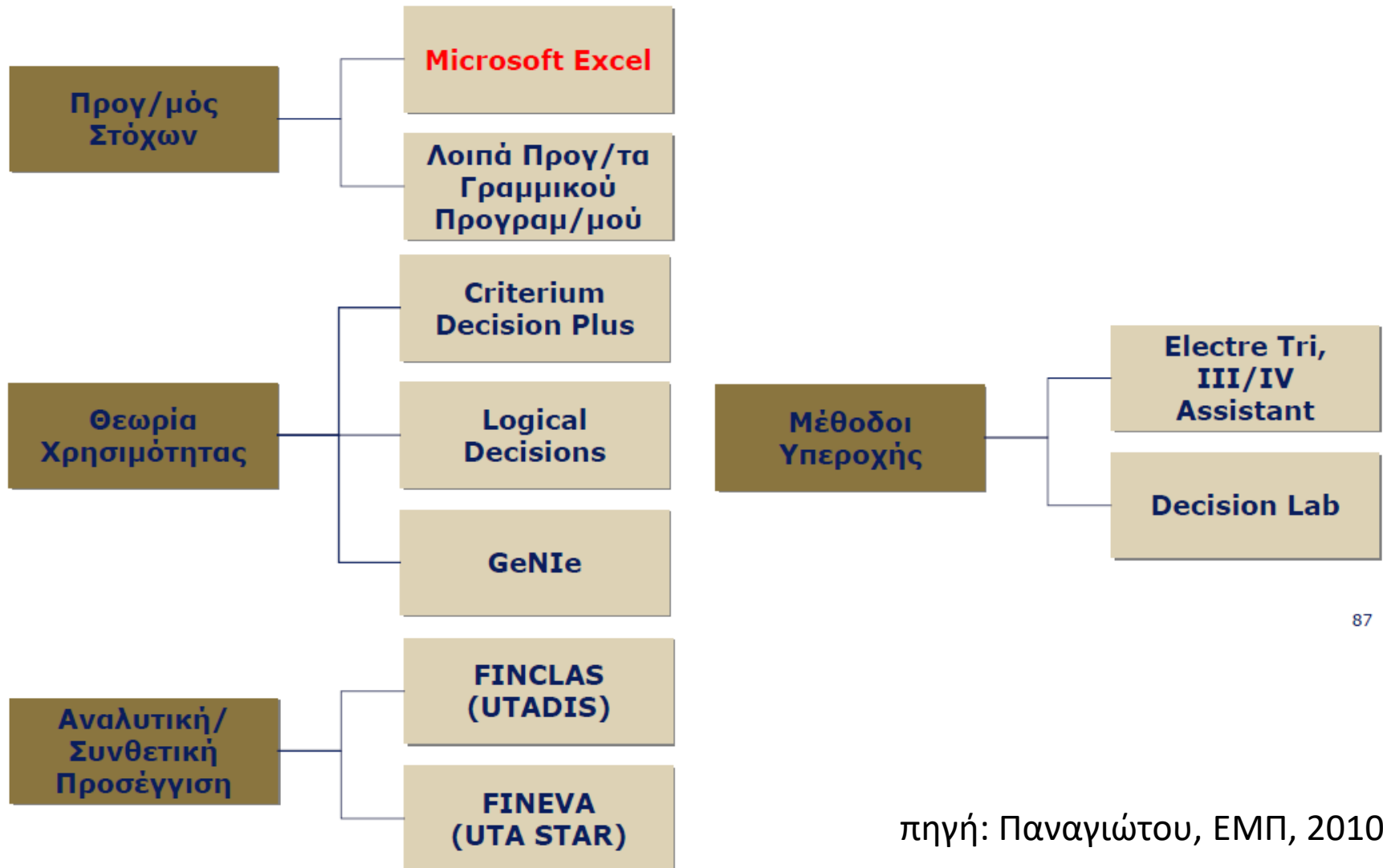
Μειονεκτήματα και αδυναμίες της μεθόδου

- Η εννιαβάθμια κλίμακα σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να αποδειχθεί ασυνεπής. Για παράδειγμα εάν το Α έχει βαθμολογία 3 σε σχέση με το Β και το Β βαθμολογία 5 σε σχέση με το Γ, το Α δεν μπορεί να έχει βαθμολογία 15 ($3 \cdot 5$) σε σχέση με το Γ, όπως θα ανέμενε κανείς.
- Η συσχέτιση της εννιαβάθμιας αριθμητικής κλίμακας και των λεκτικών περιγραφών δε διαθέτει θεωρητικό υπόβαθρο, ενώ τα αξιώματα της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης δεν είναι αρκετά καθαρά ώστε να ελεγχθούν εμπειρικά.
- Οι βαρύτητες των κριτηρίων ορίζονται πριν οριστεί η κλίμακα μέτρησης για τα κριτήρια, με αποτέλεσμα ο υπεύθυνος για τη λήψη αποφάσεων να αναγκάζεται να πραγματοποιεί δηλώσεις περί της σχετικής σημαντικότητας των επιλογών χωρίς να ξέρει τι συγκρίνεται.
- Η εισαγωγή νέων επιλογών μπορεί να αναστρέψει την ταξινόμηση των παλαιών επιλογών (rank reversal phenomenon), δημιουργώντας σημαντικά προβλήματα αξιοπιστίας.

