

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ



Διδακτορική Διατριβή

**Εργαλεία Υποστήριξης Απόφασης για την Αξιολόγηση και το
Δίκαιο Επιμερισμό του Χρηματοοικονομικού Κινδύνου σε
Επενδυτικά Έργα**

του Αθανάσιου Χρ. Καμπέρη

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

**Ηλίας Τατσιόπουλος
Κωνσταντίνος Αραβώσης
Σταύρος Πόνης**

**Καθηγητής (Επιβλέπων)
Επικ. Καθηγητής
Επικ. Καθηγητής**

Αθήνα, 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η επιτελεστικότητα των ερευνητικών σπουδών ενός υποψήφιου διδάκτορα προσδιορίζεται στην εκπόνηση και παρουσίαση της διδακτορικής του διατριβής. Για να φτάσει στο τελικό στάδιο ολοκλήρωσης μίας διατριβής, ο υποψήφιος διδάκτορας έχει διανύσει μία μακρά και επίπονη, πλην όμως ενδιαφέρουσα και συναρπαστική, ερευνητική διαδρομή. Η εν λόγω διαδρομή είναι μακρά και επίπονη, καθώς απαιτείται η πλήρης αφοσίωσή του στον ερευνητικό σκοπό για μεγάλο χρονικό διάστημα. Παράλληλα όμως, η ίδια διαδρομή είναι ενδιαφέρουσα και συναρπαστική, καθώς ο υποψήφιος διδάκτορας ανακαλύπτει το μεγαλείο της ερευνητικής δραστηριότητας, σύμφωνα με την οποία τοποθετεί και αυτός ένα μικρό λίθο στο ευρύτερο επιστημονικό οικοδόμημα. Το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι η περάτωση μίας διδακτορικής διατριβής σηματοδοτεί αφενός την ολοκλήρωση της διερεύνησης, απάντησης και τεκμηρίωσης των λύσεων επί συγκεκριμένων προβλημάτων και αφετέρου τη γέννηση νέων ερευνητικών ερωτημάτων για να απαντηθούν στο μέλλον.

Από τη θέση λοιπόν αυτή θα ήθελα να εκφράσω με τρόπο ειλικρινή τις αληθινές και εγκάρδιες ευχαριστίες μου, σε όλους όσους με βοήθησαν κατά την εκπόνηση και ολοκλήρωση αυτής της ερευνητικής προσπάθειας. Συγκεκριμένα θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τον κύριο Ηλία Τασιόπουλο, Καθηγητή ΕΜΠ αλλά και τον κύριο Κωνσταντίνο Αραβώση Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ, τόσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, ο μεν πρώτος, κατά την ανάθεση του θέματος της εν λόγω διατριβής, και τη συνεχή επίβλεψη και καθοδήγηση που μου παρείχε στα διάφορα στάδια αυτής, όσο και για την απρόσκοπτη επιστημονική συνεργασία και αδιάλειπτη υποστήριξη που μου παρείχε, ο δεύτερος, στη πραγμάτωση του ερευνητικού σκοπού. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω να προσδώσω και στους Επίκουρους Καθηγητές ΕΜΠ, κυρίως Κωνσταντίνο Κηρυττόπουλο και Σταύρο Πόνη, για τις σημαντικής αξίας συμβουλές και οδηγίες τους, καθώς και στα λοιπά μέλη του Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας που με το δικό τους τρόπο και στάση παρείχαν το ίδιο έργο και φροντίδα από διαφορετική θέση και σχέση.

Επιπροσθέτως όμως αισθάνομαι την ιδιαίτερη ανάγκη να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και συγκεκριμένα τη σύζυγό μου Σοφία, που με στήριξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, πνευματικά και ψυχικά, συμβάλλοντας τα μέγιστα για την ολοκλήρωση αυτών.

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΑ

A. Βιβλία

1. Αραβώσης Κ., Καρμπέρης Αθ., Σωτήρχος Α., (2012): *Τεχνικοοικονομική Αξιολόγηση Επενδύσεων*. Εκδόσεις: Νομική Βιβλιοθήκη, σελ. 504.

B. Ομιλίες

2. Speaker: Athanasios C. Karmperis, Ομιλία στο "Theory Group" του Τμήματος Πληροφορικής της ΑΣΟΕΕ, στο θέμα: "*Fair division of multiple stochastic pies to multiple agents within the Nash bargaining solution: Modeling and real-life application*", 12 Οκτ. 2012.

Γ. Σε Διεθνή Επιστημονικά Περιοδικά με Κριτές

3. Karmperis A.C., Aravossis K., Tatsiopoulos I., and Sotirchos A., (2013): Decision support models for solid waste management: Review and game-theoretic approaches, *Waste Management*, Vol. 33, Issue 5, pp. 1290-1301.
4. Karmperis A.C., Aravossis K., Sotirchos A., and Tatsiopoulos I., (2013): Investment assessment of waste incineration projects, *Fresenius Environmental Bulletin*, Accepted manuscript, to be published.
5. Karmperis A.C., Aravossis K., Tatsiopoulos I., and Sotirchos A., (2012): On the fair division of multiple stochastic pies to multiple agents within the Nash bargaining solution, *Plos ONE*, Vol. 7, Issue 9, e44535. doi:10.1371/journal.pone.0044535.
6. Karmperis A.C., Sotirchos A., Tatsiopoulos I., and Aravossis K., (2012): Environmental project evaluation: IRR-based decision support with a Monte Carlo simulation algorithm, *Civil Engineering and Environmental Systems*, Vol. 29, Issue 4, pp. 291-299.
7. Karmperis A.C., Sotirchos A., Aravossis K., and Tatsiopoulos I., (2012): Waste management project's alternatives: a risk-based multi-criteria assessment (RBMCA) approach, *Waste Management*, Vol. 32, Issue 1, pp. 194-212.
8. Karmperis A.C., Tatsiopoulos I., Sotirchos A., Aravossis K., (2012): On the financial and risk analysis of waste treatment projects in Greece, *International Journal of Sustainable Development and Planning*, Vol. 7, Issue 2, pp. 252-262.
9. Karmperis A.C., Aravossis K., Sotirchos A., and Tatsiopoulos I. P., (2012): Coordination of multi-agents with a revenue-cost-sharing mechanism: A cooperative

game theory approach, *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, Vol. 6, Issue 1, pp. 209-221.

10. Karmperis A.C., Sotirchos A., Aravossis K., Tatsiopoulos I., (2012): Implementing wastewater treatment projects through Build Operate Transfer Contracts, *International Journal of Sustainable Development and Planning*, Vol. 7, Issue 2, pp. 237-251.

Δ. Σε Διεθνή Επιστημονικά Συνέδρια με Κριτές

11. Karmperis A.C., Sotirchos A., Tatsiopoulos I. P., and Aravossis K., (2013): Risk assessment techniques as decision support tools for military operations, *2nd International Conference on Applications of Mathematics and Informatics in Military Sciences (AMIMS)*, Vari, Athens, 11-12 Apr. 2013.
12. Karmperis A.C., Aravossis K., Sotirchos A., Tatsiopoulos I., (2012): ENPV or ERR? Total Project's Uncertainty Index (TPUI) for sustainable decision-making, *Third International Symposium on Green Chemistry for Environment, Health and Development*, Skiathos, Greece, 3-5 Oct 2012, pp. 186-193.
13. Karmperis A.C., Aravossis K., Sotirchos A., Tatsiopoulos I., (2012): An overview of the waste management assessment methods and techniques, *ATHENS 2012 International Conference on Sustainable Solid Waste Management*, 28-29 Jun. 2012, Papagos, Athens.
14. Karmperis A.C., Sotirchos A., Aravossis K. and Tatsiopoulos I. P., (2012): Risk based process for funding scheme evaluation of Public Private Partnerships, *6th International Conference on Applied Mathematics, Simulation, Modelling*, Vouliagmeni, Athens, 7-9 Mar. 2012, pp. 20-25.
15. Sotirchos A., Karmperis A.C., Aravossis K., and Tatsiopoulos I.P., (2011): Financial sustainability of the waste treatment projects that follow PPP contracts in Greece: a formula for the calculation of the profit rate, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol. 144, pp. 285-297.
16. Karmperis A.C., Sotirchos A., Aravossis K., and Tatsiopoulos I.P., (2011): A cooperative game theory approach for the equal profit and risk allocation, *2nd European Conference of Systems*, Puerto de La Cruz, Tenerife, 10-12 Dec. 2011, pp. 155-160.
17. Karmperis A.C., Sotirchos A., Aravossis K., and Tatsiopoulos I.P., (2011): Option evaluation process for the waste incineration projects, *Third International Conference Environmental Management Engineering Planning & Economics (CEMEPE & SECOTOX 2011)*, Skiathos, Greece, 19-24 Jun. 2011, pp. 925-930.
18. Karmperis A.C., Sotirchos A., Aravossis K., and Tatsiopoulos I.P., (2010): Funding evaluation model for the implementation of wastewater treatment projects through

Public Private Partnerships, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol. 131, pp. 147-159.

Ε. Σε Πανελλήνια Επιστημονικά Συνέδρια με Κριτές

19. Καρμπέρης Αθ., Αραβώσης Κ., Τατσιόπουλος Η., και Σωτήρχος Α., (2012): Βιωσιμότητα επιχειρηματικών συνεργασιών σε έργα διαχείρισης στερεών αποβλήτων: Η λύση διαπραγμάτευσης του Nash, 4^ο Διεθνές Συνέδριο ΕΕΔΣΑ «*Διαχείριση στερεών αποβλήτων σε κρίση: Νέες προκλήσεις και προοπτικές*», Αθήνα, 30 Νοε - 1 Δεκ. 2012.
20. Sotirchos A., Karmperis A.C., Aravossis K., and Tatsiopoulos I. P., (2011): An algorithm for the equal profit allocation between multiple players, 2^ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Εφαρμοσμένης Οικονομικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 13-15 Απρ. 2011, pp.186-193.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	- 1 -
ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΑ	- 2 -
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	- 5 -
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	- 10 -
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	- 13 -
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ & ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	- 17 -
ΕΠΟΨΗ	- 20 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή	- 22 -
1.1 Αντικείμενο της έρευνας	- 23 -
1.2 Δομή της Διατριβής	- 24 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση	26
2.1 Μοντέλα και πλαίσια υποστήριξης απόφασης	27
2.2 Μέθοδοι αξιολόγησης επενδύσεων	27
2.2.1 Η διαχρονική αξία του χρήματος στις επενδύσεις.....	27
2.2.2 Ανατοκισμός και μελλοντική αξία.....	29
2.2.3 Προεξόφληση και παρούσα αξία	30
2.3 Παρουσίαση και επεξήγηση δεικτών αξιολόγησης	30
2.3.1 Καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ)	31
2.3.1.1 Διεργασία υπολογισμού της ΚΠΑ.....	31
2.3.1.2 Χρηματοοικονομική βιωσιμότητα – υπολογισμός της ΚΠΑ.....	32
2.3.2 Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (ΕΣΑ).....	34
2.3.2.1 Διεργασία υπολογισμού του ΕΣΑ.....	34
2.3.2.2 Παράδειγμα υπολογισμού του ΕΣΑ.....	35
2.3.3 Η περίπτωση τιμής εναλλαγής του προεξοφλητικού επιτοκίου	35
2.3.4 Σύγκριση των δεικτών ΚΠΑ και ΕΣΑ	37
2.3.4.1 Πλεονεκτήματα και αδυναμίες της ΚΠΑ.....	37
2.3.4.2 Πλεονεκτήματα και αδυναμίες του ΕΣΑ.....	38
2.3.4.3 Συμπεράσματα από τη σύγκριση της ΚΠΑ και του ΕΣΑ	38
2.3.5 Δείκτης αποδοτικότητας (Οφέλους / Κόστους) επένδυσης.....	39
2.3.6 Συνδεσιμότητα δεικτών αξιολόγησης επενδύσεων	40
2.4 Η μέθοδος ανάλυσης κόστους – οφέλους (ΑΚΟ)	40
2.4.1 Το πλαίσιο της μεθόδου ΑΚΟ.....	40
2.4.2 Εφαρμογή της ΑΚΟ.....	41
2.4.3 Το βασικό μοντέλο ΑΚΟ.....	42

2.4.3.1	Ανάλυση πλαισίου και αντικειμενικών στόχων του έργου	44
2.4.3.2	Προσδιορισμός του έργου	45
2.4.3.3	Σκοπιμότητα και εξέταση εναλλακτικών δυνατοτήτων	47
2.4.3.4	Χρηματοοικονομική ανάλυση	49
2.4.3.5	Οικονομική ανάλυση	55
2.4.3.6	Αξιολόγηση κινδύνων.....	60
2.4.4	Αξιολόγηση μεθόδου ΑΚΟ	- 78 -
2.4.4.1	Πλεονεκτήματα της ΑΚΟ	- 78 -
2.4.4.2	Μειονεκτήματα της ΑΚΟ.....	- 78 -
2.4.4.3	Κρίσιμα σημεία στην ΑΚΟ.....	- 79 -
2.5	Εργαλεία υποστήριξης απόφασης μέσω ποσοτικής ανάλυσης του χρηματοοικονομικού κινδύνου	- 80 -
2.5.1	Πολυκριτήρια εργαλεία υποστήριξης απόφασης	- 80 -
2.5.2	Τεχνικές αξιολόγησης περιβαλλοντικών έργων.....	- 81 -
2.5.3	Τεχνικές αξιολόγησης έργων ΣΔΙΤ	- 82 -
2.5.4	Ποσοτική ανάλυση του χρηματοοικονομικού κινδύνου.....	- 83 -
2.5.5	Προτιμήσεις ληπτών αποφάσεων έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου	- 86 -
2.6	Επιμερισμός χρηματοοικονομικού κινδύνου σε επενδυτικές συνεργασίες	- 88 -
2.6.1	Οι διαπραγματεύσεις επιχειρηματικών συνεργασιών	- 88 -
2.6.1.1	Εισαγωγή.....	- 88 -
2.6.1.2	Θεωρία Παιγνίων	- 89 -
2.6.2	Η δικαιοσύνη στις διαπραγματεύσεις επιχειρηματικών συνεργασιών - 91	-
2.6.2.1	Μηχανισμοί επιμερισμού πλεονάσματος και διαπραγματεύσεις σε στοχαστικό περιβάλλον.....	- 91 -
2.6.2.2	Δικαιοσύνη σε συνεργατικά παίγνια	- 93 -
2.6.2.3	Η λύση διαπραγμάτευσης του Nash.....	- 94 -
2.6.2.4	Εφαρμογές της διαπραγματευτικής λύσης του Nash	- 98 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Μέθοδος Έρευνας		100
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Υποστηρικτικά Εργαλεία Απόφασης βάσει του Χρηματοοικονομικού Κινδύνου για την Αξιολόγηση Επενδύσεων		104
4.1	1^ο εργαλείο υποστήριξης απόφασης: αξιολόγηση επένδυσης με το κριτήριο του μέγιστου αναμενόμενου κέρδους	105
4.1.1	Σύνοψη, δομή και πλαίσιο.....	105
4.1.2	Αλγόριθμος υποστήριξης απόφασης με το κριτήριο του μέγιστου αναμενόμενου κέρδους	106
4.1.3	Περιπτωσιολογική μελέτη εφαρμογής του αλγορίθμου σε έργο διαχείρισης στερεών αποβλήτων	108
4.1.4	Συμπεράσματα.....	116
4.2	2^ο εργαλείο υποστήριξης απόφασης: αξιολόγηση επένδυσης με το κριτήριο του διαστήματος εμπιστοσύνης.....	117
4.2.1	Σύνοψη, Δομή και πλαίσιο	117
4.2.2	Αλγόριθμος υποστήριξης απόφασης με το κριτήριο του διαστήματος εμπιστοσύνης.....	117

4.2.3	Περιπτωσιολογική μελέτη εφαρμογής του αλγόριθμου σε επένδυση στον τομέα αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων	119
4.2.4	Συμπεράσματα	123
4.3	3^ο εργαλείο υποστήριξης απόφασης: πολυκριτήρια μέθοδος αξιολόγησης επένδυσης (Risk-Based Multi-Criteria Assessment : RBMCA)	125
4.3.1	Σύνοψη, Δομή και πλαίσιο	125
4.3.2	Τα βασικά στάδια της μεθόδου RBMCA.....	131
4.3.2.1	Στάδιο 1: Αναγνώριση εναλλακτικών και δημιουργία υπολογιστικού φύλλου.....	131
4.3.2.2	Στάδιο 2: Κατανομές πιθανότητας των μεταβλητών	131
4.3.2.3	Στάδιο 3: Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης Μόντε Κάρλο (MCS)	133
4.3.2.4	Στάδιο 4: Ορισμός κριτηρίων και επιλογή βαρών	133
4.3.2.5	Στάδιο 5: Προσομοίωση και απεικόνιση σωρευτικών κατανομών σε ένα γράφημα.....	133
4.3.2.6	Στάδιο 6: Ανάλυση των συναρτήσεων σωρευτικών κατανομών πιθανότητας και υπολογισμός της βαθμολογίας έκαστης εναλλακτικής σε έκαστο κριτήριο.....	133
4.3.2.7	Στάδιο 7: Σύγκριση βαθμολογιών εναλλακτικών και επιλογή βέλτιστης.....	134
4.3.3	Περιπτωσιολογική μελέτη: Αξιολόγηση εναλλακτικών έργου αποτέφρωσης αποβλήτων με τη μέθοδο RBMCA.....	134
4.3.3.1	Στάδιο 1: Αναγνώριση εναλλακτικών και ανάπτυξη λογιστικού φύλλου.....	135
4.3.3.2	Στάδιο 2: Κατανομές πιθανότητας μεταβλητών	147
4.3.3.3	Στάδιο 3: Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης MCS.....	147
4.3.3.4	Στάδιο 4: Ορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης και των βαρών τους	147
4.3.3.5	Στάδιο 5: Απεικόνιση των συναρτήσεων σωρευτικής κατανομής πιθανότητας.....	147
4.3.3.6	Στάδιο 6: Ανάλυση των συναρτήσεων σωρευτικών κατανομών πιθανότητας και υπολογισμός της βαθμολογίας έκαστης εναλλακτικής σε έκαστο κριτήριο.....	148
4.3.3.7	Στάδιο 7: επιλογή της βέλτιστης εναλλακτικής με τη μέθοδο RBMCA	155
4.3.4	Ανάλυση.....	155
4.3.5	Συμπεράσματα	162

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Υποστηρικτικά Εργαλεία Απόφασης για το Δίκαιο Επιμερισμό του Χρηματοοικονομικού Κινδύνου σε Επενδύσεις.. 164

5.1	Μέθοδος αξιολόγησης χρηματοδοτικών σχημάτων ΣΔΙΤ	165
5.1.1	Σύνοψη, δομή και πλαίσιο.....	165
5.1.2	Ο αλγόριθμος	166
5.1.3	Περιπτωσιολογική μελέτη εφαρμογής του αλγορίθμου	168
5.1.3.1	Περιγραφή προβλήματος	168
5.1.3.2	Βασικό χρηματοδοτικό σχήμα	169
5.1.3.3	Ποσοτική ανάλυση κινδύνων με χρήση του αλγορίθμου.....	170
5.1.4	Συμπεράσματα	178
5.2	Ίσος επιμερισμός χρηματοοικονομικού κινδύνου σε πολλαπλούς παίκτες: Παιγνιοθεωρητική προσέγγιση	179