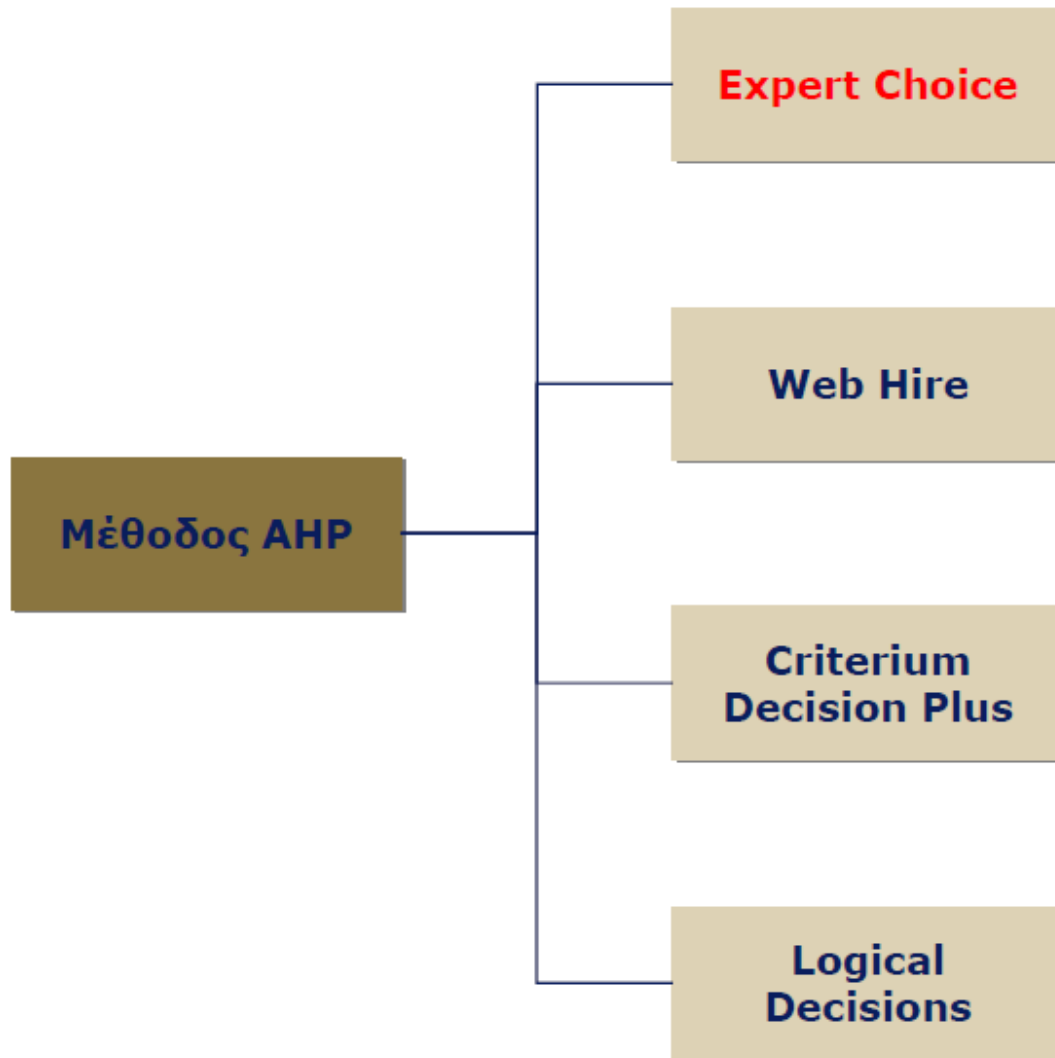
Εναλλακτικές λύσεις

- Έχει επιχειρηθεί να αναπτυχθούν **βελτιωμένες εκδοχές της προσέγγισης AHP** που εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματά της αποφεύγοντας μερικά από τα αρνητικά της σημεία.
- Οι περισσότερες εναλλακτικές προσεγγίσεις που αναπτύχθηκαν διαφοροποιούνται στην εξαγωγή και τη μετέπειτα σύνθεση των δυαδικών συγκρίσεων.
- Οι πιο γνωστές εναλλακτικές προσεγγίσεις που συναντώνται είναι:
 1. Η μέθοδος **REMBRANDT**.
 2. Η μέθοδος **MACBETH**.
- Η μέθοδος REMBRANDT χρησιμοποιεί ένα άμεσο λογαριθμικό σύστημα βαθμολόγησης, αντικαθιστώντας την εννιαβάθμια κλίμακα της μεθόδου AHP και διαφοροποιεί τον τρόπο σύνθεσης (στηριζόμενη στο γεωμετρικό μέσο για την αναγνώριση των βαρυτήτων και βαθμολογιών στους πίνακες σύγκρισης).

Πληροφοριακά συστήματα υποστήριξης (1/2)



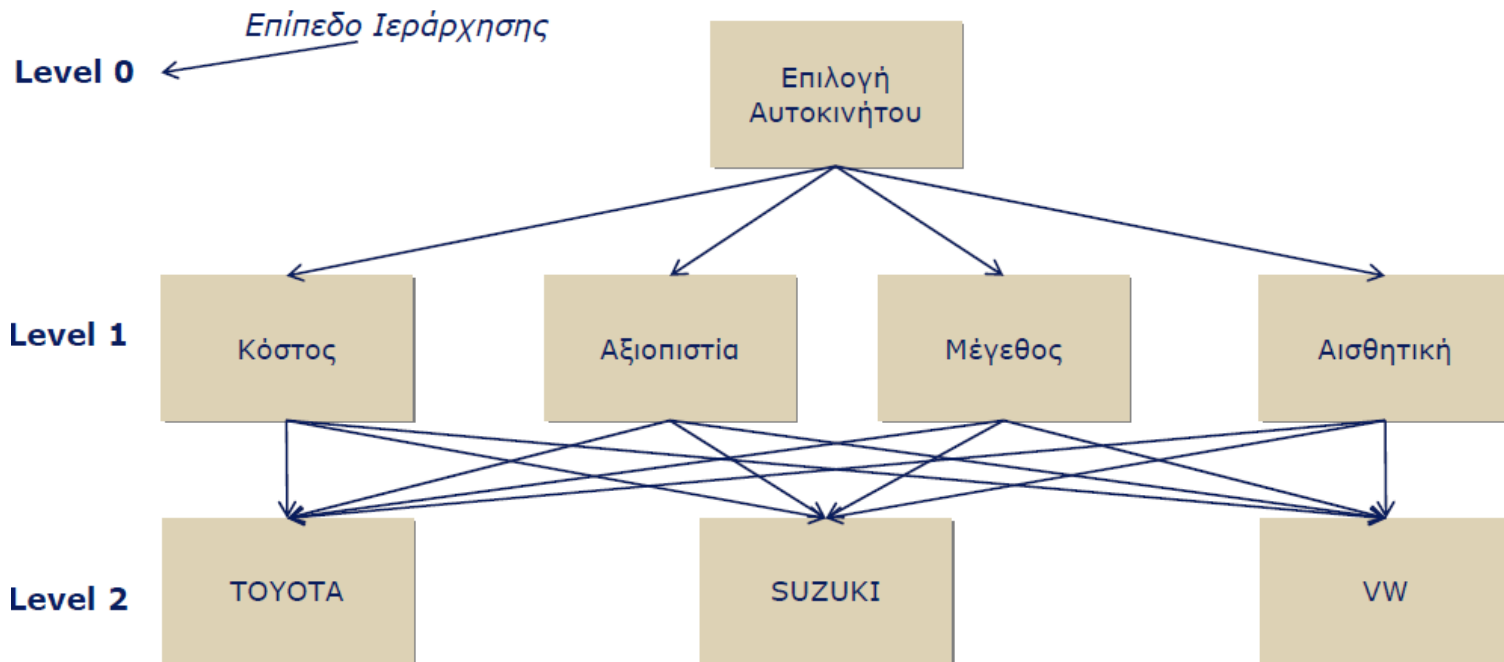
Πληροφοριακά συστήματα υποστήριξης (1/2)



Διάφορα παραδείγματα πολυκριτηριακής αξιολόγησης

Παράδειγμα επιλογής αυτοκινήτου (1/3)

Κάποιος ενδιαφέρεται να αγοράσει ένα αυτοκίνητο και διαθέτει τρεις εναλλακτικές επιλογές: Ένα TOYOTA, ένα SUZUKI και ένα VW. Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή είναι το κόστος κτίσης, η αξιοπιστία, το μέγεθος και η αισθητική. Επειδή η καλύτερη επιλογή δεν είναι προφανής, ο ενδιαφερόμενος χρειάζεται ένα εργαλείο υποβοήθησης της λήψης απόφασης.



Παράδειγμα επιλογής αυτοκινήτου (2/3)

- Στον προηγούμενο πίνακα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι ζυγές τιμές (2, 4, 6, 8) του δείκτη προτίμησης.
- Τα στοιχεία κάθε επιπέδου συγκρίνονται με τα υπόλοιπα στοιχεία του ίδιου επιπέδου χρησιμοποιώντας ως κριτήρια τα στοιχεία του ανώτερου επιπέδου.
- Τα αυτοκίνητα του επιπέδου L2 συγκρίνονται μεταξύ τους κατά ζεύγη σε κάθε κριτήριο του ανώτερου επιπέδου L1 (κόστος, αξιοπιστία, μέγεθος και αισθητική).
- Τα στοιχεία του επιπέδου L1 συγκρίνονται μεταξύ τους κατά ζεύγη ως προς τη βαρύτητα που έχουν στο στοιχείο του επιπέδου L0 που είναι η επιλογή του αυτοκινήτου.
- Η διαδικασία ξεκινά από το επίπεδο L1 και συνεχίζεται ανά επίπεδο:
 - Διαδικασία σύγκρισης κριτηρίων κόστους, αξιοπιστίας, μεγέθους και αισθητικής στην επιλογή του αυτοκινήτου (επίπεδο L1).
 - Διαδικασία σύγκρισης αυτοκινήτων στα κριτήρια του επιπέδου L1 (επίπεδο L2).

Παράδειγμα επιλογής αυτοκινήτου (3/3)

Κριτήρια Επιλογής	Κόστος	Αξιοπιστία	Μέγεθος	Αισθητική
Κόστος	1	2	3	3
Αξιοπιστία	1/2	1	3	3
Μέγεθος	1/3	1/3	1	1/2
Αισθητική	1/3	1/3	2	1

- Ένα ζήτημα που τίθεται και πρέπει να ελέγχεται είναι η συνέπεια των βαθμολογιών που τοποθετούμε, αφού ασυνεπής διαδικασία βαθμολόγησης στη σύγκριση ανά ζεύγη θα δημιουργήσει προβλήματα αξιοπιστίας. Για το λόγο αυτό, πρέπει να οριστεί ένας δείκτης μέτρησης της συνέπειας και ένα κατώφλι, άνω του οποίου τίθεται θέμα αξιοπιστίας στη διαδικασία βαθμολόγησης.

Υπολογισμός επιμέρους προτεραιοτήτων (1/2)

- Στον προηγούμενο πίνακα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι ζυγές τιμές (2, 4, 6, 8) του δείκτη προτίμησης.
- Καταστρώνουμε έναν πίνακα $n \times n$ με τα n κριτήρια που θα συγκρίνουμε δυαδικά.
- Συμπληρώνουμε τα στοιχεία του πίνακα με βάση τις δυαδικές συγκρίσεις που πραγματοποιούμε.
- Υπολογίζουμε το άθροισμα των στοιχείων κατά μήκος κάθε στήλης.
- Διαιρούμε κάθε στοιχείο του πίνακα με το άθροισμα της στήλης στην οποία ανήκει και διαμορφώνουμε έναν νέο πίνακα $n \times n$ με τους νέους υπολογισμούς.
- Υπολογίζουμε το μέσο όρο κάθε γραμμής του νέου πίνακα και τον καταγράφουμε σε νέα στήλη, η οποία αποτελεί την προτεραιότητα των κριτηρίων.

Υπολογισμός επιμέρους προτεραιοτήτων (2/2)

Κριτήρια Επιλογής	Κόστος	Αξιοπιστία	Μέγεθος	Αισθητική
Κόστος	1	2	3	3
Αξιοπιστία	1/2	1	3	3
Μέγεθος	1/3	1/3	1	1/2
Αισθητική	1/3	1/3	2	1
Άθροισμα	2,16	3,66	9	7,5

1/2,16

Κριτήρια Επιλογής	Κόστος	Αξιοπιστία	Μέγεθος	Αισθητική	Προτεραιότητα
Κόστος	0,46	0,55	0,33	0,40	0,44
Αξιοπιστία	0,23	0,27	0,33	0,40	0,31
Μέγεθος	0,15	0,09	0,11	0,06	0,10
Αισθητική	0,15	0,09	0,22	0,13	0,15

$$(0,46+0,55+0,33+0,40)/4$$

Υπολογισμός προτεραιοτήτων αυτοκινήτων

Αξιοπιστία

Κριτήρια Επιλογής	T	S	V	Προτερ.
T	1	1	3	0,43
S	1	1	3	0,43
V	1/3	1/3	1	0,14

Μέγεθος

Κριτήρια Επιλογής	T	S	V	Προτερ.
T	1	3	1	0,43
S	1/3	1	1/3	0,14
V	1	3	1	0,43

Αισθητική

Κριτήρια Επιλογής	T	S	V	Προτερ.
T	1	4	3	0,63
S	1/4	1	2	0,22
V	1/3	1/2	1	0,15

Κόστος

Κριτήρια Επιλογής	T	S	V	Προτερ.
T	1	1	2	0,41
S	1	1	1	0,33
V	1/2	1	1	0,26

Υπολογισμός συνολικών προτεραιοτήτων

- Η συνολική προτεραιότητα του κάθε αυτοκινήτου για όλα τα χρησιμοποιούμενα κριτήρια προκύπτει ως το άθροισμα των γινομένων της προτεραιότητας του αυτοκινήτου σε κάθε κριτήριο επί την προτεραιότητα του αντίστοιχου κριτηρίου.
- Οι επιλογές ταξινομούνται κατά φθίνουσα σειρά με βάση τη συνολική προτεραιότητα.

Κριτήρια Επιλογής	Κόστος (0,44)	Αξιοπιστία (0,31)	Μέγεθος (0,10)	Αισθητική (0,15)	Συνολική Προτερ.	
Toyota	0,41	0,43	0,43	0,63	0,45	(1)
Suzuki	0,33	0,43	0,14	0,22	0,33	(2)
VW	0,26	0,14	0,43	0,15	0,22	(3)

$$0,41*0,44+0,43*0,31+0,43*0,10+0,63*0,10$$

Συνέπεια – Αξιοπιστία εκτιμήσεων (1/2)

- Ο βαθμός συνέπειας υπολογίζεται σε κάθε διαμορφούμενο πίνακα σύγκρισης ως εξής:
 1. Πολλαπλασιάζουμε το άθροισμα των στοιχείων του πίνακα με τη σχετική βαρύτητα του αντίστοιχου κριτηρίου.
 2. Προσθέτουμε αυτά τα γινόμενα για όλες τις στήλες και το αποτέλεσμα ορίζεται ως A.
 3. Ο βαθμός ασυνέπειας ορίζεται ως:

$$\lambda_{\max} = (A - n) / (n - 1)$$

Σημαντική επισήμανση: Ο βαθμός ασυνέπειας δεν πρέπει να υπερβαίνει το 10%

Συνέπεια – Αξιοπιστία εκτιμήσεων (2/2)

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, θα έχουμε:

Κριτήρια Επιλογής	Κόστος	Αξιοπιστία	Μέγεθος	Αισθητική
Κόστος	1	2	3	3
Αξιοπιστία	1/2	1	3	3
Μέγεθος	1/3	1/3	1	1/2
Αισθητική	1/3	1/3	2	1
Άθροισμα	2,16	3,66	9	7,5