5.2.1	Σύνοψη, δομή και πλαίσιο.....	179
5.2.2	Το βασικό μοντέλο	179
5.2.2.1	Μεγάλος-συνασπισμός με 2 παίκτες	182
5.2.2.2	Μεγάλος-συνασπισμός με $n > 2$ παίκτες	182
5.2.2.3	Υπολογισμός πιθανών λύσεων	183
5.2.3	Υπολογιστικός αλγόριθμος.....	185
5.2.4	Αριθμητικό παράδειγμα.....	186
5.2.4.1	Παραδοχές.....	187
5.2.4.2	Πρώτη λύση.....	187
5.2.4.3	Δεύτερη λύση.....	191
5.2.5	Ανάλυση.....	194
5.2.6	Συμπεράσματα.....	198
5.3	Δίκαιος (αναλογικός) επιμερισμός πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών σε πολλαπλούς παίκτες σύμφωνα με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash	199
5.3.1	Σύνοψη, δομή και πλαίσιο.....	199
5.3.1.1	Εισαγωγή.....	199
5.3.1.2	Δικαιοσύνη σε συνεργατικά παίγνια	200
5.3.2	Περιγραφή προβλήματος και μαθηματική διατύπωση.....	200
5.3.2.1	Παραδοχές.....	200
5.3.2.2	Αξιώματα	202
5.3.2.3	Το δίκαιό αξίωμα.....	204
5.3.3	Υπολογισμός λύσεων για τη δίκαιη κατανομή του πλεονάσματος.....	205
5.3.3.1	Στάδιο 1: Κατάτμηση του συνόλου-πιτών J σε δύο μή-κενά υποσύνολα: J_A, J_B και του μεγάλου-συνασπισμού N σε δύο μή-κενούς συνασπισμούς: N_A, N_B	206
5.3.3.2	Στάδιο 2: Συνεχείς κατατμήσεις των συνασπισμών για $n-1$ φορές..	207
5.3.4	Βασικά χαρακτηριστικά	209
5.3.4.1	Αριθμός δυνατών κατατμήσεων του συνόλου-πιτών	209
5.3.4.2	Πεπερασμένα δυνατά μητρώα $[P]_{n \times m}$ για τη δίκαιη κατανομή του πλεονάσματος	209
5.3.4.3	Δυνατά μητρώα $[P]_{n \times m}$ για $2 \leq n, m \leq 10$	210
5.3.5	Υπολογιστικός αλγόριθμος.....	210
5.3.6	Ανάλυση και αριθμητικό παράδειγμα	213
5.3.6.1	Ασύμμετρη NBS με άνισες κατανομές.....	214
5.3.6.2	Έτερες λύσεις για ασύμμετρη NBS με άνισες κατανομές.....	217
5.3.6.3	Ασύμμετρη NBS με ίσες κατανομές.....	219
5.3.7	Εφαρμογές	219
5.3.8	Συμπεράσματα.....	221
5.4	Περιπτωσιολογική μελέτη εφαρμογής του μοντέλου για τον δίκαιο επιμερισμό πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών σε πολλαπλούς παίκτες.....	222
5.4.1	Δεδομένα.....	222
5.4.2	Μαθηματική διατύπωση σύμφωνα με τη θεωρία των συνεργατικών παιγνίων.....	224
5.4.3	Στοχαστική μοντελοποίηση και δικαιοσύνη	225
5.4.3.1	Παραδοχές.....	225
5.4.3.2	Αδυναμία διασφάλισης δικαιοσύνης σύμφωνα με αρχική κατανομή	226
5.4.4	Εφαρμογή μοντέλου για το δίκαιο επιμερισμό πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών σε πολλαπλούς παίκτες	228

5.4.5 Έτερες λύσεις.....	232
5.4.6 Συμπεράσματα.....	235
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Συμπεράσματα	238
6.1 Εκπλήρωση του ερευνητικού στόχου	239
6.1.1 Αποτελέσματα	239
6.1.2 Συνεισφορά της Διατριβής.....	239
6.2 Κατευθύνσεις περαιτέρω έρευνας	240
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	242
Αγγλική γλώσσα.....	- 243 -
Ελληνική γλώσσα.....	- 263 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	- 264 -
Παράρτημα Α. Απόδειξεις Προτάσεων και Θεωρημάτων	- 265 -
A.1 Απόδειξη Προτάσεων και Θεωρημάτων για το μοντέλο ίσου επιμερισμού του χρηματοοικονομικού κινδύνου.....	- 265 -
A.2 Απόδειξη Προτάσεων και Θεωρημάτων για το μοντέλο του δίκαιου (αναλογικού) επιμερισμού πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών σε πολλαπλούς παίκτες σύμφωνα με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash-	270 -
Παράρτημα Β. Έννοιες και ορισμοί.....	- 276 -
Παράρτημα Γ. Συντελεστές Ανατοκισμού και Προεξόφλησης	- 283 -

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Ετήσιες χρηματοροές έργων «Κ» και «Λ».....	32
Πίνακας 2. Ετήσιες χρηματοροές έργων «Α» και «Β».....	33
Πίνακας 3. Ετήσιες χρηματοροές των έργων «Γ» και «Δ»	36
Πίνακας 4. Ετήσιες χρηματοροές των έργων «Ε» και «ΣΤ».....	39
Πίνακας 5. Ετήσιες χρηματοροές έργων “Α” και “Β”	54
Πίνακας 6. Υπολογισμοί για το συντελεστή μετατροπής ενός αγαθού	56
Πίνακας 7. Συνήθεις μεταβλητές έργων με μεγάλο χρόνο ζωής	63
Πίνακας 8. Πίνακας υπολογισμών τιμών εναλλαγής μεταβλητών επένδυσης.....	- 67 -
Πίνακας 9. Πίνακας προβλέψεων τιμών για τις μεταβλητές μιας επένδυσης	- 68 -
Πίνακας 10. Αποτελέσματα ρεαλιστικών σεναρίων.....	- 68 -
Πίνακας 11. Βαθμολόγηση πιθανότητας – επίπτωσης κινδύνων.....	- 74 -
Πίνακας 12. Μήτρα κινδύνων (risk matrix) - αξιολόγηση και επιμερισμός κινδύνων μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού φορέα σε έργο συνεργασίας.....	- 75 -
Πίνακας 13. Κατάλογος συμβολισμών για τη μέθοδο αξιολόγησης επένδυσης με το κριτήριο του μέγιστου αναμενόμενου κέρδους.....	107
Πίνακας 14. Κατανομές πιθανότητας των μεταβλητών του έργου	109
Πίνακας 15. Υπολογισμός εσόδων των εναλλακτικών μεθόδων υλοποίησης της επένδυσης.....	119
Πίνακας 16. Κανονικές κατανομές πιθανότητας για τις μεταβλητές των εναλλακτικών	120
Πίνακας 17. Ανάλυση των κατανομών για τους δείκτες NPV των εναλλακτικών σε διάστημα εμπιστοσύνης με θετικά όρια.....	123
Πίνακας 18. Ανάλυση των κατανομών για τους δείκτες NPV των εναλλακτικών σε διάστημα εμπιστοσύνης με αρνητικά όρια	123
Πίνακας 19. Κατάλογος συμβολισμών για το εργαλείο υποστήριξης απόφασης μέσω της πολυκριτήριας αξιολόγησης με ανάλυση των κινδύνων	127
Πίνακας 20. Αναμενόμενες εισροές (Inflows(a)t) και εκροές (Outflows(a)t) των εναλλακτικών: a = 1,2,3,4 στο 1ο (t = 1) και 2ο έτος (t = 2) του χρονικού ορίζοντα του έργου	137

Πίνακας 21. Υπολογιστικό φύλλο των δεικτών B/C των εναλλακτικών του έργου (τιμές βάσης των μεταβλητών) (x 1,000.00 € / έτος).....	141
Πίνακας 22. Μεταβλητές των τεσσάρων εναλλακτικών του έργου αποτέφρωσης αποβλήτων σε τριγωνικές κατανομές	149
Πίνακας 23. Ορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης και επιλογή του βάρους σε έναστο κριτήριο.....	150
Πίνακας 24. Ανάλυση των CPDFs των δεικτών B/C των εναλλακτικών.....	153
Πίνακας 25. Πολυκριτήρια προσέγγιση αξιολόγησης με ανάλυση των κινδύνων (RBMCA)	154
Πίνακας 26. Επιλεγείσες εναλλακτικές του έργου σύμφωνα με τις προτιμήσεις του λήπτη αποφάσεων έναντι του κινδύνου	160
Πίνακας 27. Βασικό χρηματοδοτικό σχήμα.....	170
Πίνακας 28. Τριγωνικές κατανομές πιθανότητας μεταβλητών	171
Πίνακας 29. Κατάλογος συμβολισμών για το μοντέλο ίσου επιμερισμού χρηματοοικονομικού κινδύνου	181
Πίνακας 30. Πιθανές λύσεις $s(n)$ για αριθμό παικτών $n = 2,3,4, \dots, 25$	184
Πίνακας 31. Πρώτη λύση για τον μηχανισμό επιμερισμού εσόδων-κόστους $(R_i^1), (C_i^1)$	189
Πίνακας 32. Πρώτη λύση (Ανάλυση των κερδών των παικτών στα διαστήματα εμπιστοσύνης)	190
Πίνακας 33. Δεύτερη λύση για τον μηχανισμό επιμερισμού εσόδων-κόστους $(R_i^2), (C_i^2)$	191
Πίνακας 34. Δεύτερη λύση (Ανάλυση των κερδών των παικτών στα διαστήματα εμπιστοσύνης)	194
Πίνακας 35. Λύση για το μηχανισμό επιμερισμού εσόδων-κόστους $(R_i^*), (C_i^*)$ για διαφορετικές κατανομές πιθανότητας των εσόδων και του υπολοιπούμενου κόστους	196
Πίνακας 36. Ανάλυση των κερδών των παικτών στα διαστήματα εμπιστοσύνης για διαφορετικές κατανομές πιθανότητας των εσόδων και του υπολοιπούμενου κόστους	197
Πίνακας 37. Κατάλογος συμβολισμών.....	201
Πίνακας 38. Αριθμός δυνατών μητρώων $[P]_{n \times m}$ για δίκαιη κατανομή πλεονάσματος	211

Πίνακας 39. Κανονικές κατανομές πιθανότητας των πιτών (τιμές $\times 10^6$)	213
Πίνακας 40. Κατηγορίες μελετών, Τάξεις Πτυχίων και προεκτιμώμενες αμοιβές	222
Πίνακας 41. Σύμβαση επιμερισμού αμοιβών μεταξύ των συμπραττούντων ανά κατηγορία μελέτης	223
Πίνακας 42. Κανονικές κατανομές πιθανότητας $\Pi^j(\mu^j, \sigma^{j^2})$ των διαιρετών αμοιβών μελετών ($j=1,2$)	226
Πίνακας 43. Κανονικές κατανομές πιθανότητας $\Pi^j(\mu^j, \sigma^{j^2})$ των αδιαίρετων αμοιβών μελετών ($j=3,4,5,\dots,8$)	226

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Απεικόνιση του πλαισίου υποστήριξης απόφασης	28
Σχήμα 2. Αύξηση αρχικού κεφαλαίου 1.000€ σε 10ετή επένδυση με ετήσια σταθερή απόδοση 5%	30
Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής διεργασίας αξιολόγησης επένδυσης με τον υπολογισμό της τιμής του δείκτη ΚΠΑ	33
Σχήμα 4. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπολογισμού της τιμής του δείκτη ΕΣΑ	35
Σχήμα 5. Η περίπτωση της τιμής εναλλαγής (switching) του προεξοφλητικού επιτοκίου: $KPA_{\Gamma} < KPA_{\Delta}$, για τιμές r μικρότερες του σημείου εναλλαγής και $KPA_{\Gamma} > KPA_{\Delta}$, για τιμές r μεγαλύτερες του σημείου εναλλαγής	37
Σχήμα 6. Διάγραμμα ροής διεργασιών που συνιστούν το μοντέλο ΑΚΟ	43
Σχήμα 7. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπ' αριθμ. 1: ανάλυση πλαισίου και αντικειμενικών στόχων του έργου	45
Σχήμα 8. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπ' αριθμ. 2: προσδιορισμός του έργου	46
Σχήμα 9. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπ' αριθμ. 3: ανάλυση σκοποπιμότητας και εξέταση εναλλακτικών δυνατοτήτων	48
Σχήμα 10. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπ' αριθμ. 4: Χρηματοοικονομική ανάλυση	51
Σχήμα 11. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπ' αριθμ. 5: Οικονομική ανάλυση	56
Σχήμα 12. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπ' αριθμ. 6: Αξιολόγηση κινδύνων	62
Σχήμα 13. Διάγραμμα "ανεμοστρόβιλος" για την ανάλυση ευαισθησίας της ΟΚΠΑ επένδυσης	65 -
Σχήμα 14. Διάγραμμα "Αράχνη" για την ανάλυση ευαισθησίας της ΟΚΠΑ επένδυσης	65 -
Σχήμα 15. Κατανομή ΠΕΡΤ πιθανότητας μεταβλητής	69 -
Σχήμα 16. Τριγωνική κατανομή πιθανότητας μεταβλητής (μή συμμετρική)	69 -
Σχήμα 17. Τριγωνική κατανομή πιθανότητας μεταβλητής (συμμετρική)	70 -
Σχήμα 18. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του δείκτη Χρηματοοικονομικής Καθαρής Παρούσας Αξίας μίας επένδυσης –ΧΚΠΑ (C)	72 -
Σχήμα 19. Σωρευτική κατανομή πιθανότητας του δείκτη Χρηματοοικονομικής Καθαρής Παρούσας Αξίας μίας επένδυσης –ΧΚΠΑ (C)	72 -

Σχήμα 20. Ανάλυση σωρευτικής κατανομή πιθανότητας του δείκτη Χρηματοοικονομικής Καθαρής Παρούσας Αξίας μίας επένδυσης –ΧΚΠΑ (C).....	73 -
Σχήμα 21. Αντιστοιχία κλίμακας βαθμολογίας - αξιολόγησης κινδύνων.....	75 -
Σχήμα 22. Διάγραμμα ροής διεργασίας ποιοτικής αξιολόγησης και επιμερισμού κινδύνων σε έργα συνεργασίας.	77 -
Σχήμα 23. Διάγραμμα ροής της Προσομοίωσης Μόντε Κάρλο (MCS).....	84 -
Σχήμα 24. Συνάρτηση σωρευτικής κατανομής πιθανότητας του δείκτη B/C (Έργο Α). -	85 -
Σχήμα 25. Συνάρτηση σωρευτικής κατανομής πιθανότητας του δείκτη B/C (Έργο Β). -	85 -
Σχήμα 26. Γραφική απεικόνιση παιγνίου διαπραγμάτευσης.....	95 -
Σχήμα 27. Γραφική απεικόνιση αξιώματος ατομικά ορθολογικών λύσεων	96 -
Σχήμα 28. Γραφική απεικόνιση αξιώματος ανεξαρτησίας από έτερες εναλλακτικές -	96 -
Σχήμα 29. Γραφική απεικόνιση αξιωμάτων συμμετρίας και βελτιστότητας κατά Pareto	97 -
Σχήμα 30. Γραφική απεικόνιση Λύσης Διαπραγμάτευσης του Nash	98 -
Σχήμα 31. Στάδια εκπόνησης Διατριβής.....	103
Σχήμα 32. Σωρευτικές κατανομές πιθανότητας των δεικτών Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (IRR) των εναλλακτικών.....	114
Σχήμα 33. Ανάλυση ευαισθησίας των δεικτών Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (IRR) των εναλλακτικών	115
Σχήμα 34. Αλγόριθμος υποστήριξης απόφασης για την αξιολόγηση επενδυτικών έργων (κριτήριο διαστήματος εμπιστοσύνης)	118
Σχήμα 35. Διαγράμματα ανάλυσης ευαισθησίας των δεικτών Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV _i) των εναλλακτικών μεθόδων υλοποίησης επένδυσης.....	121
Σχήμα 36. Κατανομές πιθανότητας των δεικτών Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV _i) των εναλλακτικών υλοποίησης επένδυσης.....	122
Σχήμα 37. Διάγραμμα ροής του εργαλείου υποστήριξης απόφασης μέσω της πολυκριτήριας αξιολόγησης με ανάλυση των κινδύνων (RBMCA)	132
Σχήμα 38. Συναρτήσεις σωρευτικής κατανομής πιθανότητας των δεικτών Οφέλους / Κόστους (B/C) των εναλλακτικών	151
Σχήμα 39. Ανάλυση των σωρευτικών κατανομών πιθανότητας (CPDF) των δεικτών Οφέλους / Κόστους (B/C) στις τιμές των κριτηρίων αξιολόγησης	152

Σχήμα 40. Αξιολόγηση των εναλλακτικών του έργου με ένα κριτήριο και με το σύστημα RBMCA.....	157
Σχήμα 41. Ανάλυση ευαισθησίας της συνολικής βαθμολογίας των εναλλακτικών στα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης	159
Σχήμα 42. Αλγόριθμος ποσοτικής ανάλυσης κινδύνων για τη χρηματοδοτική αξιολόγηση έργων ΣΔΙΤ	167
Σχήμα 43. Διαγράμματα ανάλυσης ευαισθησίας της ΚΠΑ του δημόσιου και Ιδιωτικού φορέα	171
Σχήμα 44. Διαγράμματα συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας των δεικτών αξιολόγησης για το δημόσιο και τον ιδιωτικό φορέα	173
Σχήμα 45. Διαγράμματα σωρευτικών κατανομών πιθανότητας των δεικτών αξιολόγησης για το δημόσιο και τον ιδιωτικό φορέα	174
Σχήμα 46. Εναλλακτικά χρηματοδοτικά σενάρια.....	175
Σχήμα 47. Χρηματοδοτικά σχήματα εναλλαγής	176
Σχήμα 48. Εύρος βιώσιμων χρηματοδοτικών σεναρίων	177
Σχήμα 49. Υπολογισμός πιθανών λύσεων με το λογισμικό Wolfram Research Mathematica 2008.	184
Σχήμα 50. Πρώτη λύση του υπολογιστικού αλγορίθμου	188
Σχήμα 51. Συναρτήσεις σωρευτικών κατανομών πιθανοτήτων των παικτών (Πρώτη Λύση).....	190
Σχήμα 52. Δεύτερη λύση του υπολογιστικού αλγορίθμου.....	192
Σχήμα 53. Συναρτήσεις σωρευτικών κατανομών πιθανοτήτων των παικτών (Δεύτερη Λύση).....	193
Σχήμα 54. Λύση του υπολογιστικού αλγορίθμου για διαφορετικές κατανομές πιθανότητας των εσόδων και του υπολοιπόμενου κόστους.....	195
Σχήμα 55. Συναρτήσεις σωρευτικών κατανομών πιθανοτήτων των παικτών για διαφορετικές κατανομές πιθανότητας των εσόδων και του υπολοιπόμενου κόστους	197
Σχήμα 56. Η γενική μέθοδος για το δίκαιο επιμερισμό του πλεονάσματος	206
Σχήμα 57. Πρώτο σύνολο κατατμήσεων.....	214
Σχήμα 58. Δεύτερο σύνολο κατατμήσεων	218
Σχήμα 59. Τρίτο σύνολο κατατμήσεων	218
Σχήμα 60. Πρώτο σύνολο κατατμήσεων στη περιπτώσιολογική μελέτη	230

Σχήμα 61. Δεύτερο σύνολο κατατμήσεων στη περιπτώσιολογική μελέτη.....	233
Σχήμα 62. Τρίτο σύνολο κατατμήσεων στη περιπτώσιολογική μελέτη	234

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ & ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