Κριτήρια Επιλογής	Κόστος	Αξιοπιστία	Μέγεθος	Αισθητική	Προτεραιότητα
Κόστος	0,46	0,55	0,33	0,40	0,44
Αξιοπιστία	0,23	0,27	0,33	0,40	0,31
Μέγεθος	0,15	0,09	0,11	0,06	0,10
Αισθητική	0,15	0,09	0,22	0,13	0,15

$$A = 2,16 * 0,44 + 3,66 * 0,31 + 9 * 0,1 + 7,5 * 0,15 = 0,033$$

Παράδειγμα

- **Ενας δήμος διερευνά τη βέλτιστη θέση για να δημιουργήσει έναν σταθμό μετεπιβίβασης και αξιολογεί τις δύο εναλλακτικές θέσεις που είναι διαθέσιμες.**

Επεξεργασία από τη έκθεση: «ΟΔΗΓΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΑΨΗ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΣΥΜΒΑΣΕΩΝ» της Διεύθυνσης Δημοσίων Συμβάσεων του Γενικού Λογιστηρίου της Κυπριακής Δημοκρατίας.

Παράδειγμα (1/7)

- **Επιτελική Σύνοψη:** Αντικείμενο της μελέτης είναι η εξέταση της σκοπιμότητας δημιουργίας τερματικού σταθμού μετεπιβίβασης σε δύο διαφορετικές τοποθεσίες, ώστε να αποφασιστεί ποια από τις δύο επιλογές είναι προτιμότερη.
- **Διατύπωση του Προβλήματος:** Η διασύνδεση των μεταφορικών μέσων μέσα από σταθμούς μετεπιβίβασης αξιοποιεί τα συστήματα αστικών και περιαστικών ή υπεραστικών μετακινήσεων, με βελτιστοποίηση του στόλου οχημάτων που χρησιμοποιούνται από το κάθε σύστημα. Υπάρχουν δύο διαθέσιμες τοποθεσίες (η Τοποθεσία Α βρίσκεται πολύ κοντά στο κέντρο της πόλης και η Τοποθεσία Β βρίσκεται μερικά χιλιόμετρα έξω από την πόλη, στους πρόποδες ενός λοφίσκου).
- **Διατύπωση των Απαιτήσεων:** Η δημιουργία του σταθού απαιτεί επιφάνεια 30 τ.μ., δίκτυο πρόσβασης, καθώς και διαμόρφωση κάποιων χρήσεων γης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την αναμονή (αναψυκτήριο δυναμικότητας 80 ατόμων και παιδική χαρά 200 τ.μ.) Το κόστος κατασκευής δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις €700.000.

Παράδειγμα (2/7)

- **Εκτίμηση Σκοπιμότητας:** Για να εκτιμηθεί η σκοπιμότητα της κάθε επιλογής, έχουμε αναλυτικά τα κύρια χαρακτηριστικά κάθε Τοποθεσίας: ακριβές τοπογραφικό σχέδιο, διαστάσεις σε τ.μ., εγγύτητα (στο κέντρο της πόλης, στην πλησιέστερη στάση λεωφορείων, στον πλησιέστερο αυτοκινητόδρομο), επάρκεια αποθεμάτων νερού.
Τοποθεσία Α: Ολόκληρη η έκταση είναι ιδιοκτησία του Δήμου. Με έκταση 780 τ.μ., 800 μέτρα και 10 λεπτά με τα πόδια από το κέντρο της πόλης, η περιοχή εξυπηρετείται τακτικά από αστικά λεωφορεία με συχνότητα δρομολογίων από 5' ως 10', διάρκεια διαδρομής 4 λεπτά και τιμή εισιτηρίου €0,60. Το κύριο πρόβλημα της περιοχής είναι τα υψηλά επίπεδα θορύβου, καθώς βρίσκεται κοντά στο κέντρο της πόλης και δίπλα στον πιο πολυσύχναστο δρόμο της.
Τοποθεσία Β: Τα 2/3 της έκτασης είναι ιδιοκτησίας του Δήμου, ενώ το υπόλοιπο 1/3 ανήκει σε διαφόρους ιδιώτες. Με έκταση 1.050 τ.μ., 6 χιλιόμετρα από το κέντρο της πόλης, η περιοχή βρίσκεται κοντά στον αυτοκινητόδρομο που συνδέει την πόλη με τον αερολιμένα και διαθέτει χώρο στάθμευσης για 100 αυτοκίνητα. Επίσης, εξυπηρετείται τακτικά από αστικά λεωφορεία με συχνότητα δρομολογίων 15', διάρκεια διαδρομής 10' και τιμή εισιτηρίου €1,00.

Παράδειγμα (3/7)

- **Κατάταξη ως προς τη Σκοπιμότητα:** Οι δύο βασικές κατηγορίες κριτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των δύο εναλλακτικών επιλογών ήταν:
 - α) **Οφέλη Υλοποίησης** (όλοι οι παράγοντες που συμβάλλουν στην επιτυχία της επιλογής) και
 - β) **Απαιτήσεις Υλοποίησης** (περιορισμοί και κόστος).
- Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε κατηγορία ήταν:
 1. Τα κριτήρια για τα **Οφέλη Υλοποίησης**: εγγύτητα από το κέντρο της πόλης, προσβασιμότητα, δρομολόγια των δημόσιων συγκοινωνιών, θέση σε σχέση με κατοικημένες περιοχές, κόστος πρόσβασης.
 2. Τα κριτήρια για τις **Απαιτήσεις Υλοποίησης**: νομικοί περιορισμοί, ειδικοί φυσικοί περιορισμοί (αποθέματα νερού, θόρυβος), κόστος αγοράς γης, επάρκεια δικτύων (ηλεκτροδότησης, τηλεπικοινωνιών), μορφολογία τοπίου.

Παράδειγμα (4/7)











- Καθένα από τα παραπάνω κριτήρια βαθμολογήθηκαν και σταθμίστηκαν με βάση δύο παραμέτρους:
 1. **Σημασία (βαρύτητα):**
 - Βαθμός 3: Μεγάλη σημασία
 - Βαθμός 2: Μέτρια σημασία
 - Βαθμός 1: Μικρή σημασία
 2. **Ένταση (βαθμολόγηση):**
 - Υψηλή ● (αντιστοιχεί στο βαθμό 5 σε κλίμακα από το 1 ως το 5),
 - Χαμηλή ○ (αντιστοιχεί στο βαθμό 1 σε κλίμακα από το 1 ως το 5),
 - Ενδιάμεσοι βαθμοί ◐ | ◑ | ◒

Η βαθμολόγηση της συγκριτικής αξιολόγησης παρουσιάζεται σε δύο πίνακες:

1. Κατάταξη των **κριτηρίων για τα Οφέλη Υλοποίησης**
2. Κατάταξη των **κριτηρίων για τις Απαιτήσεις Υλοποίησης**











Παράδειγμα (5/7)

Πίνακας 1: Κατάταξη των κριτηρίων για τα Οφέλη Υλοποίησης

Κριτήρια Αξιολόγησης	Βαθμός Σημασίας	Ένταση		Βαθμο-λογία		Τεκμηρίωση
		Τοποθεσία A	Τοποθεσία B	A	B	
Εγγύτητα στο κέντρο της πόλης	2			10	4	Τοποθεσία A: 800 μέτρα από το κέντρο της πόλης, Τοποθεσία B: 5 χιλιόμετρα. Πολύ μεγάλη διαφορά στην απόσταση.
Προσβασιμότητα	3			12	9	Τοποθεσία A: 10' με τα πόδια, Τοποθεσία B: Δεν μπορείς να πας με τα πόδια, αλλά μπορείς με το αυτοκίνητο (διαθέσιμος χώρος στάθμευσης)
Δρομολόγια δημοσίων συγκοινωνιών	3			6	6	Και οι δύο τοποθεσίες εξυπηρετούνται από την ίδια δημόσια συγκοινωνία.
Θέση σε σχέση με κατοικημένες περιοχές	1			4	2	Τοποθεσία A: Κοντά στο κέντρο της πόλης με πληθυσμό 80.000, Τοποθεσία B: 5 χιλιόμετρα μακριά από κατοικημένες περιοχές
Κόστος πρόσβασης	2			8	6	Τοποθεσία A: Μηδενικό κόστος αν πάτε με τα πόδια, €0,60 αν πάρετε το λεωφορείο, Τοποθεσία B: €1 με το λεωφορείο ή ~€0,80 με το αυτοκίνητο (κόστος καυσίμου). Η Τοποθεσία A παίρνει υψηλότερη βαθμολογία γιατί έχει χαμηλότερο κόστος πρόσβασης.
			ΣΥΝ.	40	27	

Παράδειγμα (6/7)

Πίνακας 2: Κατάταξη των κριτηρίων για τις Απαιτήσεις Υλοποίησης

Κριτήρια Αξιολόγησης	Βαθμός Σημασίας	Ένταση		Βαθμολογία		Τεκμηρίωση
		Τοποθεσία Α	Τοποθεσία Β	Α	Β	
Νομικοί περιορισμοί	1			4	2	Για την Τοποθεσία Β απαιτείται απαλλοτρίωση γης από ιδιώτες, ενώ η Τοποθεσία Α ανήκει αποκλειστικά στον Δήμο. Η Τοποθεσία Α παίρνει υψηλότερη βαθμολογία γιατί παρουσιάζει λιγότερους νομικούς περιορισμούς.
Ειδικοί περιορισμοί	3			6	12	Τοποθεσία Α: Δεν έχει επαρκείς υδάτινους πόρους και έχει πρόβλημα με τα υψηλά επίπεδα θορύβου. Τοποθεσία Β: Έχει πρόβλημα κουνουπτικών, ωστόσο το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί εύκολα, επομένως παίρνει μεγαλύτερη βαθμολογία.
Κόστος αγοράς γης	3			15	6	Τοποθεσία Α: Μηδενικό κόστος αγοράς γης (ιδιοκτησία του Δήμου). Τοποθεσία Β: ~ €100.000 για την αγορά της έκτασης από ιδιώτες
Μορφολογία τοπίου	3			6	15	Τοποθεσία Α: Χρειάζονται πολλές επεμβάσεις στο τοπίο για τη μετατροπή της σε πάρκο πρασίνου, Τοποθεσία Β: Η μορφολογία της έκτασης είναι ιδανική για πάρκο πρασίνου, καθώς βρίσκεται δίπλα σε λόφο με πολλά δένδρα, ενώ την διασχίζει ένα μικρό ρέμα.
Επάρκεια δικτύων	2			6	6	Και οι δύο Τοποθεσίες δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα με τα υφιστάμενα δίκτυα ηλεκτροδότησης και τηλεπικοινωνιών.
			ΣΥΝ.	37	39	

Παράδειγμα (7/7)

- **Αποτέλεσμα Σκοπιμότητας:** Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου εκτίμησης σκοπιμότητας:
 1. Η Τοποθεσία A συγκέντρωσε 77 βαθμούς στις δύο κατηγορίες κριτηρίων.
 2. Η Τοποθεσία B συγκέντρωσε 66 βαθμούς.

- Κατά συνέπεια: **η επιλογή της δημιουργίας του σταθμού στο κέντρο της πόλης (Τοποθεσία A) αποδεικνύεται περισσότερο εφικτή από την επιλογή της δημιουργίας του μερικά χιλιόμετρα μακριά (Τοποθεσία B).**

- Δικαιολόγηση απόφασης (κύριοι λόγοι): η Τοποθεσία A υπερισχύει της Τοποθεσίας B από άποψη σκοπιμότητας γιατί:
 1. βρίσκεται στο κέντρο της πόλης (δηλαδή η πρόσβαση σε αυτήν είναι πιο εύκολη και γρήγορη) και
 2. δεν υπεισέρχεται η αγορά γης (δηλαδή μηδενικό κόστος για αγορά γης και απουσία νομικών περιορισμών).

Παράδειγμα πολυκριτήριας ανάλυσης & AHP (1/2)

Ταυτότητα εφαρμογής:

- Έργο STRAIGHTSOL (Strategies and measures for smarter urban freight solutions, www.strightsol.eu), χρηματοδοτούμενο από το 7^ο Πρόγραμμα Πλαίσιο της ΕΕ.
- Πιλοτική εφαρμογή (1 εκ των συνολικών 7 στο έργο) “Rail tracking and warehouse management system” σε συνεργασία με την Kuehne+Nagel (K+N).

Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά:

- Τοποθέτηση συσκευών GPS σε βαγόνια για την παρακολούθηση του φορτίου κατά το 1^ο σκέλος της εμπορευματικής μεταφοράς (υπεραστική – αστική από Sorpon, Ουγγαρία μέχρι της Θεσσαλονίκη).
- Συλλογή πληροφορίας σχετικά με την ώρα άφιξης, τις καθυστερήσεις κτλ ώστε να οργανωθεί αντίστοιχα το 2^ο σκέλος της μεταφοράς (αστική διανομή στο ΠΣΘ).
- 5 ομάδες εμπλεκόμενων: προμηθευτές – μεταφορείς συμπεριλαμβανομένων των εταιριών διαχείρισης στόλου φορτηγών οχημάτων, διαμεταφορείς και πάροχοι υπηρεσιών logistics (K+N), πάροχοι υποδομής και εξοπλισμού (ΟΣΕ), παραλήπτες - λιανέμποροι, πολίτες – καταναλωτές.