- **ΑΚΑ** Ανάλυση Κόστους Αποτελέσματος
- **ΑΚΟ** Ανάλυση Κόστους Οφέλους
- **ΓΣΜ** Γενικός Συντελεστής Μετατροπής
- **Ε.Ε.** Ευρωπαϊκή Ένωση
- **ΕΛΟΤ** Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης
- **ΕΣΑ** Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης
- **Η/Μ** Ηλεκτρομηχανολογικό
- **ΗΒ** Ηνωμένο Βασίλειο
- **ΗΠΑ** Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
- **ΚΠΑ** Καθαρή Παρούσα Αξία
- **ΟΚΠΑ** Οικονομική Καθαρή Παρούσα Αξία
- **ΟΣΑ** Οικονομικός Συντελεστής Απόδοσης
- **Π/Υ** Προϋπολογισμός
- **ΣΔΙΤ** Σύμπραξη Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα
- **ΣΜ** Συντελεστής Μετατροπής
- **ΧΚΠΑ** Χρηματοοικονομική Καθαρή Παρούσα Αξία
- **ΧΚΠΑ(С)** Χρηματοοικονομική Καθαρή Παρούσα Αξία επένδυσης
- **ΧΚΠΑ(Κ)** Χρηματοοικονομική Καθαρή Παρούσα Αξία εθνικού κεφαλαίου
- **ΧΚΠΑ(Κg)** Χρηματοοικονομική Καθαρή Παρούσα Αξία δημόσιου κεφαλαίου
- **ΧΚΠΑ(Κp)** Χρηματοοικονομική Καθαρή Παρούσα Αξία ιδιωτικού κεφαλαίου
- **ΧΣΑ** Χρηματοοικονομικός Συντελεστής Απόδοσης
- **ΧΣΑ(С)** Χρηματοοικονομικός Συντελεστής Απόδοσης επένδυσης
- **ΧΣΑ(Κ)** Χρηματοοικονομικός Συντελεστής Απόδοσης εθνικού κεφαλαίου
- **ΧΣΑ(Κg)** Χρηματοοικονομικός Συντελεστής Απόδοσης δημόσιου κεφαλαίου
- **ΧΣΑ(Κp)** Χρηματοοικονομικός Συντελεστής Απόδοσης ιδιωτικού κεφαλαίου

ACRONYMS and ABBREVIATIONS

- **BAU** Business As Usual
- **B/C** Benefit / Cost
- **CBA** Cost Benefit Analysis
- **CEA** Cost Effectiveness Analysis
- **CF** Conversion Factor
- **CPDF** Cumulative Probability Distribution Function
- **CSF** Critical Success Factors
- **DCFA** Discounted Cash Flow Analysis
- **EC** European Commission
- **EIA** Economic Impact Analysis
- **ENPV** Economic Net Present Value
- **ERR** Economic Rate of Return
- **EU** European Union
- **FC** Fixed Cost
- **FNPV** Financial Net Present Value
- **FRR** Financial Internal Rate of Return
- **FNPV(C)** Financial Net Present Value of the investment
- **FNPV(K)** Financial Net Present Value National capital
- **FNPV(Kg)** Financial Net Present Value local public capital
- **FNPV(Kp)** Financial Net Present Value private capital
- **FRR(C)** Financial Rate of Return of the investment
- **FRR(K)** Financial Rate of Return on National capital
- **FRR(Kg)** Financial Rate of Return on local public capital
- **FRR(Kp)** Financial Rate of Return on private capital
- **IRR** Internal Rate of Return
- **MCA** Multi-Criteria Analysis
- **NBS** Nash Bargaining Solution
- **NPV** Net Present Value
- **PERT** Program Evaluation and Review Technique

- **PFI** Private Finance Initiative
- **PI** Profitability Index
- **PMI** Project Management Institute
- **PPP** Public Private Partnership
- **SCF** Standard Conversion Factor
- **SDR** Social Discount Rate
- **WTA** Willingness to Accept
- **WTP** Willingness to Pay

ΕΠΟΨΗ

Στο σύγχρονο επιχειρηματικό περιβάλλον, οι επενδύσεις αποτελούν τον κύριο μοχλό ανάπτυξης τόσο των επιχειρήσεων, όσο και της ίδιας της κοινωνίας. Δεδομένης της σύνδεσης και αλληλεξάρτησης μεταξύ της επιτυχίας ενός επενδυτικού έργου και της ορθής σχεδίασής του, η αρχική αξιολόγηση μίας επένδυσης θα πρέπει αφενός να δομείται πάνω σε σαφή και αντικειμενικά κριτήρια εκτίμησης της χρηματοοικονομικής απόδοσης και αφετέρου να περιλαμβάνει και την τεκμηριωμένη και ποσοτική ανάλυση των κινδύνων που δύναται να επηρεάσουν τη χρηματοοικονομική απόδοση του έργου. Τα δύο συγκεκριμένα χαρακτηριστικά θα πρέπει να πληρούνται για όλα τα είδη και κατηγορίες επενδύσεων, καθώς αποτελούν τα κύρια στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη από τους λήπτες αποφάσεων κατά τη κρίση επί του αξιολογούμενου κάθε φορά επενδυτικού έργου.

Ένα ξεχωριστό αντικείμενο έρευνας αποτελούν οι προτιμήσεις των ληπτών αποφάσεων έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου, που έχει ως αποτέλεσμα τη ταξινόμηση αυτών σε τρεις βασικές κατηγορίες που είναι οι κινδυνόφοβοι, οι κινδυνόφιλοι και οι λήπτες αποφάσεων με ουδέτερη ως προς το χρηματοοικονομικό κίνδυνο συμπεριφορά. Επιπλέον, οι πρόσφατες τάσεις στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία προσδιορίζουν τις επιχειρήσεις όχι ως μονήρεις οντότητες που δρουν ανεξάρτητα η μία από την άλλη, αλλά ως ένα σύνολο οντοτήτων που αλληλεπιδρούν, συνεργάζονται, συγκρούονται και συνεχώς εξελίσσονται μέσα στο παγκόσμιο επενδυτικό περιβάλλον. Για την επεξεργασία και ανάλυση τέτοιων καταστάσεων, η εφαρμογή της θεωρίας των συγκρουσιακών και συνεργατικών παιγνίων είναι η κυρίως χρησιμοποιούμενη μέθοδος.

Από τα παραπάνω προκύπτει το ότι σε ένα τέτοιο δυναμικό περιβάλλον, η λήψη απόφασης εκ μέρους των επενδυτών γίνεται μια ολοένα και πιο περίπλοκη διεργασία, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη συνεχή αναζήτηση των κατάλληλων μεθόδων και εργαλείων υποστήριξης των επενδυτικών αποφάσεων.

Στο πεδίο αυτό υπεισέρχεται η παρούσα Διατριβή, η οποία επιχειρεί να καλύψει τα υφιστάμενα βιβλιογραφικά κενά. Αρχικά, παρουσιάζεται η αξιολόγηση της επιστημονικής βιβλιογραφίας που αφορά στα μοντέλα υποστήριξης απόφασης για την αξιολόγηση επενδυτικών έργων και στη συνέχεια η αντίστοιχη επισκόπηση της βιβλιογραφίας που αφορά στις διαπραγματεύσεις και στον επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου σε επενδυτικές συνεργασίες. Το κύριο αποτέλεσμα της έρευνας είναι η παρουσίαση ενός συνόλου από συγκεκριμένα εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων. Τα εργαλεία αυτά ταξινομούνται σε δύο διακριτά υποσύνολα, όπου το μεν πρώτο αφορά στις μεθόδους αξιολόγησης επένδυσης βάσει του χρηματοοικονομικού κινδύνου και το δεύτερο στις μεθόδους δίκαιου επιμερισμού του χρηματοοικονομικού κινδύνου μεταξύ ενός συνόλου συμπρατούντων επενδυτών.

Επικεντρώνοντας στη ταξινόμηση των προτιμήσεων των ληπτών αποφάσεων έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου, το πρώτο υποσύνολο των αποτελεσμάτων της Διατριβής περιλαμβάνει τρία καινοτόμα εργαλεία υποστήριξης απόφασης για την αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων υλοποίησης μίας επένδυσης. Σε έκαστο από τα τρία εργαλεία χρησιμοποιούνται οι βασικές τεχνικές ποσοτικής ανάλυσης του χρηματοοικονομικού κινδύνου, ενώ η διαφορά μεταξύ του πρώτου και δεύτερου προσδιορίζεται στα κριτήρια

αξιολόγησης που επιλέγονται από τους λήπτες αποφάσεων. Ειδικότερα, το πρώτο περιλαμβάνει το κριτήριο της μέγιστης αναμενόμενης κερδοφορίας που συνδέεται άμεσα με τον λήπτη απόφασης που έχει ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του κινδύνου. Το δεύτερο εργαλείο περιλαμβάνει το κριτήριο του διαστήματος εμπιστοσύνης, το οποίο επιλέγεται από τον λήπτη απόφασης ανάλογα με το προφίλ κινδύνου αυτού, δηλ. αν είναι κινδυνόφιλος ή κινδυνόφοβος. Το τρίτο εργαλείο υποστήριξης απόφασης είναι μία πολυκριτήρια μέθοδος αξιολόγησης επενδύσεων σύμφωνα με τη ποσοτική ανάλυση του χρηματοοικονομικού κινδύνου (Risk-Based Multi-Criteria Assessment: RBMCA). Βασικό χαρακτηριστικό αυτής είναι ότι δύναται να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη ομαδικής απόφασης (group decision-making), όπου έκαστος λήπτης απόφασης έχει μία συγκεκριμένη βαρύτητα την οποία και επιμερίζει επιλέγοντας ένα ή παραπάνω κριτήρια αξιολόγησης. Συγκεκριμένα, τα κριτήρια επιλέγονται από τους λήπτες αποφάσεων σύμφωνα με τις εκάστοτε προτιμήσεις αυτών έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου. Σε κάθε ένα από τα παραπάνω εργαλεία υποστήριξης απόφασης περιλαμβάνεται ένας αλγόριθμος με τα βασικά βήματα που ακολουθούν οι λήπτες απόφασης, ενώ παρουσιάζεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή τους σε διαφορετικές περιπτώσεις αξιολόγησης επενδύσεων.

Το δεύτερο υποσύνολο αποτελεσμάτων της Διατριβής περικλείει επίσης τρία καινοτόμα εργαλεία υποστήριξης απόφασης, τα οποία αφορούν στον επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου μεταξύ συνεργαζόμενων επενδυτών. Το πρώτο επικεντρώνεται στον επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου μεταξύ δημόσιων και ιδιωτικών φορέων και συγκεκριμένα στην αξιολόγηση χρηματοδοτικών σχημάτων σε έργα παραχώρησης ή σύμπραξης του δημόσιου με τον ιδιωτικού τομέα. Το δεύτερο εργαλείο περιλαμβάνει ένα παιγνιοθεωρητικό μοντέλο για τον ίσο επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου μεταξύ ενός πεπερασμένου συνόλου επενδυτών (μεγάλος-συνασπισμός), οι οποίοι αναλαμβάνουν ανεξάρτητα τμήματα του επενδυτικού κόστους και επιζητούν τον επιμερισμό του υπολοιπούμενου κόστους και των συνολικών εσόδων μέσω ενός κατάλληλου μηχανισμού. Το τρίτο εργαλείο υποστήριξης απόφασης εφαρμόζεται σε ένα στοχαστικό περιβάλλον, όπου η συνολική χρηματοοικονομική απόδοση αποτελείται από πολλαπλές πηγές εσόδων και εξόδων (πίτες) με αβέβαια μεγέθη και εξετάζει το δίκαιο επιμερισμό αυτών μεταξύ των επενδυτών (παικτών), οι οποίοι έχουν ήδη διαπραγματευτεί και συμφωνήσει σε μία λύση που ικανοποιεί τα αξιώματα της λύσης διαπραγμάτευσης του Nash. Βασιζόμενη στο απόφθεγμα του Αριστοτέλη περί δικαιοσύνης, όπως αναφέρεται στα Ηθικά Νικομάχεια: «*Το δίκαιο εστί και αναλογικό*», αναπτύσσεται μία καινοτόμος μέθοδος υπολογισμού του ποσοστού από κάθε πίτα που πρέπει να επιμεριστεί σε έκαστο παίκτη, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα στοχαστικά μερίδια του πλεονάσματος που επιμερίζονται ανεξάρτητα στους παίκτες ακολουθούν κατανομές πιθανότητας που είναι ανάλογες με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash. Η εν λόγω μέθοδος εφαρμόζεται σε μία μελέτη περίπτωσης και συγκεκριμένα σε ένα σύνολο μελετητών τεχνικών έργων, οι οποίοι συγκροτούν μία κοινοπραξία για τη συμμετοχή τους σε δημόσιο διαγωνισμό. Από την εφαρμογή του προτεινόμενου εργαλείου υποστήριξης απόφασης, υπολογίζονται διάφοροι μηχανισμοί επιμερισμού των αμοιβών μελετών στο σύνολο των μελών της κοινοπραξίας, έτσι ώστε να υφίσταται η δίκαιη (αναλογική) σχέση μεταξύ των στοχαστικών μεριδίων του πλεονάσματος και του διαπραγματευτικού αποτελέσματος που έχει κυρωθεί συμβατικά μεταξύ τους.

Τέλος, η διατριβή περιλαμβάνει την ανάλυση επί των εξαγόμενων συμπερασμάτων από το σύνολο των προτεινόμενων εργαλείων υποστήριξης απόφασης καθώς και τα προκύπτοντα θέματα μελλοντικής έρευνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της έρευνας

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας Διατριβής, αφορά στον τομέα της αξιολόγησης των επενδύσεων και ειδικότερα στο πεδίο λήψης αποφάσεων βάσει του χρηματοοικονομικού κινδύνου. Συγκεκριμένα, ο αντικειμενικός στόχος της Διατριβής είναι ο εξής:

«Η ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων και εργαλείων για την υποστήριξη των αποφάσεων βάσει του χρηματοοικονομικού κινδύνου κατά την αξιολόγηση επενδύσεων»

Είναι γεγονός ότι για την επίτευξη του παραπάνω ερευνητικού στόχου, είναι αναγκαία η συσχέτιση πολλαπλών επιστημονικών πεδίων, όπως είναι η λήψη αποφάσεων, η ποσοτική ανάλυση κινδύνων καθώς και η θεωρία παιγνίων για τις περιπτώσεις συνεργατικών επενδύσεων. Κατά συνέπεια, αρχικά μελετήθηκε σε βάθος η υφιστάμενη βιβλιογραφία στα συγκεκριμένα πεδία, προκειμένου να συστηματοποιηθεί τόσο η θεωρητική βάση των υποστηρικτικών εργαλείων απόφασης βάσει του χρηματοοικονομικού κινδύνου, τα οποία θα αναπτύσσονταν στη συνέχεια όσο και η πρακτική εφαρμογή αυτών σε ρεαλιστικές περιπτώσεις αξιολόγησης επενδύσεων. Από την επισκόπηση της υφιστάμενης βιβλιογραφίας, ένα σημαντικό κενό διαπιστώθηκε στις μεθόδους λήψης απόφασης βάσει του χρηματοοικονομικού κινδύνου, οι οποίες να λαμβάνουν υπόψη τη συμπεριφορά των ληπτών αποφάσεων έναντι του κινδύνου. Συγκεκριμένα, η αναζήτηση της «βέλτιστης» εναλλακτικής μεταξύ διαφορετικών τύπων επενδύσεων ή μεταξύ πολλαπλών εναλλακτικών μεθόδων για την υλοποίηση μίας συγκεκριμένης επένδυσης είναι ένα ευρέως εξεταζόμενο αντικείμενο, πλην όμως δεν υπήρχαν τα απαραίτητα υποστηρικτικά εργαλεία, τα οποία να λαμβάνουν υπόψη τις προτιμήσεις ενός ή παραπάνω ληπτών απόφασης έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου. Ένα δεύτερο βιβλιογραφικό κενό το οποίο επίσης διαπιστώθηκε, αφορά στο δίκαιο επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου μεταξύ συνεργαζόμενων επενδυτών, οι οποίοι συμπράττουν στην υλοποίηση μίας επένδυσης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η αξιολόγηση των χρηματοδοτικών σχημάτων βάσει του χρηματοοικονομικού κινδύνου για τις επενδύσεις που υλοποιούνται μέσω της συνεργασίας δύο τουλάχιστον φορέων και συγκεκριμένα μέσω της σύμπραξης του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα σε έργα παραχώρησης, η ισοκατανομή του χρηματοοικονομικού κινδύνου μέσω μηχανισμών επιμερισμού των εσόδων και του κόστους σε εφοδιαστικές αλυσίδες, καθώς και η δίκαιη κατανομή πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών (με αβέβαια μεγέθη) σε πολλαπλούς συνεργαζόμενους φορείς.

Έχοντας αυτά ως θεωρητικό υπόβαθρο, η Διατριβή εισάγει ένα σύνολο με τα κατάλληλα εργαλεία υποστήριξης απόφασης, τα οποία δύναται να εφαρμοστούν σε ποικίλλες περιπτώσεις αξιολόγησης επένδυσης. Κάθε ένα από τα εργαλεία αυτά περιλαμβάνει τη μοντελοποίηση μίας διαφορετικής περίπτωσης αξιολόγησης επένδυσης, καθώς και την ανάπτυξη ενός κατάλληλου υπολογιστικού αλγόριθμου που προσδίδει τα επιθυμητά κάθε φορά αποτελέσματα. Προκειμένου να τεκμηριωθεί η εφαρμοσιμότητα των υποστηρικτικών εργαλείων, παρουσιάζεται χωριστά η εφαρμογή έκαστου αξ' αυτών σε μία ρεαλιστική περίπτωση αξιολόγησης επένδυσης.

1.2 Δομή της Διατριβής

Η Διατριβή αποτελείται από έξι διακριτά Κεφάλαια πλέον της Έποψης, η οποία περιλαμβάνει τη συνοπτική παρουσίαση της πραγματοποιηθείσας έρευνας και των καινοτομιών και αποτελεσμάτων αυτής.

Το παρόν 1^ο Κεφάλαιο εισάγει τον αναγνώστη στο αντικείμενο και τους επιμέρους ερευνητικούς στόχους που περιλαμβάνονται στα επόμενα Κεφάλαια της Διατριβής.

Το 2^ο Κεφάλαιο περιλαμβάνει την επισκόπηση και αξιολόγηση της βιβλιογραφίας που σχετίζεται με το ερευνητικό αντικείμενο. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται και αναλύονται οι βασικές μέθοδοι και οι κυρίως χρησιμοποιούμενοι δείκτες αξιολόγησης μίας επένδυσης, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται τα υφιστάμενα από τη βιβλιογραφία εργαλεία υποστήριξης απόφασης βάσει του χρηματοοικονομικού κινδύνου. Επιπλέον, ιδιαίτερη σημασία δίνεται στον επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου σε περιπτώσεις επενδυτικών συνεργασιών και ειδικότερα στα αποτελέσματα των διαπραγματεύσεων μεταξύ συνεργαζόμενων επενδυτών.

Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η μέθοδος της έρευνας που ακολουθήθηκε και ειδικότερα η επισήμανση του ερευνητικού σκοπού και η ανάπτυξη των επιμέρους ερευνητικών ερωτημάτων που αναπτύχθηκαν ως συνέχεια των διαπιστούμενων στο 2^ο Κεφάλαιο βιβλιογραφικών κενών.

Το 4^ο Κεφάλαιο περιλαμβάνει την ανάπτυξη τριών υποστηρικτικών εργαλείων για την αξιολόγηση επενδυτικών έργων, τα οποία λαμβάνουν υπόψη τόσο τη συμπεριφορά που δύναται να έχει ένας λήπτης απόφασης όταν αξιολογεί μεμονωμένα μία επένδυση όσο και τις ανόμοιες προτιμήσεις που δύναται να έχουν διαφορετικοί λήπτες απόφασης σε περιπτώσεις ομαδικής αξιολόγησης μίας επένδυσης. Συγκεκριμένα, η πρώτη μέθοδος αξιολόγησης επένδυσης χρησιμοποιεί το κριτήριο της μέγιστης αναμενόμενης κερδοφορίας και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις με λήπτες αποφάσεων που έχουν ουδέτερη συμπεριφορά (risk-neutral) έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου. Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιεί το κριτήριο του διαστήματος εμπιστοσύνης και δύναται να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις είτε με κινδυνόφοβους (risk-averse) ή κινδυνόφιλους (risk-seeking) λήπτες αποφάσεων. Η τρίτη μέθοδος εφαρμόζεται στην αξιολόγηση των εναλλακτικών μίας επένδυσης και δύναται να χρησιμοποιηθεί από πολλαπλούς λήπτες αποφάσεων με διαφορετικές προτιμήσεις (risk-averse / neutral / seeking) ως προς το χρηματοοικονομικό κίνδυνο.