Παράδειγμα πολυκριτήριας ανάλυσης & AHP (2/2)

Μεθοδολογικό πλαίσιο:

- Ανάπτυξη 2 σεναρίων που αντιστοιχούν στις καταστάσεις «πριν» και «μετά» την τοποθέτηση συσκευών GPS Tracking and Tracing στα βαγόνια.
- Σύγκριση σεναρίων μεταξύ τους βάσει του συνολικού και των επιμέρους βαθμών απόδοσης ανά σενάριο, όπως προκύπτει από την εφαρμογή του πλαισίου πολυκριτηριακής αξιολόγησης.
- Πλαίσιο αξιολόγησης: σειρά κριτηρίων και αντίστοιχων δεικτών αυτών για κάθε εμπλεκόμενο ξεχωριστά, εστιάζοντας σε 4 τομείς ενδιαφέροντος, την οικονομία, τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο, τη μεταφορά και την ασφάλεια.
- Συλλογή στοιχείων με έρευνα ερωτηματολογίων που απευθύνεται προς τις ομάδες εμπλεκόμενων (διαφορετικές ερωτήσεις αντιστοιχούν σε κάθε ομάδα, οπότε και το ερωτηματολόγιο διαφοροποιείται ανάλογα).
- Καθορισμός βαρύτητα κριτηρίων μέσω AHP (έρευνα ερωτηματολογίων).
- Συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων στη διαμόρφωση της τελικής απόφασης έχοντας ισότιμη βαρύτητα (20% επί του συνόλου έκαστος από τους συνολικά 5).

Παράδειγμα: Πίνακας πολυκριτήριας ανάλυσης (1/5)

Πίνακας κριτηρίων & δεικτών για διαμεταφορείς & παρόχους υπηρεσιών logistics:

Ομάδα εμπλεκόμενων	Κριτήριο	Βάρος κριτηρίου	Δείκτης	Βάρος δείκτη	Μονάδα μέτρησης	Τιμή «πριν»	Βαθμός «πριν»	Τιμή «μετά»	Βαθμός «μετά»
Φορείς παροχής υπηρεσιών logistics (βάρος 20%)	Κόστη και έσοδα	W ₁₁	Λειτουργικά κόστη	W ₁₁₁	€	V ₁₁₁	G ₁₁₁	V' ₁₁₁	G' ₁₁₁
			Κόστος επένδυσης	W ₁₁₂	€	V ₁₁₂	G ₁₁₂	V' ₁₁₂	G' ₁₁₂
	Αξιοπιστία της εταιρείας και εικόνα προς τα έξω	W ₁₂	Ακρίβεια παραδόσεων και παραλαβών	W ₁₂₁	%	V ₁₂₁	G ₁₂₁	V' ₁₂₁	G' ₁₂₁
			Παραδόσεις και παραλαβές στη σωστή ποσότητα	W ₁₂₂	%	V ₁₂₂	G ₁₂₂	V' ₁₂₂	G' ₁₂₂
			Παραδόσεις και παραλαβές στη δέουσα μορφή	W ₁₂₃	%	V ₁₂₃	G ₁₂₃	V' ₁₂₃	G' ₁₂₃
			Χρόνοι φορτοεκφόρτωσης και λοιπές καθυστερήσεις	W ₁₂₄	λεπτά ή ώρες	V ₁₂₄	G ₁₂₄	V' ₁₂₄	G' ₁₂₄
	Ασφάλεια έμψυχου και άψυχου δυναμικού	W ₁₃	Αριθμός από τροχαία ατυχήματα που περιλαμβάνουν φθορά υποδομών.εξοπλισμού	W ₁₃₁	αριθμός/έτος	V ₁₃₁	G ₁₃₁	V' ₁₃₁	G' ₁₃₁
			Αριθμός συμβάντων με εμπλοκή προσωπικού	W ₁₃₂	αριθμός/έτος	V ₁₃₂	G ₁₃₂	V' ₁₃₂	G' ₁₃₂
	Ορατότητα εφοδιαστικής αλυσίδας	W ₁₄	Ποσοστό της διάρκειας ή απόστασης της μεταφοράς που ήταν διαθέσιμη πληροφορία για θέση εμπορεύματος σε πραγματικό χρόνο	W ₁₄₁	%	V ₁₄₁	G ₁₄₁	V' ₁₄₁	G' ₁₄₁

Παράδειγμα: Πίνακας πολυκριτήριας ανάλυσης (2/5)

Πίνακας κριτηρίων & δεικτών για προμηθευτές & μεταφορείς:

Ομάδα εμπλεκόμενων	Κριτήριο	Βάρος κριτηρίου	Δείκτης	Βάρος δείκτη	Μονάδα μέτρησης	Τιμή «πριν»	Βαθμός «πριν»	Τιμή «μετά»	Βαθμός «μετά»
Προμηθευτές και μεταφορείς (βάρος 20%)	Οικονομία / Κόστη και ζημιές	W ₂₁	Αριθμός οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν	W ₂₁₁	αριθμός	V ₂₁₁	G ₂₁₁	V' ₂₁₁	G' ₂₁₁
			Μέση κατανάλωση καυσίμου	W ₂₁₂	λτ / 100 χλμ.	V ₂₁₂	G ₂₁₂	V' ₂₁₂	G' ₂₁₂
			Οχηματοχιλιόμετρα ανά έτος	W ₂₁₃	χιλιόμετρα	V ₂₁₃	G ₂₁₃	V' ₂₁₃	G' ₂₁₃
			Δαπάνες για παραδόσεις	W ₂₁₄	€	V ₂₁₄	G ₂₁₄	V' ₂₁₄	G' ₂₁₄
			Διαφυγόντα κέρδη λόγω καθυστερήσεων (σε επιλεγμένη μονάδα χρόνου)	W ₂₁₅	€	V ₂₁₅	G ₂₁₅	V' ₂₁₅	G' ₂₁₅
			Διάρκεια οδήγησης (και λοιπές καθυστερήσεις)	W ₂₁₆	λεπτά ή ώρες	V ₂₁₆	G ₂₁₆	V' ₂₁₆	G' ₂₁₆
			Διάρκεια αναμονής (και λοιπές καθυστερήσεις)	W ₂₁₇	λεπτά ή ώρες	V ₂₁₇	G ₂₁₇	V' ₂₁₇	G' ₂₁₇
			Διάρκεια αδράνειας οχημάτων	W ₂₁₈	λεπτά ή ώρες	V ₂₁₈	G ₂₁₈	V' ₂₁₈	G' ₂₁₈
			Ποσοστό ημερήσιας χρήσης οχημάτων	W ₂₁₉	% (ώρες/ημέρα)	V ₂₁₉	G ₂₁₉	V' ₂₁₉	G' ₂₁₉
	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	W ₂₂	Συνολικές εκπομπές CO ₂ ανά έτος	W ₂₂₁	γραμμάρια	V ₂₂₁	G ₂₂₁	V' ₂₂₁	G' ₂₂₁
	Επίπεδο εξυπηρέτησης	W ₂₃	Ακρίβεια παραδόσεων και παραλαβών	W ₂₃₁	%	V ₂₃₁	G ₂₃₁	V' ₂₃₁	G' ₂₃₁
			Παραδόσεις και παραλαβές στη σωστή ποσότητα	W ₂₃₂	%	V ₂₃₂	G ₂₃₂	V' ₂₃₂	G' ₂₃₂
			Παραδόσεις και παραλαβές στη δέουσα μορφή	W ₂₃₃	%	V ₂₃₃	G ₂₃₃	V' ₂₃₃	G' ₂₃₃
			Συχνότητα διαθεσιμότητας έγκαιρης και έγκυρης πληροφορίας	W ₂₃₄	αριθμός (ανά πόσο χρονικό διάστημα)	V ₂₃₄	G ₂₃₄	V' ₂₃₄	G' ₂₃₄
	Εικόνα εταιρίας	W ₂₄	Ικανοποίηση πελάτη	W ₂₄₁	Αριθμός (επίπεδο)	V ₂₄₁	G ₂₄₁	V' ₂₄₁	G' ₂₄₁
	Ασφάλεια έμψυχου και άψυχου δυναμικού	W ₂₅	Αριθμός από τροχαία ατυχήματα που περιλαμβάνουν φθορά υποδομών ή / και υλικοτεχνικού εξοπλισμού	W ₂₅₁	αριθμός	V ₂₅₁	G ₂₅₁	V' ₂₅₁	G' ₂₅₁
			Αριθμός συμβάντων με εμπλοκή προσωπικού	W ₂₅₂	αριθμός	V ₂₅₂	G ₂₅₂	V' ₂₅₂	G' ₂₅₂
	Ορατότητα εφοδιαστικής αλυσίδας	W ₂₆	Ποσοστό της διάρκειας ή απόστασης της μεταφοράς που ήταν διαθέσιμη πληροφορία για θέση εμπορεύματος σε πραγματικό χρόνο	W ₂₆₁	%	V ₂₆₁	G ₂₆₁	V' ₂₆₁	G' ₂₆₁