Στο 5^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τρία έτερα εργαλεία υποστήριξης απόφασης που αφορούν στον επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου σε επενδυτικές συνεργασίες και συγκεκριμένα στην αξιολόγηση χρηματοδοτικών σχημάτων και στο δίκαιο, ίσο ή αναλογικό, επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου μίας επένδυσης μεταξύ πολλαπλών επενδυτών. Η πρώτη εξ' αυτών μέθοδος επικεντρώνεται στην αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων χρηματοδότησης των επενδύσεων που υλοποιούνται μέσω σύμπραξης του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα. Η δεύτερη μέθοδος αφορά σε ένα μηχανισμό επιμερισμού εσόδων και κόστους που αντιπροσωπεύει τον ίσο επιμερισμό του χρηματοοικονομικού

κινδύνου μεταξύ συνεργαζόμενων επενδυτών, ενώ η τρίτη μέθοδος επικεντρώνεται στο μηχανισμό του δίκαιου (αναλογικού) επιμερισμού πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών σε πολλαπλούς ανόμοιους παίκτες στο πλαίσιο της λύσης διαπραγμάτευσης του Nash.

Το 6^ο Κεφάλαιο συνοψίζει τα βασικά συμπεράσματα της πραγματοποιηθείσας έρευνας και παρουσιάζει συγκεκριμένες προτάσεις και θέματα για μελλοντική έρευνα.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η χρησιμοποιούμενη βιβλιογραφία, ενώ τα Παραρτήματα της Διατριβής περιέχουν τις αποδείξεις των Προτάσεων και Θεωρημάτων των μοντέλων που αναπτύσσονται στα προηγούμενα Κεφάλαια, ένα πλήρη κατάλογο με τους ορισμούς των εξειδικευμένων όρων που περιέχονται στη Διατριβή, καθώς και βοηθητικούς πίνακες με τους συντελεστές ανατοκισμού και προεξόφλησης των νομισματικών μονάδων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση

2.1 Μοντέλα και πλαίσια υποστήριξης απόφασης

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, πολλοί ερευνητές προτείνουν διαφορετικούς ορισμούς του όρου: «υποστήριξη απόφασης» (βλ. Bardos et al., 2001; Sullivan, 2002; Bohanec, 2003). Σε αυτούς τους ορισμούς, κοινή προσέγγιση είναι ότι η υποστήριξη απόφασης παρουσιάζει μία συλλογή τεχνικών που έχουν ως στόχο να βοηθήσουν τα άτομα που αντιμετωπίζουν πολύπλοκες αποφάσεις. Επιλέον, ένα μοντέλο ορίζεται ως (Qureshi et al., 1999): «*Η απεικόνιση ενός αντικειμένου, συστήματος ή ιδέας σε άλλη μορφή, διαφορετική από αυτήν που έχει στη πραγματικότητα*». Σύμφωνα με αυτές τις προσεγγίσεις, ορίζουμε το «*πλαίσιο υποστήριξης απόφασης*», ως:

«ένα ευρύ περίγραμμα αλληλένδετων στοιχείων που υποστηρίζει τους μετέχοντες σε μία διεργασία λήψης απόφασης για την επίτευξη αντικειμενικών στόχων, ενώ επιπλέον αποτελεί έναν οδηγό που δύναται να τροποποιηθεί όπως απαιτείται προσθέτοντας ή αφαιρώντας στοιχεία».

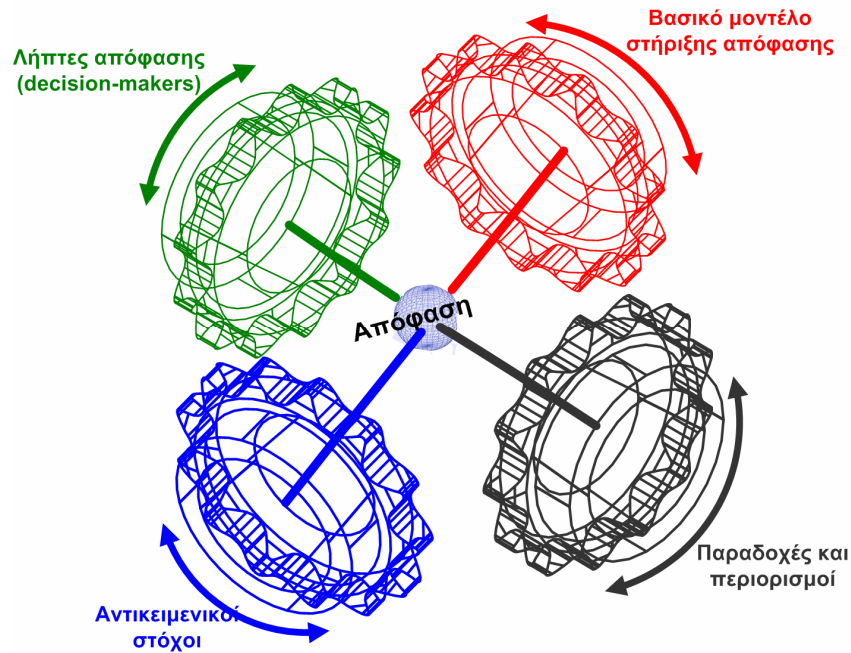
Μία σχηματική απεικόνιση του πλαισίου υποστήριξης απόφασης παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Όπως φαίνεται, η απόφαση είναι το εξερχόμενο μίας διεργασίας λήψης απόφασης που ακολουθείται από τους λήπτες απόφασης (decision-makers), οι οποίοι αναπτύσσουν μοντέλα υποστήριξης απόφασης χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες παραδοχές και περιορισμούς προκειμένου να επιτύχουν τους επιδιωκόμενους αντικειμενικούς σκοπούς. Επιπλέον, είναι ξεκάθαρο ότι έκαστο πλαίσιο υποστήριξης απόφασης περιλαμβάνει ένα βασικό μοντέλο που λειτουργεί ως οδηγός, ενώ υπάρχουν εναλλακτικά μοντέλα που δύναται να αναπτυχθούν εντός ενός πλαισίου, απλά επιδρώντας στο βασικό μοντέλο, δηλ. μεταβάλλοντας (προσθέτοντας ή αφαιρώντας) είτε τις παραδοχές και τους περιορισμούς, είτε τους αντικειμενικούς στόχους που ορίζονται από τους λήπτες απόφασης. Θα πρέπει να τονιστεί ότι τα πλαίσια υποστήριξης απόφασης δεν θα πρέπει να συγχέονται με τα «*συστήματα υποστήριξης απόφασης*», τα οποία ορίζονται ως: «*λύσεις βασισμένες στη τεχνολογία των υπολογιστών, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν υποστηρικτικά στη λήψη περίπλοκων αποφάσεων και λύσεων περίπλοκων προβλημάτων*» (Shim et al., 2002; Abeliotis et al., 2009).

2.2 Μέθοδοι αξιολόγησης επενδύσεων

2.2.1 Η διαχρονική αξία του χρήματος στις επενδύσεις

Για τα επενδυτικά έργα και σχέδια στο σύνολό τους, είτε υλοποιούνται από δημόσιους είτε από ιδιωτικούς φορείς, υφίστανται συγκεκριμένες μέθοδοι και τεχνικές αξιολόγησης. Οι μέθοδοι αυτοί εφαρμόζονται σε όλα τα στάδια και τις φάσεις υλοποίησης μιας επένδυσης, τόσο κατά το προσυμβατικό στάδιο που περιλαμβάνει τη φάση της σύλληψης και τη φάση της σχεδίασης του έργου, όσο και κατά το συμβατικό στάδιο, που περιλαμβάνει τη φάση της κατασκευής και τη φάση της λειτουργίας και του κλεισίματος του έργου. Είναι προφανές ότι ο απώτερος σκοπός της αξιολόγησης που πραγματοποιείται σε κάθε στάδιο ή φάση της επένδυσης είναι διαφορετικός, καθώς στη φάση της σύλληψης και της σχεδίασης εξετάζονται και αξιολογούνται κυρίως η σκοπιμότητα και η βιωσιμότητα της

επένδυσης, ενώ στη φάση της κατασκευής και της λειτουργίας επιδιώκεται κυρίως η αξιολόγηση της συμμόρφωσης με τις προδιαγραφές και της επίτευξης των στόχων της



Σχήμα 1. Απεικόνιση του πλαισίου υποστήριξης απόφασης

επένδυσης. Η αξιολόγηση που εκτελείται στο αρχικό προσυμβατικό στάδιο της επένδυσης και συγκεκριμένα η εξέταση της σκοπιμότητας και της βιωσιμότητας του έργου, αποτελεί ίσως τη βασικότερη μορφή αξιολόγησης, καθώς υλοποιείται μέσω της εκπόνησης μιας μελέτης, η οποία παρέχει την απαιτούμενη πληροφορία προς τους λήπτες αποφάσεων, προκειμένου αυτοί να αποφασίσουν για τη πραγματοποίηση ή όχι της εξεταζόμενης επένδυσης. Οι μέθοδοι υλοποίησης της συγκεκριμένης αξιολόγησης πάντως, δύνανται να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για την αξιολόγηση μίας μεμονωμένης και συγκεκριμένης επένδυσης, αλλά και για τη σύγκριση και αξιολόγηση μεταξύ δύο ή περισσότερων εναλλακτικών δυνατοτήτων μεθόδων για την υλοποίησή της, καθώς και για την αξιολόγηση τουλάχιστον δύο τελείως διαφορετικών επενδυτικών περιπτώσεων. Το κύριο χαρακτηριστικό για τη πραγματοποίηση της αρχικής αξιολόγησης μιας επένδυσης, είναι ότι απαιτείται ο, εκ των προτέρων, καθορισμός συγκεκριμένου χρονικού ορίζοντα στον οποίο θα εξεταστεί. Λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι η υλοποίηση μίας επένδυσης απαιτεί συνήθως τη δέσμευση και διάθεση αρκετά μεγάλου επενδυτικού κεφαλαίου, είναι σκόπιμο και επιβεβλημένο οι επενδύσεις να εξετάζονται σε μακρύ χρονικό ορίζοντα. Η προκύπτουσα σχέση, μεταξύ της διάθεσης του κεφαλαίου από έναν επενδυτή και της αξίας που το κεφάλαιο αυτό θα έχει για τον προσδιορισμένο μεγάλο χρονικό ορίζοντα, θεμελιώνεται από τη θεωρία της διαχρονικής αξίας των χρημάτων (time value of money). Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, υφίστανται οι τεχνικές της μετατροπής χρηματικών ποσών σε μελλοντική αξία μέσω του ανατοκισμού, καθώς και της μετατροπής μελλοντικών χρηματικών ποσών σε παρούσα αξία μέσω της προεξόφλησης.

2.2.2 Ανατοκισμός και μελλοντική αξία

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η τεχνική του ανατοκισμού του χρήματος χρησιμοποιείται το παρακάτω χαρακτηριστικό παράδειγμα.

Τίθεται ένα απλοποιημένο ερώτημα σε τυχαίο πρόσωπο Α: «Πρόκειται να λάβεις χρηματικό ποσό ύψους 1000€ από τον Β. Είναι προτιμότερο να τα εισπράξεις τώρα ή μετά από ένα έτος;». Αναμενόμενο είναι ο Α να απαντήσει ότι προτιμά να εκτελεστεί η είσπραξη τώρα. Αυτό ισχύει, αφού στη περίπτωση αυτή έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει μια αγορά που επιθυμεί μέσα στο επόμενο έτος, την οποία δεν έχει στην αντίθετη περίπτωση, ή αντίστοιχα έχει τη δυνατότητα να επενδύσει τα χρήματα αυτά με κάποιο επιτόκιο, π.χ. 5%, οπότε μετά από ένα έτος να έχει $1000\text{€} \times (1+0,05) = 1.050 > 1.000\text{€}$, δηλ. να έχει περισσότερα χρήματα από εκείνα που θα είχε εάν δεχόταν να λάβει το ποσό από τον Β μετά από ένα έτος.

Στο παραπάνω παράδειγμα, εάν ο Α τελικά επιλέξει να εισπράξει τώρα το ποσό των 1.000€ και επενδύσει τα χρήματα αυτά με επιτόκιο (ή απόδοση) το 5% για 10 έτη, τότε αυτά υπολογίζονται ως εξής:

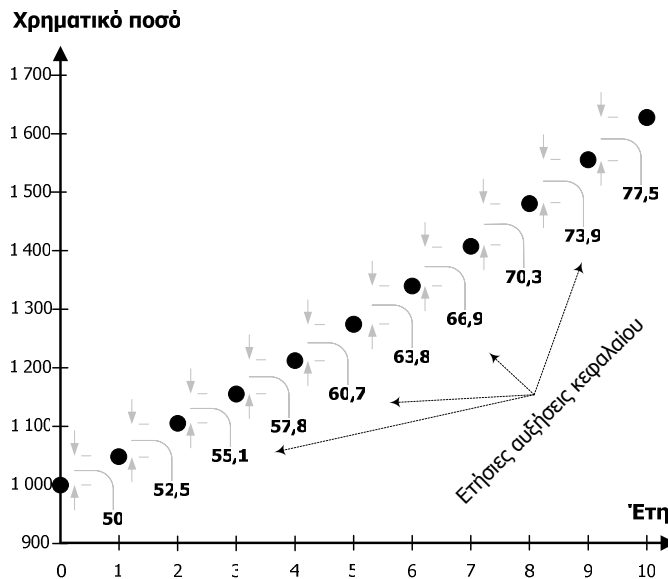
- το 1^ο έτος: $1.000 \times (1+0,05) = 1.050\text{€}$ δηλ. θα έχουν αυξηθεί κατά: $1.050 - 1.000 = 50\text{€}$
- το 2^ο έτος $1.050 \times (1+0,05) = 1.102,5\text{€}$ δηλ. η ετήσια αύξηση από το 1^ο στο 2^ο έτος θα είναι: $1.102,5 - 1.050 = 52,5\text{€}$
- το 3^ο έτος $1.102,5 \times (1+0,05) = 1.157,6\text{€}$ δηλ. η ετήσια αύξηση από το 2^ο στο 3^ο έτος θα είναι: $1.157,6 - 1.102,5 = 55,1\text{€}$
- ακολουθείται η ίδια ως άνω διαδικασία για το 4^ο έως και 9^ο έτος και συνεχίζοντας,
- Το 10^ο έτος $1.551,3 \times (1+0,05) = 1.628,8\text{€}$ δηλ. η ετήσια αύξηση από το 9^ο στο 10^ο έτος θα είναι: $1.628,8 - 1.551,3 = 77,5\text{€}$.

Η σχηματική απεικόνιση της αύξησης του αρχικού κεφαλαίου των 1.000€ του Α, σύμφωνα με τις ετήσιες αυξήσεις από την επίδραση της σταθερής απόδοσης της επένδυσης, παρουσιάζονται στο επόμενο Σχήμα 2.

Επομένως, ισχύει ότι για μία οποιαδήποτε επένδυση με αρχικό κεφάλαιο έστω (C), η οποία έχει σταθερή απόδοση έστω (r) για (n) χρονικές περιόδους, στη (n) περίοδο, η τιμή του κεφαλαίου δίνεται από τη σχέση (2.1):

$$C_n = C \times (1+r)^n \quad (2.1)$$

Το $(1+r)^n$ ονομάζεται συντελεστής ανατοκισμού της επένδυσης και χρησιμεύει για τον υπολογισμό της μελλοντικής αξίας C_n του αρχικού επενδύομένου κεφαλαίου C . Στα Παραρτήματα της Διατριβής και συγκεκριμένα στο Παράρτημα Γ, παρουσιάζονται πίνακες με τους υπολογισμούς της μελλοντικής αξίας μιας νομισματικής μονάδας, π.χ. του ευρώ, σύμφωνα με τους συντελεστές ανατοκισμού που προκύπτουν από διάφορες τιμές του επιτοκίου σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Ο συντελεστής ανατοκισμού ονομάζεται και συντελεστής κεφαλαιοποίησης και συμβολίζεται με: $(F/P)^n_r$, ενώ η φυσική του σημασία είναι ότι έχοντας n περιόδους ανατοκισμού με σταθερό $r(\%)$ ανά περίοδο, είναι ο συντελεστής για να βρούμε το F δοθέντος ενός P σύμφωνα με την επόμενη σχέση:



Σχήμα 2. Αύξηση αρχικού κεφαλαίου 1.000€ σε 10ετή επένδυση με ετήσια σταθερή απόδοση 5%

$$C_n = C \times (F/P)_r^n \quad (2.2)$$

2.2.3 Προεξόφληση και παρούσα αξία

Στο παραπάνω παράδειγμα, που αφορά στην επένδυση χρηματικού ποσού από τον Α, αν ζητηθεί ο υπολογισμός της παρούσας αξίας (C) χρηματικού ποσού ύψους $(C_n)=1.628,8\text{€}$, το οποίο υπολογίζεται ότι θα προκύψει μετά από $(n)=10$ έτη, με χρήση επιτοκίου $(r)=5\%$, ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία. Ειδικότερα, η Παρούσα Αξία (Present Value – PV), δίνεται από τη σχέση (2.3):

$$C = C_n \times \frac{1}{(1+r)^n} \Rightarrow C = 1.6288 \times \frac{1}{(1+0,05)^{10}} \Rightarrow C = \frac{1.6288}{1,6288} \Rightarrow C = 1.000 \quad (2.3)$$

Στην προεξόφληση, το (r) ονομάζεται προεξοφλητικό επιτόκιο και ο αντίστοιχος συντελεστής $(1+r)^{-n}$ συντελεστής προεξόφλησης (hurdle rate).

2.3 Παρουσίαση και επεξήγηση δεικτών αξιολόγησης

Όπως αναδεικνύεται από διάφορους συγγραφείς, το κυρίως χρησιμοποιούμενο εργαλείο για την αξιολόγηση επενδύσεων, (βλ. Remer and Nieto 1995; Akalu, 2001; 2003; Smith, 2002; Burke, 2003; Najafi and Niaki, 2006; Αραβώσης, 2007; Hilton, 2005; PMI, 2008; Yongjian et al., 2008; Yeo and Qiu, 2003) είναι η Ανάλυση Προεξοφλημένων Ταμειακών Ροών (Discounted Cash Flow Analysis: DCFA) με τις παρακάτω μεθόδους:

- Μέθοδος της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) (Net Present Value Method-NPV)

- Μέθοδος της Εσωτερικής Αποδοτικότητας (Rate of Return Method) με χρήση του Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (ΕΣΑ) (Internal Rate of Return-IRR)

Πρόσθετοι εναλλακτικοί τρόποι αξιολόγησης επενδυτικών έργων που υφίστανται, προϋποθέτουν τη χρησιμοποίηση των παρακάτω δεικτών:

- Δείκτης Αποδοτικότητας (Profitability Index)
- Ανάλυση Νεκρού Σημείου (Break Even Point Analysis)

Περαιτέρω, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί και η μέθοδος της Καθαρής Παρούσας Αξίας με αξιολόγηση των κινδύνων, η οποία αναφέρεται ως (distribution of NPVs) (Rodger and Petch, 1999). Άλλοι ερευνητές, προτείνουν την επέκταση της παραπάνω μεθοδολογίας τόσο στην NPV, όπου την ονομάζουν “NPV-at risk”, αλλά και στον IRR, όπου αντίστοιχα ονομάζεται “IRR-at risk” (Ye and Tiong, 2000; Yongjian et al., 2008). Η συγκεκριμένη μέθοδος, περιλαμβάνει αρχικά τον υπολογισμό της NPV και του IRR για την εξεταζόμενη επικείμενη επένδυση, και στη συνέχεια την ανάλυση των κινδύνων με σκοπό τον υπολογισμό της σωρευτικής κατανομής πιθανοτήτων για τους εξεταζόμενους δείκτες, προκειμένου να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα και να υπολογιστούν οι αναμενόμενες ή μέσες τιμές (Expected or Mean Values) των δεικτών αξιολόγησης του έργου. Η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει ιδιαίτερη βαρύτητα κατά τη σύγκριση δύο διαφορετικών επενδυτικών έργων καθώς ενδέχεται, οι υπολογισμοί που αρχικά εκτελούνται, και προκρίνουν έναντι του δεύτερου εκείνο το έργο που παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στους δείκτες ΚΠΑ και ΕΣΑ, να ανατραπούν εφόσον προκύψουν οι αναμενόμενες τιμές για τους υπόψη δείκτες τελικά μικρότερες σε σύγκριση με τις αντίστοιχες του δεύτερου έργου.

2.3.1 Καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ)

Γενικότερα, υφίστανται πολυάριθμες προσεγγίσεις του ορισμού της ΚΠΑ (βλ. Smith, 2002; Burke, 2003). Ο ορισμός πάντως που, σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι περισσότερο δόκιμος και δύναται να αποδοθεί είναι:

«Η τιμή που προκύπτει από την αφαίρεση του συνόλου των προεξοφλημένων ταμειακών εισροών μίας επένδυσης με το σύνολο των αντίστοιχων εκροών»

Επιπλέον, στη βιβλιογραφία καταγράφονται ποικίλα παραδείγματα από συγγραφείς που χρησιμοποιούν το κριτήριο του συγκεκριμένου δείκτη, δηλ. της ΚΠΑ, ως κύριο στοιχείο στη συνολική διαδικασία αξιολόγησης μιας επένδυσης (βλ. Birrer, & Carrica, 1990; Young & O’Byrne, 2000; Worn, 2008; Alexander, 2009).

2.3.1.1 Διεργασία υπολογισμού της ΚΠΑ

Για την απεικόνιση του τρόπου υπολογισμού της τιμής της ΚΠΑ, ακολουθείται μία διαγραμματική προσέγγιση. Σύμφωνα με αυτή, αρχικά καταρτίζεται και συμπληρώνεται ο πίνακας με τις ετήσιες χρηματικές εισροές και εκροές όπου και υπολογίζεται η διαφορά τους. Στη συνέχεια, οι τιμές αυτές προεξοφλούνται στη παρούσα αξία τους, αθροίζονται και η ΚΠΑ

λαμβάνει τη προκύπτουσα τιμή. Το κριτήριο αξιολόγησης μιας μεμονωμένης επένδυσης σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, είναι η θετική τιμή της ΚΠΑ οπότε και η επένδυση γίνεται αποδεκτή, ή αντίστοιχα απορρίπτεται εφόσον προκύψει αρνητική τιμή για τη ΚΠΑ. Το διάγραμμα ροής της διεργασίας (process flowchart) για την αξιολόγηση μίας μεμονωμένης επένδυσης σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μέθοδο, παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα 3.

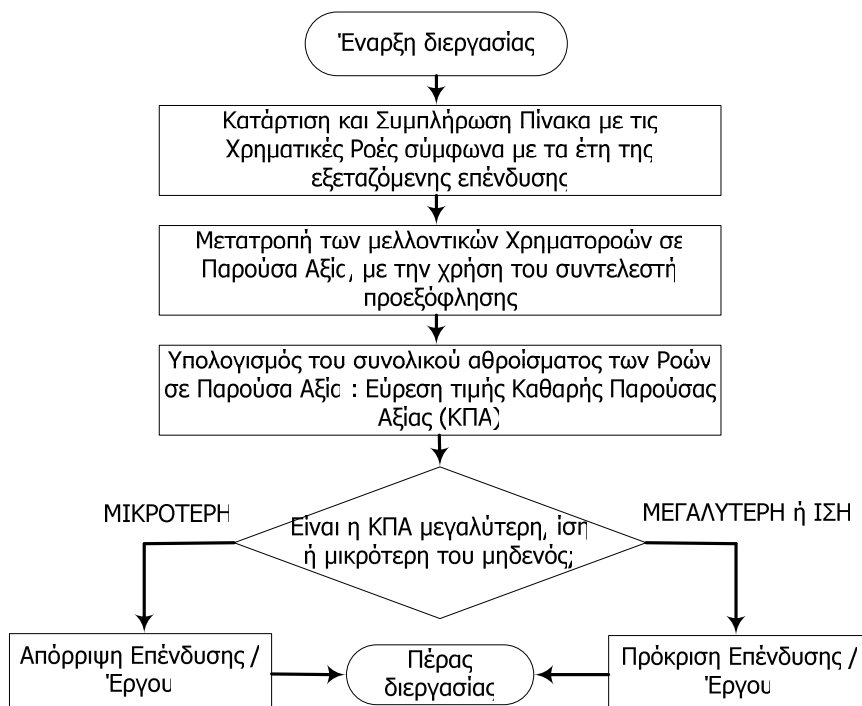
2.3.1.2 Χρηματοοικονομική βιωσιμότητα – υπολογισμός της ΚΠΑ

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μία αρχική επεξήγηση του τρόπου υπολογισμού των δεικτών αξιολόγησης της ΚΠΑ και του ΕΣΑ, ο οποίος παρουσιάζεται στην επόμενη παράγραφο, παρατίθεται ένα απλό παράδειγμα υπολογισμού τους από έναν ιδιώτη επενδυτή, ο οποίος θέλει να αξιολογήσει δύο διαφορετικά επενδυτικά έργα και να αποφασίσει για τη συμμετοχή του στο ένα εξ' αυτών. Αρχικά, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα αξιολόγησης της χρηματοοικονομικής βιωσιμότητας των επενδύσεων. Θεωρείται ότι κατόπιν προσεκτικών εκτιμήσεων, υπολογίζονται οι ροές του παρακάτω Πίνακα 1 για τα συγκρινόμενα έργα «Κ» και «Λ». Όπως φαίνεται, ενώ υπολογίζεται ότι οι χρηματοροές του έργου «Κ» είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του έργου «Λ», το έργο «Κ» θα πρέπει να αξιολογείται ως μη βιώσιμο χρηματοοικονομικά, ενώ το «Λ» ως χρηματοοικονομικά βιώσιμο. Αυτό προκύπτει από τον Ευρωπαϊκό Οδηγό για την Ανάλυση Κόστους Οφέλους (EC, 2008), ο οποίος διακρίνει τα έργα που παρουσιάζουν έλλειψη ρευστότητας, ως μη βιώσιμα χρηματοοικονομικά, καθώς η υλοποίηση των επενδυτικών έργων αυτής της κατηγορίας προϋποθέτει ότι κατά τη λειτουργική φάση αυτών είναι αναγκαία η περαιτέρω χρηματοδότησή τους από άλλους πόρους, αφού τα παραγόμενα από την επένδυση έσοδα δεν θα μπορούν να καλύψουν το σύνολο των απαιτούμενων εκροών κατά το χρονικό διάστημα που παρουσιάζεται η έλλειψη ρευστότητας. Στην εξεταζόμενη περίπτωση, σύμφωνα με τις χρηματοροές που περιλαμβάνονται στον Πίνακα 1, για το έργο «Κ» υφίσταται αρνητικό πρόσημο στις ετήσιες χρηματοροές και συγκεκριμένα στο δεύτερο έτος της επένδυσης, σε αντίθεση με το έργο «Λ», για το οποίο οι ετήσιες χρηματοροές είναι θετικές στο σύνολο των ετών που συνθέτουν τον χρονικό ορίζοντα της επένδυσης.

Πίνακας 1. Ετήσιες χρηματοροές έργων «Κ» και «Λ»

Έτη	Έργο «Κ»	Έργο «Λ»
0	-35.000	-35.000
1	10.000	5.000
2	- 5.000	10.000
3	10.000	10.000
4	15.000	10.000
5	20.000	15.000
Σύνολο	17.000	15.000

Περαιτέρω, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα σύγκρισης δύο άλλων επενδυτικών έργων «Α» και «Β», οι χρηματοροές των οποίων παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 2. Όπως φαίνεται, οι ετήσιες χρηματοροές, σε μελλοντική αξία, είναι θετικές για αμφότερα τα



Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής διεργασίας αξιολόγησης επένδυσης με τον υπολογισμό της τιμής του δείκτη ΚΠΑ

έργα στο σύνολο του χρονικού ορίζοντα αυτών, γεγονός που τα καθιστά χρηματοοικονομικά βιώσιμα.

Πίνακας 2. Ετήσιες χρηματοροές έργων «Α» και «Β»

Έτη	Έργο «Α»	Έργο «Β»
0	-35.000	-35.000
1	20.000	0
2	15.000	5.000
3	10.000	10.000
4	5.000	15.000
5	0	20.000
Σύνολο (μελλοντική αξία)	15.000	15.000

Επιπλέον, οι χρηματοροές που προκύπτουν σε μελλοντική αξία, είναι θετικές και ίσες (15.000) και για τα δύο έργα. Εντούτοις, η χρήση της ανάλυσης προεξοφλημένων ταμειακών ροών, λαμβάνει υπόψη τη διαχρονική αξία των χρημάτων που υπολογίζονται ως εισροές για τον επενδυτή. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας ως προεξοφλητικό επιτόκιο το 10%, η ΚΠΑ για τα δύο έργα, υπολογίζεται σύμφωνα με τις παρακάτω πράξεις:

$$\begin{aligned}
 KPA_{(A)} &= -35.000 + \frac{20.000}{1+0,1} + \frac{15.000}{(1+0,1)^2} + \frac{10.000}{(1+0,1)^3} + \frac{5.000}{(1+0,1)^4} + \frac{0}{(1+0,1)^5} \Rightarrow \\
 KPA_{(A)} &= -35.000 + 18.181 + 12.396 + 7.513 + 3.415 + 0 \Rightarrow KPA_{(A)} = 6.506 > 0 \\
 KPA_{(B)} &= -35.000 + \frac{0}{1+0,1} + \frac{5.000}{(1+0,1)^2} + \frac{10.000}{(1+0,1)^3} + \frac{15.000}{(1+0,1)^4} + \frac{20.000}{(1+0,1)^5} \Rightarrow \\
 KPA_{(B)} &= -35.000 + 0 + 4.132 + 7.513 + 10.245 + 12.418 \Rightarrow KPA_{(B)} = -690 < 0
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

Παρατηρείται συνεπώς, ότι ενώ αρχικά οι χρηματοροές προσδίδουν το ίδιο αποτέλεσμα, δηλ. (15.000), όταν αυτές προεξοφληθούν θα πρέπει να προτιμηθεί το έργο «Α», καθώς παρουσιάζει θετικό αποτέλεσμα στο δείκτη ΚΠΑ, ενώ αντίστοιχα το έργο «Β» θα πρέπει να απορριφθεί καθώς ο συγκεκριμένος δείκτης είναι αρνητικός. Το γεγονός αυτό προκύπτει από τη προσεκτικότερη παρατήρηση των χρηματοροών του Πίνακα 2. Όπως φαίνεται, στο έργο «Α» υφίσταται συγκέντρωση μεγαλύτερων ποσοτικά εισροών στο πρώτο και στο δεύτερο έτος λειτουργίας, οπότε έχουν και μεγαλύτερη παρούσα αξία, ενώ στο έργο «Β» οι ίδιες εισροές προκύπτουν στο τέταρτο και στο πέμπτο έτος, όπου έχουν αντίστοιχα μικρότερη παρούσα αξία. Το έργο «Β» όμως θα έπρεπε να προκριθεί ακόμα και αν γινόταν χρήση μικρότερου προεξοφλητικού επιτοκίου, π.χ. 7,5%, όπου είναι δυνατόν να ισχύει ότι $KPA_B > 0$, πλην όμως θα ίσχυε και ότι $KPA_A > KPA_B$.

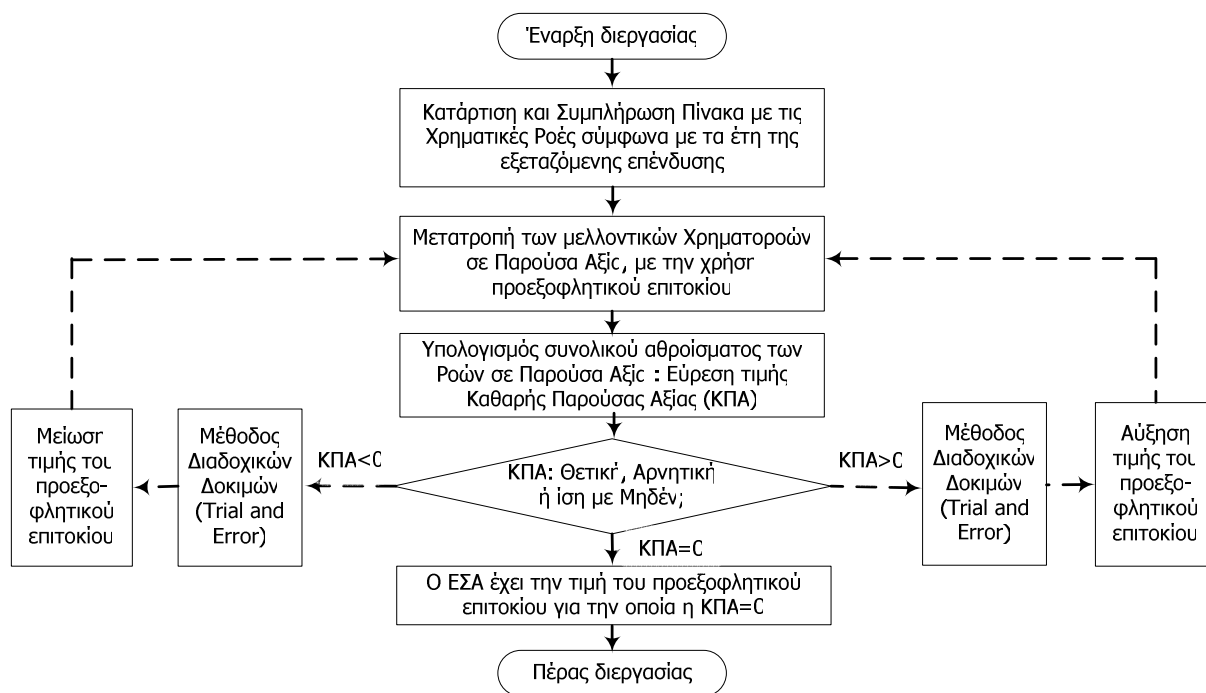
2.3.2 Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (ΕΣΑ)

Όπως συμβαίνει και με τη ΚΠΑ, ποικίλες προσεγγίσεις καταγράφονται στη βιβλιογραφία και για τον ορισμό του ΕΣΑ (βλ. Smith, 2002; Burke, 2003). Αξιοσημείωτο το γεγονός είναι ότι παρέχεται η δυνατότητα πολλαπλών χρήσεων του συγκεκριμένου δείκτη στη διαχείριση και αξιολόγηση μιας επένδυσης (βλ. Schwartz, 1993; Ruback, 1995; Philips, 1997; Kortanek & Medvedev, 2001; Kaplan & Smith, 2002; Soto, 2003; Brown, 2006). Ένας ορισμός που μπορεί, σύμφωνα με τα παραπάνω, να αποδοθεί στο δείκτη ΕΣΑ είναι:

«Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης σε μια επένδυση, ισούται με τη τιμή που πρέπει να λάβει το προεξοφλητικό επιτόκιο ώστε η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης να λαμβάνει μηδενική τιμή».

2.3.2.1 Διεργασία υπολογισμού του ΕΣΑ

Το διάγραμμα ροής της διεργασίας υπολογισμού του ΕΣΑ με τη μέθοδο των διαδοχικών δοκιμών (trial and error), παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα 4. Όπως φαίνεται, αρχικά καταρτίζεται ο πίνακας των χρηματοροών της επένδυσης, οι οποίες μετατρέπονται στη παρούσα αξία τους με τη χρήση του συντελεστή προεξόφλησης, ο οποίος προκύπτει από τη τιμή του αρχικού προεξοφλητικού επιτοκίου και υπολογίζεται το συνολικό άθροισμα των προεξοφλημένων χρηματοροών, δηλ. η ΚΠΑ. Στη συνέχεια, εφόσον η $KPA > 0$, εκτελείται η διαδικασία διαδοχικών υπολογισμών με τη σταδιακή προσαύξηση της τιμής του προεξοφλητικού επιτοκίου, οπότε και μειώνεται συνεχώς η τιμή της ΚΠΑ, μέχρι αυτή να μηδενιστεί. Ο ΕΣΑ της επένδυσης, ισούται με τη τιμή του προεξοφλητικού επιτοκίου για την οποία η $KPA = 0$. Αντίστροφα, εφόσον από τους αρχικούς υπολογισμούς προκύπτει ότι $KPA < 0$, τότε εκτελείται η παραπάνω διαδικασία των διαδοχικών υπολογισμών, όπου η



Σχήμα 4. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπολογισμού της τιμής του δείκτη ΕΣΑ

αρχική τιμή του προεξοφλητικού επιτοκίου μειώνεται σταδιακά, μέχρι να προκύψει ότι $KPA=0$.

2.3.2.2 Παράδειγμα υπολογισμού του ΕΣΑ

Στο προηγούμενο παράδειγμα της σύγκρισης των έργων «Α» και «Β», όπου οι εκτιμώμενες χρηματοροές τους συμπληρώνουν τον Πίνακα 2, ακολουθείται η διεργασία υπολογισμού του ΕΣΑ για κάθε έργο χωριστά. Έτσι, υπολογίζεται ότι $KPA_A=6.506$ και $KPA_B=-690$, για προεξοφλητικό επιτόκιο $r=10\%$. Με τη μέθοδο των διαδοχικών δοκιμών, προκύπτει ότι $ΕΣΑ_A=20,53\%$ και αντίστοιχα $ΕΣΑ_B=9,44\%$. Στη περίπτωση της μεμονωμένης εξέτασης κάθε έργου, ισχύει ότι $ΕΣΑ_A=20,53\%$ και άρα $>10\%$, δηλ. μεγαλύτερος του αρχικού προεξοφλητικού επιτοκίου, οπότε το έργο «Α» προκρίνεται, ενώ παράλληλα ο $ΕΣΑ_B=9,44\% < 10\%$, οπότε το έργο «Β» θα πρέπει να απορριφθεί. Επιπλέον, στη περίπτωση σύγκρισης εναλλακτικών επενδυτικών δυνατοτήτων ισχύει ότι $ΕΣΑ_A > ΕΣΑ_B$, οπότε σύμφωνα και με το κριτήριο του συντελεστή εσωτερικής απόδοσης θα πρέπει να προκριθεί το έργο «Α» και αντίστοιχα να απορριφθεί το έργο «Β».

2.3.3 Η περίπτωση τιμής εναλλαγής του προεξοφλητικού επιτοκίου

Μία εξειδικευμένη περίπτωση σύγκρισης εναλλακτικών επενδυτικών δυνατοτήτων με τις μεθόδους της ΚΠΑ και του ΕΣΑ, παρουσιάζεται στο επόμενο παράδειγμα. Η περίπτωση αυτή ονομάζεται «εναλλαγή» (switching) (Ley, 2007; EC, 2008) και παρατηρείται όταν οι δύο δείκτες, ΚΠΑ και ΕΣΑ, δίνουν αντιφατικά αποτελέσματα, δηλ. προκρίνουν διαφορετικό έργο ανάλογα με το προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιείται. Επισημαίνοντας ότι η συγκεκριμένη περίπτωση είναι αρκετά σπάνια, θεωρούμε ότι εκτελώντας τις απαραίτητες

εκτιμήσεις, καταρτίζεται ο επόμενος Πίνακας 3, ο οποίος περιλαμβάνει τις χρηματοροές για τα έργα «Γ» και «Δ» αντίστοιχα.