Παράδειγμα: Πίνακας πολυκριτήριας ανάλυσης (3/5)

Πίνακας κριτηρίων & δεικτών για παρόχους υποδομών & εξοπλισμού:

Ομάδα εμπλεκόμενων	Κριτήριο	Βάρος κριτηρίου	Δείκτης	Βάρος δείκτη	Μονάδα μέτρησης	Τιμή «πριν»	Βαθμός «πριν»	Τιμή «μετά»	Βαθμός «μετά»
Πάροχοι υποδομών και εξοπλισμού (βάρος 20%)	Οικονομία/Κόστη	W ₃₁	Συνολικό κόστος ενοικίασης και χρήσης ενός βαγονιού το μήνα	W ₃₁₁	€	V ₃₁₁	G ₃₁₁	V' ₃₁₁	G' ₃₁₁
			Επιπρόσθετα κόστη λόγω καθυστερήσεων και μη διάθεσης πληροφοριών και ειδοποιήσεων	W ₃₁₂	€	V ₃₁₂	G ₃₁₂	V' ₃₁₂	G' ₃₁₂
	Επίπεδο εξυπηρέτησης	W ₃₂	Ακρίβεια παραδόσεων και παραλαβών	W ₃₂₁	%	V ₃₂₁	G ₃₂₁	V' ₃₂₁	G' ₃₂₁
			Παραδόσεις και παραλαβές στη σωστή ποσότητα	W ₃₂₂	%	V ₃₂₂	G ₃₂₂	V' ₃₂₂	G' ₃₂₂
			Παραδόσεις και παραλαβές στη δέουσα μορφή	W ₃₂₃	%	V ₃₂₃	G ₃₂₃	V' ₃₂₃	G' ₃₂₃
			Συχνότητα διαθεσιμότητας έγκαιρης πληροφορίας	W ₃₂₄	αριθμός	V ₃₂₄	G ₃₂₄	V' ₃₂₄	G' ₃₂₄

Παράδειγμα: Πίνακας πολυκριτήριας ανάλυσης (4/5)

Πίνακας κριτηρίων & δεικτών για παραλήπτες / αποδέκτες & λιανέμπορους:

Ομάδα εμπλεκόμενων	Κριτήριο	Βάρος κριτηρίου	Δείκτης	Βάρος δείκτη	Μονάδα μέτρησης	Τιμή «πριν»	Βαθμός «πριν»	Τιμή «μετά»	Βαθμός «μετά»
Παραλήπτες / Αποδέκτες / Λιανέμποροι (βάρος 20%)	Οικονομία/ Κόστη και ζημιές	W ₄₁	Κόστος παραδόσεων	W ₄₁₁	€	V ₄₁₁	G ₄₁₁	V' ₄₁₁	G' ₄₁₁
			Μέσο κόστος καθυστερήσεων	W ₄₁₂	€	V ₄₁₂	G ₄₁₂	V' ₄₁₂	G' ₄₁₂
			Διαφυγόντα κέρδη ανά μήνα	W ₄₁₃	€	V ₄₁₃	G ₄₁₃	V' ₄₁₃	G' ₄₁₃
	Επίπεδο εξυπηρέτησης	W ₄₂	Ακρίβεια παραδόσεων	W ₄₂₁	%	V ₄₂₁	G ₄₂₁	V' ₄₂₁	G' ₄₂₁
			Παραδόσεις στη σωστή ποσότητα	W ₄₂₂	%	V ₄₂₂	G ₄₂₂	V' ₄₂₂	G' ₄₂₂
			Παραδόσεις στη δέουσα μορφή	W ₄₂₃	%	V ₄₂₃	G ₄₂₃	V' ₄₂₃	G' ₄₂₃
			Συχνότητα διαθεσιμότητας έγκαιρης πληροφορίας	W ₄₂₄	αριθμός	V ₄₂₄	G ₄₂₄	V' ₄₂₄	G' ₄₂₄
	Ορατότητα εφοδιαστικής αλυσίδας	W ₄₃	Δυνατότητα ορατότητας της αποστολής και συχνότητα αυτής	W ₄₃₁	αριθμός/κείμενο	V ₄₃₁	G ₄₃₁	V' ₄₃₁	G' ₄₃₁
			Τύπος πληροφόρησης και τρόπος λήψης	W ₄₃₂	κείμενο	V ₄₃₂	G ₄₃₂	V ₄₃₂	G' ₄₃₂
			Ικανοποίηση πελάτη από τη συχνότητα πληροφόρησης	W ₄₃₃	κείμενο	V ₄₃₃	G ₄₃₃	V' ₄₃₃	G' ₄₃₃

Παράδειγμα: Πίνακας πολυκριτήριας ανάλυσης (5/5)

Πίνακας κριτηρίων & δεικτών για καταναλωτικό κοινό & πωλίτες:

Ομάδα εμπλεκόμενων	Κριτήριο	Βάρος κριτηρίου	Δείκτης	Βάρος δείκτη	Μονάδα μέτρησης	Τιμή «πριν»	Βαθμός «πριν»	Τιμή «μετά»	Βαθμός «μετά»
Καταναλωτικό κοινό/Πολίτες (βάρος 20%)	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	W ₅₁	Αντιληπτή οπτική και φυσική όχληση	W ₅₁₁	αριθμός	V ₅₁₁	G ₅₁₁	V' ₅₁₁	G' ₅₁₁
			Αντιληπτό επίπεδο προσβασιμότητας	W ₅₁₂	αριθμός	V ₅₁₂	G ₅₁₂	V' ₅₁₂	G' ₅₁₂
			Επίπεδα μόλυνσης από αέριους ρύπους	W ₅₁₃	αριθμός	V ₅₁₃	G ₅₁₃	V' ₅₁₃	G' ₅₁₃
	Ασφάλεια	W ₅₂	Αντιληπτό επίπεδο οδικής ασφάλειας	W ₅₂₁	αριθμός	V ₅₂₁	G ₅₂₁	V' ₅₂₁	G' ₅₂₁
	Επίπεδο εξυπηρέτησης/ικανοποίηση καταναλωτή	W ₅₃	Χρονική απόκλιση από την αναμενόμενη ημέρα παράδοσης (διάρκεια καθυστέρησης)	W ₅₃₁	αριθμός	V ₅₃₁	G ₅₃₁	V' ₅₃₁	G' ₅₃₁
			Συχνότητα καθυστερήσεων	W ₅₃₂	αριθμός	V ₅₃₂	G ₅₃₂	V' ₅₃₂	G' ₅₃₂
			Χρόνος πληροφόρησης για την καθυστέρηση της αποστολής	W ₅₃₃	αριθμός	V ₅₃₃	G ₅₃₃	V' ₅₃₃	G' ₅₃₃
			Αντιληπτό κόστος καθυστερήσεων	W ₅₃₄	€/ κείμενο	V ₅₃₄	G ₅₃₄	V' ₅₃₄	G' ₅₃₄
	Ορατότητα εφοδιαστικής αλυσίδας	W ₅₄	Διάθεση και συχνότητα πληροφόρησης	W ₅₄₁	αριθμός / κείμενο	V ₅₄₁	G ₅₄₁	V' ₅₄₁	G' ₅₄₁
			Ικανοποίηση πελάτη από τη συχνότητα πληροφόρησης	W ₅₄₂	κείμενο	V ₅₄₂	G ₅₄₂	V' ₅₄₂	G' ₅₄₂

Παράδειγμα: Εξήγηση πίνακα

- Πρώτη στήλη: εμπλεκόμενοι φορείς.
- Δεύτερη στήλη: τα κριτήρια που αντιστοιχούν σε κάθε φορέα.
- Τρίτη στήλη: τα βάρη WK_{ij} (%) για κάθε κριτήριο (χωρίς αριθμητικές τιμές) .
- Τέταρτη στήλη: οι δείκτες κάθε κριτηρίου.
- Πέμπτη στήλη: τα βάρη $W\Delta_{ij}$ (%) για κάθε δείκτη (χωρίς αριθμητικές τιμές).
- Έκτη στήλη: η μονάδα μέτρησης του αντίστοιχου ποσοτικού ή ποιοτικού μεγέθους που είναι προς υπολογισμό ή εκτίμηση, σύμφωνα με τον τρόπο που ζητήθηκε από τους εμπλεκόμενους κατά την έρευνα ερωτηματολογίων.
- Οι τέσσερις τελευταίες στήλες του πίνακα αναφέρονται στις τιμές των διαφόρων δεικτών (7^η και 9^η), αλλά και στις αντίστοιχες βαθμολογίες που τους αποδίδονται (8^η και 10^η) για τα δύο σενάρια «πριν» και «μετά» που αναπτύχθηκαν.

Επισημαίνεται ότι, κατά τον υπολογισμό των μερικών και των συνολικών δεικτών απόδοσης του κάθε σεναρίου, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν αδιάστατα μεγέθη (άμεσα συγκρίσιμα - χωρίς μονάδες μέτρησης), στις στήλες 8 και 10 αποδίδεται η αντίστοιχη βαθμολογία G_{ijk} και G'_{ijk} , βάσει των τιμών V_{ijk} και με V'_{ijk} και ανάλογα με το σύστημα βαθμολόγησης που επιλέγεται να υιοθετηθεί βάσει βιβλιογραφίας, ενώ συχνά χρησιμοποιείται και η μέθοδος **Delphi**, η οποία προϋποθέτει και τη συμμετοχή ειδικών επιστημόνων.

Παράδειγμα: Υπολογισμός βαθμών απόδοσης

Επιμέρους βαθμός απόδοσης:

$$P_{li} = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n W_{ij} * W_{ijk} * G_{ijk}, \text{ για το σενάριο «πριν»}.$$

και:

$$P_{li}' = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n W_{ij} * W_{ijk} * G'_{ijk}, \text{ για το σενάριο «μετά»}.$$

Όπου i η ομάδα εμπλεκόμενων, j το κριτήριο και k ο δείκτης του κριτηρίου.

Συνολικός βαθμός απόδοσης:

$$TPI = \sum_{i=1}^5 0,2 * P_{li}, \text{ για το σενάριο «πριν»}.$$

και:

$$TPI' = \sum_{i=1}^5 0,2 * P_{li}', \text{ για το σενάριο «μετά»}.$$

Βιβλιογραφικές πηγές (1/2)

1. **Freeman, R. E.**, Strategic Management: A Stakeholder Approach. (Pitman, Ed.) *Management (Vol. 1, p. 276)*. Pitman. doi:10.2139/ssrn.263511, 1984
2. **P. M. Pardalos, Y. Siskos and C. Zopounidis**, Advances in multicriteria analysis, Journal of Behavioral Decision Making, Vol. 11, Issue 2, p.p. 153-154, June, 1998
3. **Saaty, T. L.**, How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research, vol. 48, p.p. 9-26*, 1990.
4. **Saaty, T. L., & Vargas, L. G.**, Models, methods, concepts and applications of the hierarchy process (Kluwer aca.), USA, 2000
5. **STRAIGHTSOL consortium**, STRAIGHTSOL Deliverable D3.2 - Stakeholders, criteria and weights, Brussels, 2012
6. **Triantaphyllou E. and Mann S.H.**, Using the analytic hierarchy process for decision-making in engineering applications: some challenges. *Journal of Industrial Engineering: Applications and practice, Vol. 2, No. 1, pp 35-44*, 1995
7. **Williamson, O. E.**, Strategizing, economizing, and economic organisation. *Strategic Management Journal, 12, 75-94*, 1991

Βιβλιογραφικές πηγές (2/2)

8. **Αραμπατζής Γ.**, Πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων: εφαρμογές στην αγροτική οικονομία, τους φυσικούς πόρους και το περιβάλλον, ΔΠΘ, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων Μάιος, 2008
9. **Γκόγκας Μ., Παπουτσής Κ., Ναθαναήλ Ε.**, Αστικές εμπορευματικές μεταφορές: Μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης μέτρων βελτίωσης του επιπέδου εξυπηρέτησης της αγοράς, 6^ο Συνέδριο για την έρευνα στις μεταφορές, Θεσσαλονίκη, 2013
10. **Ευαγγέλου Χ., Καρακαπιλίδης Ν**, Πολυκριτήρια ανάλυση και λήψη αποφάσεων, Industrial Management & Information Systems Lab MEAD, University of Patras, 2010
11. **Ζοπουνίδης Κ., Δούμπος Μ., Κοσμίδου Κ.**, Τεχνοοικονομικές Αποφάσεις με Πολλαπλά Κριτήρια, Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2004
12. **Παναγιώτου Ν**, Συστήματα αποφάσεων – Πολυκριτήρια ανάλυση (Multi –Criteria Analysis), ΕΜΠ, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας, Ερευνητική Ομάδα Βιομηχανικού Λογισμικού, Μάιος, 2010