Πίνακας 3. Ετήσιες χρηματοροές των έργων «Γ» και «Δ»

Έτη	Έργο «Γ»	Έργο «Δ»
0	-35.000	-35.000
1	10.000	0
2	10.000	10.000
3	10.000	10.000
4	10.000	15.000
5	10.000	20.000

Οι υπολογισμοί της ΚΠΑ των έργων για προεξοφλητικό επιτόκιο 10%, δίνονται παρακάτω:

$$KPA_{(r)} = -35.000 + \frac{10.000}{1+0,1} + \frac{10.000}{(1+0,1)^2} + \frac{10.000}{(1+0,1)^3} + \frac{10.000}{(1+0,1)^4} + \frac{10.000}{(1+0,1)^5} \Rightarrow$$

$$KPA_{(r)} = -35.000 + 9.090 + 8.264 + 7.513 + 6.830 + 6.209 \Rightarrow KPA_{(r)} = 2.907 > 0 \quad (2.5)$$

$$KPA_{(d)} = -35.000 + \frac{0}{1+0,1} + \frac{10.000}{(1+0,1)^2} + \frac{10.000}{(1+0,1)^3} + \frac{15.000}{(1+0,1)^4} + \frac{20.000}{(1+0,1)^5} \Rightarrow$$

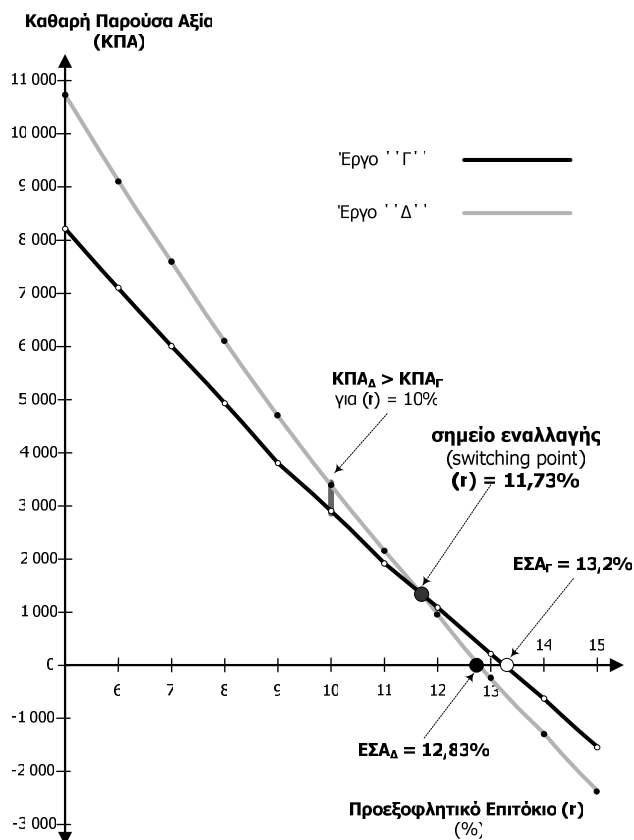
$$KPA_{(d)} = -35.000 + 0 + 8.264 + 7.513 + 10.245 + 12.418 \Rightarrow KPA_{(d)} = 3.441 > 0$$

Ισχύει ότι $KPA_{\Delta} > KPA_{\Gamma}$ και κατά συνέπεια ο επενδυτής θα πρέπει να προτιμήσει το έργο «Δ», σύμφωνα με το κριτήριο της καθαρής παρούσας αξίας. Επιπλέον, στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η εξέταση της εσωτερικής απόδοσης των δύο έργων Γ και Δ, πραγματοποιείται σύμφωνα με τον υπολογισμό των δεικτών εσωτερικής απόδοσης αυτών: $EΣA_{\Gamma}$ και $EΣA_{\Delta}$. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουν ήδη εκτελεστεί, ο επενδυτής θα πρέπει να επιλέξει την εκτέλεση του έργου «Δ», αφού αυτό παρουσιάζει μεγαλύτερη ΚΠΑ. Με τη μέθοδο των διαδοχικών δοκιμών όμως, υπολογίζεται ότι οι εσωτερικές αποδόσεις των συγκρινόμενων έργων, είναι: $EΣA_{\Gamma}=13,2016\%$ και αντίστοιχα: $EΣA_{\Delta}=12,8384\%$. Παρατηρείται δηλαδή ότι: $EΣA_{\Gamma} > EΣA_{\Delta}$ και κατά συνέπεια, σύμφωνα με το κριτήριο της εσωτερικής απόδοσης, θα πρέπει να προτιμηθεί από τον επενδυτή το έργο «Γ».

Το φαινόμενο αυτό συναντάται όταν υπάρχει μία συγκεκριμένη τιμή του προεξοφλητικού επιτοκίου (r), η οποία ονομάζεται τιμή εναλλαγής (switching) και έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

- η ΚΠΑ του πρώτου έργου είναι μεγαλύτερη από τη ΚΠΑ του δεύτερου έργου για τιμές του προεξοφλητικού επιτοκίου μικρότερες από τη τιμή αυτή και
- η ΚΠΑ του πρώτου έργου είναι αντίστοιχα μικρότερη από τη ΚΠΑ του δεύτερου έργου, για τιμές του προεξοφλητικού επιτοκίου μεγαλύτερες από τη τιμή εναλλαγής.

Η συγκεκριμένη περίπτωση των έργων «Γ» και «Δ» του παραπάνω παραδείγματος είναι μία χαρακτηριστική περίπτωση με ύπαρξη τιμής εναλλαγής. Όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα του επόμενου Σχήματος 5, το σημείο εναλλαγής για τα δύο έργα, είναι το $(r)=11,73\%$. Έτσι, για τιμές που λαμβάνει το προεξοφλητικό επιτόκιο μικρότερες από το 11,73%, η ΚΠΑ του έργου «Δ» είναι μεγαλύτερη από τη ΚΠΑ του έργου «Γ», ενώ αντίστοιχα όταν το προεξοφλητικό επιτόκιο λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από το 11,73%, τότε η ΚΠΑ του έργου «Δ» είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του «Γ». Το φαινόμενο αυτό δεν είναι σύνηθες, πλην όμως αποτελεί ένα ισχυρό μέσο τεκμηρίωσης και κατάδειξης της σπουδαιότητας που έχει η επιλογή της τιμής του προεξοφλητικού επιτοκίου, η οποία εκτελείται από τον εξεταστή



Σχήμα 5. Η περίπτωση της τιμής εναλλαγής (switching) του προεξοφλητικού επιτοκίου: $KPA_{\Gamma} < KPA_{\Delta}$, για τιμές r μικρότερες του σημείου εναλλαγής και $KPA_{\Gamma} > KPA_{\Delta}$, για τιμές r μεγαλύτερες του σημείου εναλλαγής

κατά την αξιολόγηση μίας επένδυσης. Έτσι, στις περιπτώσεις σύγκρισης έργων, όπου σύμφωνα με τα κριτήρια της ΚΠΑ και του ΕΣΑ προκύπτουν αντιφατικά αποτελέσματα, δηλ. ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο κριτήριο προκρίνεται διαφορετικό έργο, θα πρέπει να εκτελείται ανάλυση ευαισθησίας για σενάρια διαφορετικού προεξοφλητικού επιτοκίου.

2.3.4 Σύγκριση των δεικτών ΚΠΑ και ΕΣΑ

Γενικότερα, είναι προφανής η συνδεσιμότητα των δύο δεικτών της ΚΠΑ και του ΕΣΑ, η οποία αναγνωρίζεται από τη βιβλιογραφία (βλ. Chiang et al., 2009), καθώς στη περίπτωση εκείνη όπου για μια επένδυση ο δείκτης της ΚΠΑ λαμβάνει θετική τιμή, θεωρείται δεδομένο ότι ο δείκτης του ΕΣΑ θα λάβει τιμή μεγαλύτερη από το προεξοφλητικό επιτόκιο και αντίστροφα.

2.3.4.1 Πλεονεκτήματα και αδυναμίες της ΚΠΑ

Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου ΚΠΑ καταγράφονται το ότι σε αυτήν:

- λαμβάνεται υπόψη η διαχρονική αξία του χρήματος,

- τα χρηματικά ποσά που χρησιμοποιούνται εκφράζονται σε απόλυτους αριθμούς,
 - υφίσταται η ιδιότητα της προσθετικότητας με τις καθαρές παρούσες αξίες πολλαπλών επενδυτικών προτάσεων και επιπλέον
 - υφίσταται αρκετή ευελιξία για την ανάλυση της αβεβαιότητας ενός επενδυτικού σχεδίου.
- Αντίστοιχα, τα μειονεκτήματα της ΚΠΑ, προσδιορίζονται στο ότι:
- η μέθοδος προϋποθέτει την επανεπένδυση των καθαρών ροών που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της επένδυσης, καθώς και
 - υφίσταται δυσκολία στη πρόκριση της βέλτιστης επένδυσης, κατά τη διαδικασία σύγκρισης επενδύσεων που απαιτούν διαφορετικό επενδυτικό κεφάλαιο.

2.3.4.2 Πλεονεκτήματα και αδυναμίες του ΕΣΑ

Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου του ΕΣΑ καταγράφεται ότι λαμβάνει υπόψη της, όπως και η αντίστοιχη μέθοδος της ΚΠΑ, τη διαχρονική αξία των χρημάτων, ενώ διατηρεί και την ευελιξία προσαρμογής προκειμένου να εκτελεστεί μία ανάλυση της αβεβαιότητας για την επένδυση. Επιπλέον, ο ΕΣΑ εκφράζεται σε ποσοστό, το οποίο για ορισμένους λήπτες αποφάσεων θεωρείται ως πλεονέκτημα, καθώς έχουν τη δυνατότητα να συγκρίνουν τη τιμή του με τα τρέχοντα επιτόκια της αγοράς, π.χ. του πληθωρισμού, του επιτοκίου δανεισμού από τραπεζικό φορέα, κτλ. Ωστόσο, η μέθοδος του ΕΣΑ δεν έχει την ιδιότητα της προσθετικότητας πολλαπλών επενδύσεων, ενώ στις αδυναμίες της μεθόδου καταγράφονται και οι περιπτώσεις έργων όπου ο ΕΣΑ λαμβάνει πολλαπλές τιμές.

2.3.4.3 Συμπεράσματα από τη σύγκριση της ΚΠΑ και του ΕΣΑ

Οι μέθοδοι της ΚΠΑ και του ΕΣΑ παρουσιάζουν αμφότερες πλεονεκτήματα και αδυναμίες. Σε αρκετούς συγγραφείς καταγράφονται αποτελέσματα από τη σύγκριση των δύο δεικτών (βλ. Oehmke, 2000; Burke, 2003; Berkovitch, 2004; Hilton, 2005; Osborne, 2010), ενώ πολλοί συνιστούν τη χρησιμοποίηση μόνο της ΚΠΑ, ως το πλέον αξιόπιστο κριτήριο (π.χ. HM Treasury, 2003; Μέργος, 2007; Ley, 2007). Σε κάθε περίπτωση, το παράδειγμα που χρησιμοποιήθηκε στη παραπάνω παράγραφο 2.3.3, για την αξιολόγηση των έργων «Γ» και «Δ», αποτελεί μία απλοποιημένη περίπτωση εξέτασης και αξιολόγησης διαφορετικών έργων, πλην όμως αναδεικνύει ότι η χρησιμοποίηση αυτών των δεικτών δύναται να παρουσιάσει σοβαρές αδυναμίες. Εξάλλου, οι χρηματοροές που αρχικά υπολογίζονται, δεν αποτελούν τίποτα παραπάνω από προβλέψεις επί της συμπεριφοράς συγκεκριμένων μεταβλητών, π.χ. της ζήτησης και των αναμενομένων εσόδων, του λειτουργικού κόστους, κτλ. Συμπερασματικά λοιπόν, προτείνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις και ιδίως στις περιπτώσεις σύγκρισης εναλλακτικών επενδυτικών δυνατοτήτων, όπου δεν είναι ξεκάθαρη η υπεροχή του ενός εκ των δύο έργων, δηλ. δεν ισχύει $KPA_A > KPA_B$ και $ES_A > ES_B$, θα πρέπει να ακολουθείται περαιτέρω αξιολόγηση των δύο έργων λαμβανομένης υπόψη της αβεβαιότητας που περικλείουν τα δύο σενάρια, οπότε και η τελική απόφαση να λαμβάνεται σύμφωνα με την ανάλυση αυτή.

2.3.5 Δείκτης αποδοτικότητας (Οφέλους / Κόστους) επένδυσης

Η αποδοτικότητα μίας επένδυσης ορίζεται κατά ΕΛΟΤ (2008), ως:

«Η σχέση αποτελεσμάτων και χρησιμοποιούμενων πόρων»

ενώ ο δείκτης αποδοτικότητας (Profitability Index–PI), αποτελεί ένα ακόμα κριτήριο αξιολόγησης επένδυσης. Η τιμή του δείκτη αποδοτικότητας της εξεταζόμενης επένδυσης, υπολογίζεται από τη παρούσα αξία (ΠΑ) των καθαρών ταμειακών εισροών διαιρούμενη προς την αντίστοιχη ΠΑ των εκροών, δηλ:

$$(\text{Δείκτης αποδοτικότητας}) = (PI) = \frac{\text{ΠΑ}_{\text{εισορών}}}{\text{ΠΑ}_{\text{εκροών}}} \quad (2.6)$$

Κριτήριο αποδοχής του έργου είναι το σύνολο των προεξοφλημένων ταμειακών εισροών να είναι ποσοτικά μεγαλύτερο από το σύνολο των αντίστοιχων εκροών, οπότε και η τιμή του συγκεκριμένου δείκτη να είναι μεγαλύτερη από τη μονάδα, δηλ. $PI > 1$ οπότε προκρίνεται η επένδυση, ενώ στη περίπτωση που $PI < 1$, τότε η επένδυση πρέπει να απορριφθεί. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στις αδυναμίες της ΚΠΑ καταγράφεται το γεγονός ότι δεν μπορεί αυτή να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση δύο έργων που απαιτούν διαφορετικό κεφάλαιο. Εξετάζοντας μία τέτοια περίπτωση, θεωρούνται οι ταμειακές ροές για δύο διαφορετικά επενδυτικά έργα, το «Ε» και το «ΣΤ», με τους υπολογισμούς των ετήσιων χρηματοροών τους να περιλαμβάνονται στον Πίνακα 4. Όπως φαίνεται, πρόκειται για δύο έργα, όπου η αρχική επένδυση απαιτεί τη διάθεση διαφορετικού κεφαλαίου, 70.000 για το «Ε» και 35.000 για το «ΣΤ».

Πίνακας 4. Ετήσιες χρηματοροές των έργων «Ε» και «ΣΤ»

Έτη	Έργο «Ε»	Έργο «ΣΤ»
0	-70.000	-35.000
1	25.000	20.000
2	25.000	15.000
3	20.000	10.000
4	20.000	5.000
5	15.000	5.000

Με την εκτέλεση των απαραίτητων πράξεων, για προεξοφλητικό επιτόκιο (r)=10%, υπολογίζεται ότι: $KPA_E = 11.388$ και $KPA_{\Sigma T} = 9.611$. Σύμφωνα με αυτούς τους υπολογισμούς και με κριτήριο σύγκρισης αυτό της ΚΠΑ, θα πρέπει να προτιμηθεί το έργο «Ε», καθώς ισχύει ότι: $KPA_E > KPA_{\Sigma T}$. Περαιτέρω όμως, λαμβάνοντας υπόψη ότι η υλοποίηση της επένδυσης «Ε» απαιτεί τη διάθεση σαφώς μεγαλύτερου κεφαλαίου έναντι του αντίστοιχου κεφαλαίου που προϋποθέτει η υλοποίηση της επένδυσης «ΣΤ», θεωρείται σκόπιμη η αξιολόγηση της αποδοτικότητας για έκαστο έργο. Έτσι, υπολογίζονται οι τιμές των δεικτών αποδοτικότητας για αμφότερα τα έργα, όπως παρακάτω:

$$\text{ΠΑ}_{\text{εισροών}}^{\text{E}} = 22.727 + 20.661 + 15.026 + 13.660 + 9.313 = 81.388 \Rightarrow \text{ΠΑ}_{\text{εκροών}}^{\text{E}} = 70.000$$

$$\text{PI}_{(\text{E})} = \frac{\text{ΠΑ}_{\text{εισροών}}^{\text{E}}}{\text{ΠΑ}_{\text{εκροών}}^{\text{E}}} = \frac{81.388}{70.000} = 1,162 > 1$$

$$\text{ΠΑ}_{\text{εισροών}}^{\text{ΣΤ}} = 18.181 + 12.396 + 7.513 + 3.415 + 3.104 = 44.611 \Rightarrow \text{ΠΑ}_{\text{εκροών}}^{\text{ΣΤ}} = 35.000$$

$$\text{ΠΑ}_{\text{εκροών}}^{\text{ΣΤ}} = 35.000, \text{PI}_{(\text{ΣΤ})} = \frac{\text{ΠΑ}_{\text{εισροών}}^{\text{ΣΤ}}}{\text{ΠΑ}_{\text{εκροών}}^{\text{ΣΤ}}} = \frac{44.611}{35.000} = 1,274 > 1$$

(2.7)

Προκύπτει συνεπώς ότι: $\text{PI}_{(\text{E})} < \text{PI}_{(\text{ΣΤ})}$. Αυτό σημαίνει ότι η χρησιμοποίηση κεφαλαίου ύψους 35.000 στο έργο «ΣΤ» θα έχει σαφώς μεγαλύτερη απόδοση, σε σχέση με την απόδοση του αντίστοιχου απαιτούμενου κεφαλαίου ύψους 70.000 για το έργο «Ε».

2.3.6 Συνδεσιμότητα δεικτών αξιολόγησης επενδύσεων

Λαμβανομένου υπόψη του τρόπου υπολογισμού των δεικτών της καθαρής παρούσας αξίας, του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης και του δείκτη αποδοτικότητας της επένδυσης, διαπιστώνεται η συνδεσιμότητα των τριών αυτών κριτηρίων αξιολόγησης. Ιδίως στη ΚΠΑ και το δείκτη αποδοτικότητας, χρησιμοποιείται το σύνολο των ταμειακών εισροών και εκροών, οι οποίες μετατρέπονται σε παρούσα αξία με τη χρήση του προεξοφλητικού επιτοκίου. Η διαφορά των δύο μεθόδων, έγκειται στο ότι στη πρώτη περίπτωση υπολογίζεται η διαφορά τους, ενώ στη δεύτερη το πηλίκο τους. Κατά συνέπεια, είναι προφανές ότι κατά την αξιολόγηση μίας συγκεκριμένης επένδυσης, όπου ο δείκτης της ΚΠΑ λαμβάνει θετική τιμή, ο ΕΣΑ θα έχει τιμή μεγαλύτερη του προεξοφλητικού επιτοκίου και ο δείκτης αποδοτικότητας θα λαμβάνει τιμή μεγαλύτερη της μονάδας.

2.4 Η μέθοδος ανάλυσης κόστους – οφέλους (ΑΚΟ)

2.4.1 Το πλαίσιο της μεθόδου ΑΚΟ

Το 1808, παρουσιάζεται για πρώτη φορά στις ΗΠΑ η βασική θεώρηση της σύγκρισης του κόστους και των ωφελειών για έργα ύδρευσης, ενώ το πλαίσιο της ΑΚΟ εγκαθιδρύεται στις αρχές του 1900 και αναπτύσσεται ραγδαία μέχρι τη δεκαετία του 1950 (Hammond, 1966; Hanley and Spash, 1993). Η ΑΚΟ θεωρείται η κύρια τεχνική αξιολόγησης επενδύσεων, μέσω της ποσοτικής σύγκρισης των επιδράσεων μίας επένδυσης σε όρους προκύπτουσας ωφέλειας και κόστους δαπανηθέντων πόρων (Almansa and Martínez-Paz, 2011). Γενικότερα, τα έργα εξετάζονται κατά περίπτωση, καθώς τα περιβαλλοντικά και όχι μόνο οφέλη αλλά και τα αντίστοιχα κόστη εξαρτώνται από τον αντικειμενικό σκοπό του έργου (Aravossis et al., 2003). Για παράδειγμα, μία επένδυση στον τομέα των μεταφορών έχει περισσότερα προκύπτοντα οφέλη μέσω της μείωσης του κυκλοφοριακού φόρτου από τα αντίστοιχα οφέλη μέσω της μείωσης των εκπομπών ρύπων και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Harford, 2006).

Επιπλέον, στις περιπτώσεις όπου δεν υφίστανται αγοραίες τιμές, η συνήθης προσέγγιση είναι η χρήση της μεθόδου προσωπικής αποτίμησης (contingent valuation). Η εν λόγω μέθοδος χρησιμοποιεί ερωτηματολόγια για την αποτίμηση της αξίας των αγαθών και

υπηρεσιών που δεν πωλούνται στην αγορά (Aravossis and Karydis, 2004; Bakoroulou et al, 2010). Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές μελέτες στην επιστημονική βιβλιογραφία για την αξιολόγηση της καταναλωτικής θέλησης για πληρωμή (willingness to pay, WTP) για διάφορα προϊόντα, π.χ. οι Yiridoe et al. (2005) ερευνούν τη καταναλωτική συμπεριφορά έναντι των οργανικών και μή τροφίμων, αναλύοντας τη θέληση των καταναλωτών για πληρωμή (WTP) σε οργανικά τρόφιμα.

Επιπροσθέτως, υφίσταται η μέθοδος μεταφερόμενου οφέλους (benefit-transfer) ειδικά για περιβαλλοντικά αγαθά και υπηρεσίες (Pearce et al, 2006), ενώ υφίστανται και έτερες προσεγγίσεις στην αποτίμηση του χρόνου, των ωφελειών υγείας, του εδάφους και του ύδατος (HM Treasury, 2004). Στη συνέχεια, αναλύεται η εφαρμογή της μεθόδου ΑΚΟ, ενώ τα έξι βήματα που περιλαμβάνει το βασικό μοντέλο ΑΚΟ παρουσιάζονται εν συντομία (EC, 2008).

2.4.2 Εφαρμογή της ΑΚΟ

Η Ανάλυση Κόστους-Οφέλους (ΑΚΟ) (Cost-Benefit-Analysis – CBA), είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται κυρίως για την αξιολόγηση της οικονομικής αξίας των πολύ μεγάλων ιδιωτικών έργων, καθώς και των έργων που εκτελούνται από το δημόσιο τομέα. Η ΑΚΟ εφαρμόζεται μέσω μίας έκθεσης, η οποία περιλαμβάνει τους υπολογισμούς τόσο για το κόστος το οποίο χρησιμοποιείται για να υλοποιηθεί και να λειτουργήσει το έργο, όσο και για τις διάφορες επιπτώσεις, θετικές ή αρνητικές, που αυτό θα έχει. Οι επιπτώσεις ενός έργου κατηγοριοποιούνται στις άμεσες χρηματοοικονομικές για τον επενδυτή/ες, όπου χρησιμοποιείται η χρηματοοικονομική ανάλυση (financial analysis) για τον υπολογισμό τους, με τα κριτήρια αξιολόγησης να λαμβάνουν υπόψη τις τιμές της αγοράς, καθώς και στις άμεσες ή έμμεσες οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπου χρησιμοποιείται η οικονομική ανάλυση (economic analysis) για τον υπολογισμό τους, με τα αντίστοιχα κριτήρια αξιολόγησης να λαμβάνουν υπόψη τις λογιστικές / σκιώδεις τιμές (shadow prices) σε συνδυασμό με το εξωτερικό κόστος (externalities) που έχει η επένδυση, δηλ. το κόστος το οποίο δεν αποτιμάται με τις υφιστάμενες μεθόδους της αγοράς.

Η μέθοδος της ΑΚΟ εμφανίζει σημαντικές διαφορές, τόσο μεταξύ των χωρών όπου πρόκειται να υλοποιηθεί το εξεταζόμενο έργο, όσο και μεταξύ των τομέων στους οποίους ενάσσεται η συγκεκριμένη επένδυση. Όσον αφορά στις υπόψη χαρακτηριστικότερες διαφορές, αυτές προσδιορίζονται στο προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των τιμών στη παρούσα αξία τους, στο είδος των εκτιμήσεων για τις επιπτώσεις που αναμένονται από το έργο, καθώς και στους συντελεστές μετατροπής, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή των αγοραίων τιμών στις αντίστοιχες λογιστικές.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (ΗΠΑ), η ΑΚΟ εφαρμόστηκε πρωτίστως από το σώμα Μηχανικού των ενόπλων δυνάμεων, το 1936, όταν σύμφωνα με ομοσπονδιακή οδηγία απαιτείται η υποβολή ανάλυσης κόστους - οφέλους για τις προτεινόμενες πλωτές υποδομές. Επιπλέον, ο νόμος του 1939 που καθόριζε τη πολιτική για τη πρόληψη και τον έλεγχο των αντιπλημμυρικών έργων, ουσιαστικά συνέβαλε στον προσδιορισμό της ΑΚΟ ως πολιτικής, καθώς ο συγκεκριμένος νόμος όριζε ότι: «τα προκύπτοντα οφέλη θα πρέπει να υπερβαίνουν το εκτιμώμενο κόστος» (Guess and Farnham, 2000). Στη συνέχεια, η μέθοδος αναπτύχθηκε κυρίως τις δεκαετίες του 1950 και 1960 στις ΗΠΑ και στο Ηνωμένο Βασίλειο, κατά την αξιολόγηση των επενδύσεων σε αυτοκινητοδρόμους, ενώ πλήθος ανεξάρτητων

κρατών καθώς και οργανισμών, μεταξύ των οποίων και η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), έχουν ενσωματώσει την ΑΚΟ ως κύρια μεθοδολογία για την αξιολόγηση των έργων και πολιτικών τους.

Επιπλέον, όπως αναφέρεται από πολλούς συγγραφείς, η βασικότερη μεθοδολογία για την αξιολόγηση των έργων συνεργασίας, που εκτελούνται είτε μέσω συμβάσεων παραχώρησης είτε μέσω σύμπραξης του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα (ΣΔΙΤ), είναι η ΑΚΟ (βλ. ESCAP, 2003; Grimsey and Lewis, 2005).

Στην επόμενη παράγραφο, παρουσιάζονται τα βασικά βήματα που ακολουθούνται κατά την εκπόνηση μίας ΑΚΟ, σύμφωνα με τον οδηγό ΑΚΟ (Cost Benefit Analysis - CBA) για επενδυτικά έργα που εκδόθηκε από την Ευρωπαϊκή επιτροπή (ΕΥ, 2008). Περαιτέρω, περιλαμβάνονται επεξηγήσεις επί των βασικών δεικτών αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται σε μία ΑΚΟ, καθώς και οι διαδικασίες που ακολουθούνται κατά την εκτέλεση των απαραίτητων υπολογισμών. Η μέθοδος που περιλαμβάνεται στον οδηγό της Ε.Ε., δύναται να εφαρμοστεί για την ανάλυση και αξιολόγηση όχι μόνο των έργων που συγχρηματοδοτούνται από τη κοινότητα, αλλά και σε έτερα επενδυτικά έργα, δημόσιου ή / και ιδιωτικού χαρακτήρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εκπόνηση και υποβολή μίας πρότασης έργου, η οποία να περιλαμβάνει ΑΚΟ, καθίσταται υποχρεωτική για το σύνολο των μεγάλων συγχρηματοδοτούμενων έργων από το 4^ο Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης (Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς, ΕΣΠΑ 2007 - 2013), δηλαδή έργα με προϋπολογισμό (Π/Υ) άνω των 25 εκ. ευρώ για περιβαλλοντικά έργα και άνω των 50 εκ. ευρώ για τις λοιπές κατηγορίες έργων (EU Official Journal, 2006).

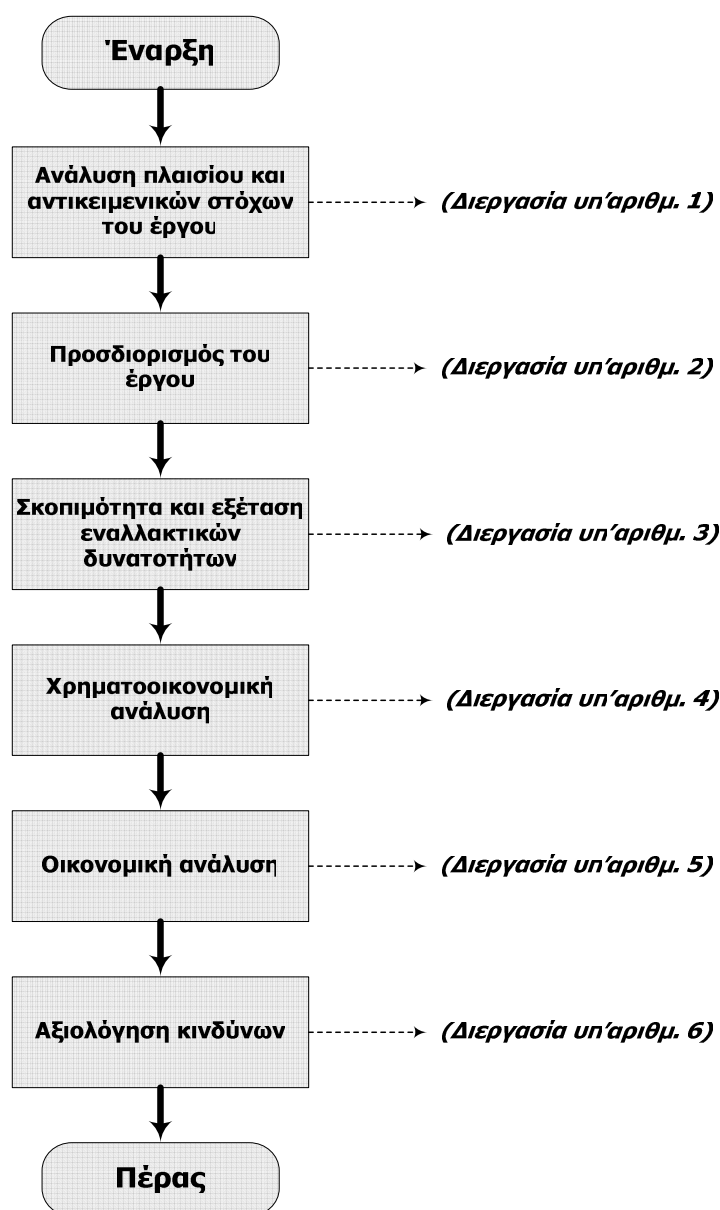
2.4.3 Το βασικό μοντέλο ΑΚΟ

Στη παρούσα παράγραφο, αναλύονται τα στάδια προσέγγισης ενός επενδυτικού έργου και επεξηγούνται τα περιεχόμενά τους, σύμφωνα με τον ισχύοντα οδηγό ΑΚΟ για επενδυτικά έργα της Ε.Ε., καθώς και λοιπές θεωρίες και τεχνικές που περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία. Σύμφωνα με τον παραπάνω οδηγό της Ε.Ε., μία έκθεση προσέγγισης και αξιολόγησης ενός οποιουδήποτε έργου, θα πρέπει να δομείται στα παρακάτω έξι διακριτά βήματα, τα οποία αποτελούν διαφορετικές, πλην όμως συνδεδεμένες διεργασίες, οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια:

- Ανάλυση πλαισίου και αντικειμενικών στόχων του έργου
- Προσδιορισμός του έργου
- Σκοπιμότητα και εξέταση εναλλακτικών δυνατοτήτων
- Χρηματοοικονομική ανάλυση
- Οικονομική ανάλυση
- Αξιολόγηση κινδύνων

Τα παραπάνω αποτελούν τα βασικά βήματα τα οποία πρέπει να εξετάζονται, προκειμένου να προσδιοριστεί με σαφήνεια το πλαίσιο λειτουργίας του έργου και οι αντικειμενικοί στόχοι του, να τεκμηριωθεί η σκοπιμότητα υλοποίησής του, να επιλεγεί κατόπιν σύγκρισης η βέλτιστη εκ των εναλλακτικών δυνατοτήτων, καθώς και να υπολογιστούν οι βασικοί δείκτες αξιολόγησης της επένδυσης και να αναλυθούν οι κίνδυνοι

του έργου με την επίδραση που έχουν στους παραπάνω δείκτες. Μία πλήρης ΑΚΟ περιλαμβάνει υπολογισμούς των δεικτών αξιολόγησης για το σύνολο των επενδυτών που διαθέτουν μέρος του επενδυτικού κεφαλαίου, καθώς και των αντίστοιχων δεικτών που εξετάζουν το έργο προς όφελος του κοινωνικού συνόλου, σε όρους χρηματοοικονομικούς, οικονομικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς. Τα παραπάνω έξι βασικά βήματα, αποτελούν έξι αυτοτελείς διεργασίες, όπου σε έκαστη χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα δεδομένα ως εισερχόμενα, που αλληλεπιδρούν και μετασχηματίζονται σε συγκεκριμένα αποτελέσματα, τα οποία και προσδίδουν την απαραίτητη πληροφορία στον εξεταστή καθώς και στους λήπτες αποφάσεων, περί της υλοποίησης ή όχι του εξεταζόμενου έργου. Οι έξι αυτές διεργασίες έχουν συγκεκριμένη σύνδεση και ροή που εκτελούνται, ενώ στο σύνολό τους αποτελούν τα βασικά τμήματα μίας ΑΚΟ. Το υπόψη διάγραμμα ροής, που περιλαμβάνει το σύνολο των διεργασιών για την ανάπτυξη της ΑΚΟ, παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6. Διάγραμμα ροής διεργασιών που συνιστούν το μοντέλο ΑΚΟ

Γενικότερα, άλλες υφιστάμενες μέθοδοι αξιολόγησης έργων, οι οποίες δύναται να χρησιμοποιηθούν, είναι οι παρακάτω:

- Ανάλυση κόστους αποτελέσματος (Cost-Effectiveness analysis - CEA)
- Πολυκριτήρια ανάλυση (Multi – criteria analysis - MCA)
- Ανάλυση οικονομικού αποτελέσματος (Economic impact analysis EIA)

Οι συγκεκριμένες αναλύσεις έχουν μεγάλη χρησιμότητα κατά το στάδιο αξιολόγησης ενός έργου και ιδίως για τη λήψη απόφασης περί της πρόκρισης της βέλτιστης εναλλακτικής δυνατότητας, καθώς χρησιμοποιούνται κυρίως για τη σύγκριση διαφορετικών έργων. Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι εναλλακτικοί τρόποι υλοποίησης ενός έργου, ουσιαστικά συνιστούν διαφορετικό κάθε φορά έργο, καθώς μεταβάλλεται τουλάχιστον μία εκ των τριών παραμέτρων αυτού, δηλ. το κόστος, ο χρόνος ή το φυσικό αντικείμενο, οι συγκεκριμένες μέθοδοι δύναται να αποτελέσουν τμήματα σε μία ΑΚΟ, κατά τη διεργασία αξιολόγησης των εναλλακτικών δυνατοτήτων, ενώ η μέθοδος ανάλυσης κόστους αποτελέσματος χρησιμοποιείται κυρίως στις περιπτώσεις όπου είναι δύσκολη η αποτίμηση των ωφελειών που θα προκύψουν από την υλοποίηση μίας επένδυσης.

2.4.3.1 Ανάλυση πλαισίου και αντικειμενικών στόχων του έργου

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το πρώτο βασικό βήμα που εκτελείται για τη προσέγγιση ενός έργου, αφορά στην ανάλυση του πλαισίου και των αντικειμενικών στόχων του έργου. Το διάγραμμα ροής της υπόψη διεργασίας υπ' αριθμ. 1, παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα 7.

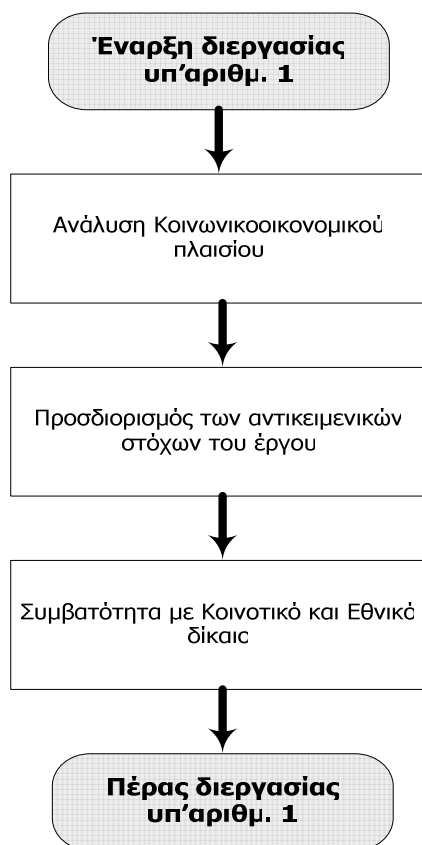
Όπως φαίνεται στο συγκεκριμένο διάγραμμα ροής, αρχικά αναλύεται το κοινωνικοοικονομικό πλαίσιο στο οποίο πρόκειται να υλοποιηθεί το εξεταζόμενο έργο. Στη συνέχεια, προσδιορίζονται και καταγράφονται οι αντικειμενικοί στόχοι που αναμένονται από το έργο και στη συνέχεια περιγράφεται η συμβατότητα του έργου, τόσο όσον αφορά στην υλοποίηση όσο και στη διαδικασία ανάθεσής του, με το Ευρωπαϊκό και το εθνικό δίκαιο.

A) Κοινωνικοοικονομικό πλαίσιο

Η σε βάθος ανάλυση του κοινωνικού και του οικονομικού πλαισίου, στο οποίο θα υλοποιηθεί το έργο, θεωρείται κρίσιμη, καθώς συνδέεται άμεσα με την ανάλυση της ζήτησης των προϊόντων / υπηρεσιών που θα προσφέρει το έργο. Για παράδειγμα, οι προβλέψεις της ζήτησης για ένα έργο υποδομών, θα έχουν διαφορετικά αποτελέσματα, αν η συγκεκριμένη υποδομή θα είναι εθνικής ή διεθνής εμβέλειας.

B) Αντικειμενικοί στόχοι του έργου

Ο προσδιορισμός και η αναλυτική περιγραφή των αντικειμενικών στόχων του έργου, τεκμηριώνει και την ενδεχόμενη κοινωνική επίδραση και ωφέλεια από τη λειτουργία του έργου. Έτσι, θα πρέπει να παρουσιάζεται μία ξεκάθαρη πρόβλεψη επί των στόχων του έργου, όπου η βέλτιστη προσέγγιση είναι η ποσοτική αποτίμησή τους, ώστε να είναι εφικτή τόσο η σχεδίαση όσο και η παρακολούθηση του έργου στη συνέχεια. Χαρακτηριστικά αναφέρεται το παράδειγμα του έργου απορύπανσης μίας περιοχής από απόβλητα, όπου ο



Σχήμα 7. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπ' αριθμ. 1: ανάλυση πλαισίου και αντικειμενικών στόχων του έργου

ζητούμενος αντικειμενικός στόχος του έργου, που είναι η απορύπανση της περιοχής, να ποσοτικοποιείται είτε στην επιθυμητή επιφάνεια σε τετραγωνικά μέτρα, είτε σε όγκο γαιών (κυβικά μέτρα), κτλ. Επιπλέον, θα πρέπει να αναφέρονται και τα αποτελέσματα που αναμένεται ότι θα έχει το έργο σε αύξηση των θέσεων εργασίας, σε περιβαλλοντικές επιπτώσεις (θετικές ή αρνητικές), κτλ.

Γ) Συμβατότητα με κοινοτικό και Εθνικό δίκαιο

Το έργο θα πρέπει να τεκμηριώνει τη συμβατότητά του, αφενός με τη κοινοτική πολιτική, ιδίως στη περίπτωση των συγχρηματοδοτούμενων έργων, αλλά και με τους εθνικούς στόχους. Σε κάθε περίπτωση όμως, απαιτείται η επένδυση να συμμορφούται πλήρως με τις Ευρωπαϊκές οδηγίες και με το υφιστάμενο εθνικό νομικό και κανονιστικό πλαίσιο. Στην υπόψη παράγραφο της ΑΚΟ, θα πρέπει να αναφέρεται ρητώς η εν λόγω συμβατότητα, καθώς και οι νομικοί περιορισμοί, οι οποίοι ενδέχεται να προκύψουν είτε κατά την υλοποίηση είτε κατά τη λειτουργία του έργου.

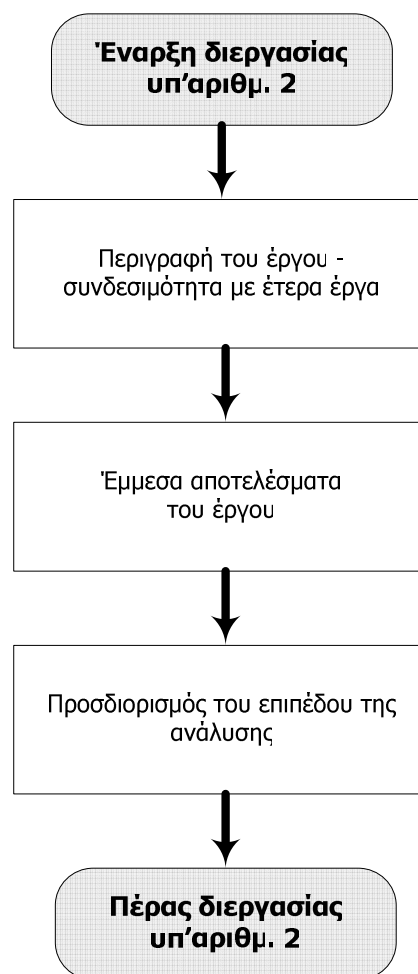
2.4.3.2 Προσδιορισμός του έργου

Το δεύτερο απαραίτητο στοιχείο μίας ΑΚΟ, είναι ο σαφής προσδιορισμός του έργου. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής του επόμενου Σχήματος 8, ο προσδιορισμός ενός έργου, συνίσταται στη περιγραφή του, καθώς και στην εξέταση της συνδεσιμότητάς του

με έτερα υφιστάμενα ή προς υλοποίηση έργα. Επιπλέον, θα πρέπει να αναγνωρίζονται και να καταγράφονται τα έμμεσα αποτελέσματα από την υλοποίηση του έργου, καθώς και να προσδιορίζεται το επίπεδο της εκτελούμενης ανάλυσης του έργου.

A) Περιγραφή του έργου – συνδεσιμότητα με άλλα έργα

Έκαστος αντικειμενικός στόχος του έργου, ο οποίος έχει ήδη αναλυθεί κατά την υπ' αριθμ. 1 διεργασία, θα πρέπει να αποτελεί και μία αυτόνομα εξεταζόμενη μονάδα. Στη συγκεκριμένη παράγραφο, θα πρέπει να αναφέρεται και η ενδεχόμενη κατάτμηση του έργου, για παράδειγμα σε υποέργα, καθώς και η ανάλυση του κύκλου ζωής του, με τον προσδιορισμό του απαιτούμενου χρόνου για την υλοποίηση του έργου. Επιπλέον, θα πρέπει να αναφέρονται και τα ορόσημα του έργου, τα οποία αποτελούν τα σημαντικά σημεία του έργου που συνδέονται με την ολοκλήρωση μίας φάσης ή την ολοκλήρωση συγκεκριμένων παραδοτέων του έργου και αποτελούν αντικειμενικά επαληθεύσιμα στοιχεία ελέγχου της προόδου και της εξέλιξης αυτού. Η ενδεχόμενη συνδεσιμότητα του έργου με λοιπές δράσεις θα πρέπει επίσης να αναλύεται, στη περίπτωση που το εξεταζόμενο είναι ένα κομμάτι ενός ευρύτερου έργου, προκειμένου να επεξηγηθούν οι επιπτώσεις, θετικές ή αρνητικές, οι οποίες θα υπολογιστούν στη συνέχεια.



Σχήμα 8. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπ' αριθμ. 2: προσδιορισμός του έργου

B) Έμμεσα αποτελέσματα του έργου

Στο συγκεκριμένο σημείο, θα πρέπει να υπολογίζονται και να αναλύονται κατά κύριο λόγο, όλα τα έμμεσα αποτελέσματα που θα επιφέρει η υλοποίηση και λειτουργία του έργου σε πρωτογενείς αγορές, ενώ αντίστοιχα θα πρέπει να παραλείπονται οι επιπτώσεις στις αντίστοιχες δευτερογενείς αγορές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελέσματος σε πρωτογενή αγορά, είναι η κατασκευή ενός νέου οδικού άξονα, η λειτουργία του οποίου θα επηρεάσει τη κίνηση του παράλληλου σιδηροδρομικού δικτύου, οπότε θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην ΑΚΟ, πλην όμως η επίδραση που θα έχει στην αύξηση της τουριστικής κίνησης μίας περιοχής, η οποία αποτελεί δευτερογενή αγορά, δεν θα πρέπει να προσμετράται. Σε κάθε περίπτωση όμως, θα πρέπει να καταγράφονται και να εκτελούνται προβλέψεις επί των αποτελεσμάτων του έργου στις υφιστάμενες υποδομές και στα δίκτυα εξυπηρέτησης του κοινωνικού συνόλου.

Γ) Προσδιορισμός του επιπέδου της ανάλυσης

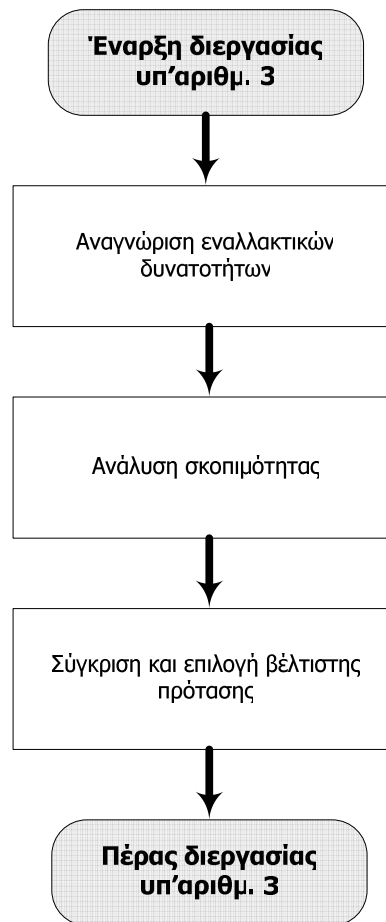
Η διεργασία προσδιορισμού του έργου, περιλαμβάνει τον ορισμό του επιπέδου στο οποίο εκτελείται η συγκεκριμένη ΑΚΟ, δηλ. αν αφορά σε τοπικό, σε εθνικό, σε κοινοτικό ή σε παγκόσμιο επίπεδο. Χαρακτηριστικά αναφέρεται, ότι τα αναμενόμενα έσοδα από την υλοποίηση μίας επένδυσης, τα οποία υπολογίζονται στη χρηματοοικονομική ανάλυση αυτής, θα είναι τελείως διαφορετικά εάν η ΑΚΟ λογίζεται αποκλειστικά σε τοπικό ή αντίστοιχα και σε διεθνές επίπεδο. Περαιτέρω, ο προσδιορισμός του επιπέδου της ανάλυσης, χρησιμοποιείται τόσο για την αναγνώριση των επιπτώσεων που θα προκύψουν από την υλοποίηση του έργου, όπως για παράδειγμα οι επιπτώσεις στη τοπική οικονομία, ή οι αντίστοιχες επιπτώσεις στις εισαγωγές και τις εξαγωγές σε εθνικό επίπεδο, οι οποίες θα ληφθούν υπόψη κατά την οικονομική ανάλυση, όσο και για την αναγνώριση των μετεχόντων (stakeholders) του έργου, οι οποίοι θα επηρεαστούν άμεσα ή έμμεσα από το έργο.

2.4.3.3 Σκοπιμότητα και εξέταση εναλλακτικών δυνατοτήτων

Η επόμενη διεργασία υπ' αριθμ. 3, αφορά στη σκοπιμότητα και την εξέταση των εναλλακτικών δυνατοτήτων του έργου. Αρχικά, απαραίτητη διαδικασία είναι η αναγνώριση και η καταγραφή όλων των εναλλακτικών δυνατοτήτων υλοποίησης του έργου. Στη συνέχεια, αναλύεται η σκοπιμότητα του έργου, ενώ στο τέλος συγκρίνονται οι εναλλακτικές δυνατότητες και επιλέγεται η βέλτιστη πρόταση. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, κατά τη διαδικασία της σύγκρισης εναλλακτικών τρόπων υλοποίησης του έργου, δύναται να χρησιμοποιηθούν οι μέθοδοι της ανάλυσης κόστους αποτελέσματος, ή η πολυκριτήρια ανάλυση και η ανάλυση οικονομικού αποτελέσματος. Το διάγραμμα ροής της συγκεκριμένης διεργασίας υπ' αριθμ. 3, παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα 9.

A) Αναγνώριση εναλλακτικών δυνατοτήτων

Κατά την αναγνώριση των εναλλακτικών δυνατοτήτων, χρησιμοποιούνται οι αντικειμενικοί στόχοι του έργου, που έχουν αναλυθεί στη προηγούμενη διεργασία υπ' αριθμ. 2 και αναλύεται το εύρος των μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να



Σχήμα 9. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπ' αριθμ. 3: ανάλυση σκοπιμότητας και εξέταση εναλλακτικών δυνατοτήτων

επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί. Χαρακτηριστικά παραδείγματα υπολογισμού του εύρους, αναφέρονται παρακάτω:

- Κατά την αξιολόγηση ενός έργου μεταφορών, θα πρέπει να εξετάζεται η διαφορετική οδευση, ή οι διαφορετικοί τεχνικοί μέθοδοι υλοποίησης, ή οι διαφορετικοί χρόνοι υλοποίησης του έργου
- Κατά την αξιολόγηση της ανάπτυξης υποδομών περίθαλψης υγείας, θα πρέπει να εξετάζεται και να προτιμάται η κατασκευή μεγάλων νοσοκομειακών μονάδων, ενώ θα πρέπει να αποφεύγεται η διάψασή του σε διαφορετικές τοπικές κλινικές.
- Κατά την αξιολόγηση της τοποθεσίας εγκατάστασης ενός εργοστασίου παραγωγής, θα πρέπει να εξετάζεται και να προτιμάται η τοποθεσία εκείνη, η οποία βρίσκεται εγγύτερα στους καταναλωτές, έναντι μίας άλλης τοποθεσίας η οποία θα βρίσκεται εγγύτερα στους προμηθευτές.
-

Το σημαντικότερο όμως στοιχείο που πρέπει να περιλαμβάνεται, είναι η προσέγγιση και η αναφορά στα βασικά σενάρια, δηλ. το σενάριο χωρίς το έργο (Business as Usual - BAU) και το σενάριο με το έργο. Τα βασικά αυτά σενάρια, δύναται να αναλυθούν και περαιτέρω, όπως παρακάτω:

- Το σενάριο «καμία επέμβαση» (πράττειν ουδέν) (do nothing scenario), όπου οι υπάρχουσες υποδομές δεν σταματούν τη λειτουργία τους, αλλά δεν εκτελείται καμία επιπλέον επένδυση.
- Το σενάριο «μερική επέμβαση» (πράττειν το ελάχιστο) (do minimum scenario), το οποίο περιλαμβάνει γενικότερα την επίτευξη των αποτελεσμάτων με το χαμηλότερο δυνατό κόστος, π.χ. η μερική επέμβαση σε υπάρχοντες υποδομές και λειτουργίες, παράλληλα με τις συντηρήσεις, κτλ. Εντούτοις, η συγκεκριμένη εναλλακτική δυνατότητα δεν είναι η πάντα η ωφελιμότερη, καθώς μία προσκαιρη εξοικονόμηση πόρων, μπορεί στο μέλλον να αποδειχθεί περισσότερο δαπανηρή.
- Το/τα σενάριο/α «ολική επέμβαση» (do something scenario), τα οποία περιλαμβάνουν την εξέταση της κατάστασης με την υλοποίηση του έργου και βασίζονται σε διαφορετικές τεχνικές, ρυθμιστικές και διαχειριστικές λύσεις.

B) Ανάλυση σκοπιμότητας

Ένα έργο είναι σκόπιμο να υλοποιηθεί, όταν η σχεδιάσή του περιλαμβάνει τεχνικές, νομικές, χρηματοοικονομικές και λοιπές διατάξεις, οι οποίες είναι συμβατές με το υφιστάμενο πλαίσιο στο οποίο εκτελείται. Η τεκμηρίωση της σκοπιμότητας υλοποίησης αποτελεί μία γενική απαίτηση για όλα τα εξεταζόμενα έργα και πρέπει να εκτελείται με μεγάλη προσοχή, ενώ είναι εφικτό να αποδεικνύεται η σκοπιμότητα αρκετών εναλλακτικών δυνατοτήτων που έχουν αναγνωριστεί σύμφωνα με τη προηγούμενη παράγραφο.

Οι τυπικές εκθέσεις σκοπιμότητας για μεγάλα επενδυτικά έργα, αποτελούν αυτοτελείς μελέτες, οι οποίες περιλαμβάνουν την ανάλυση της ζήτησης, την ανάλυση της τεχνολογικής επάρκειας, την ανάπτυξη σχεδίου παραγωγής, τη πρόβλεψη των απαιτήσεων σε ανθρώπινους πόρους, το σχέδιο διαχείρισης του έργου (τοποθεσία, χρονοδιάγραμμα υλοποίησης, ανάλυση των εργασιών και χρηματοοικονομικό σχέδιο), καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Γ) Σύγκριση και επιλογή βέλτιστης πρότασης

Ύστερα από την αναγνώριση και τεκμηρίωση της σκοπιμότητας των εναλλακτικών δυνατοτήτων, επιβάλλεται η πρόκριση της βέλτιστης επενδυτικής πρότασης, για την οποία στη συνέχεια θα εκτελεστούν οι λοιπές διεργασίες της ΑΚΟ. Ο οδηγός της Ε.Ε., προτείνει την εκτέλεση απλοποιημένων ΑΚΟ για τις συγκρινόμενες εναλλακτικές δυνατότητες, με τη βαθμολόγηση αυτών, ώστε να υφίσταται αντικειμενική τεκμηρίωση για τη πρόκριση της βέλτιστης πρότασης. Στη προκειμένη περίπτωση, είναι δυνατή και η χρησιμοποίηση επιπλέον μεθόδων αξιολόγησης, οι οποίοι αναφέρθηκαν παραπάνω, ενώ ειδικότερα προτείνεται ότι η εναλλακτική δυνατότητα του σεναρίου καμίας επέμβασης (BAU), μπορεί να αποκλείεται εξ αρχής και να χαρακτηρίζεται το υπόψη σενάριο ως καταστροφικό, καθώς ενδέχεται να έχει αρνητικές συνέπειες τόσο για τις υφιστάμενες υποδομές, όσο και για το κοινωνικό σύνολο.

2.4.3.4 Χρηματοοικονομική ανάλυση

Ο κύριος σκοπός της χρηματοοικονομικής ανάλυσης ενός έργου, είναι η πρόβλεψη των μελλοντικών ταμειακών ροών, ώστε να υπολογιστούν οι καθαροί δείκτες αποπληρωμής της επένδυσης. Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται κατά τη χρηματοοικονομική

ανάλυση, είναι η χρηματοοικονομική καθαρή παρούσα αξία (ΧΚΠΑ) (Financial Net Present Value – FNPV) και ο χρηματοοικονομικός συντελεστής εσωτερικής απόδοσης της επένδυσης (ΧΣΑ) (Financial Internal Rate of Return – FRR). Η μέθοδος που ακολουθείται, είναι η ανάλυση προεξοφλημένων ροών (discount cash flow approach - DCF), η οποία λαμβάνει υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος (βλ. παρ. 2.3 της Διατριβής). Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης μεθόδου, είναι απαραίτητο να εκτελεστούν εξαρχής ορισμένες παραδοχές:

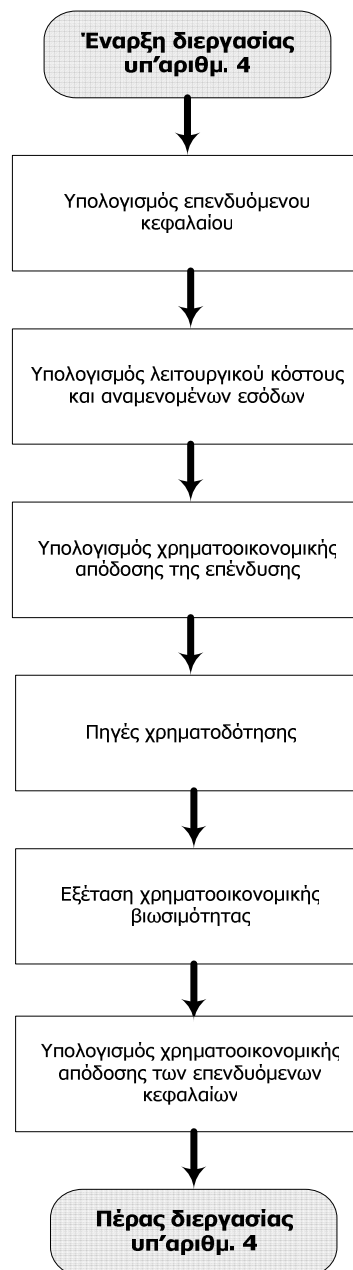
- Οι χρηματικές ροές οι οποίες θα προκύψουν σε διαφορετικά έτη, ασχέτως αν θα ακολουθούν κάποιο επιτόκιο αναγωγής, όπως για παράδειγμα το πληθωρισμό, θα προσαρμόζονται στη παρούσα αξία τους, με τη χρήση του ίδιου προεξοφλητικού επιτοκίου.
- Θα λαμβάνονται υπόψη μόνο οι χρηματικές εισροές και εκροές της επένδυσης, οπότε οι αποσβέσεις και υποτιμήσεις παγίων στοιχείων, οι κρατήσεις, καθώς και έτερα λογιστικά εργαλεία δε θα χρησιμοποιούνται.

Το διάγραμμα ροής της συγκεκριμένης διεργασίας υπ' αριθμ.4, παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα 10, από όπου φαίνεται ότι αποτελείται από 6 διαφορετικές διαδικασίες. Αρχικά υπολογίζεται το απαραίτητο επενδύσιμο κεφάλαιο για την υλοποίηση του έργου, στη συνέχεια υπολογίζεται το λειτουργικό κόστος του έργου και εκτελούνται οι απαραίτητες προβλέψεις της ζήτησης, ώστε να προκύψουν τα αναμενόμενα έσοδα, υπολογίζεται η χρηματοοικονομική απόδοση της επένδυσης, εξετάζονται οι πηγές χρηματοδότησης και τα καταρτιζόμενα χρηματοδοτικά σχήματα, αξιολογείται η χρηματοοικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης και τελικά υπολογίζεται η χρηματοοικονομική απόδοση για το σύνολο των κεφαλαίων που χρησιμοποιούνται στην εξεταζόμενη επένδυση.

Η πρώτη βασική ενέργεια είναι ο καθορισμός του χρονικού ορίζοντα για τον οποίο εξετάζεται το έργο, δηλ. το μέγιστο χρονικό διάστημα για το οποίο εκτελούνται οι προβλέψεις της χρηματοοικονομικής ανάλυσης. Για την προγραμματική περίοδο 2007-2013, η Ε.Ε. προτείνει ο χρονικός ορίζοντας για επενδυτικά έργα στους τομείς της ενέργειας, των αυτοκινητοδρόμων και των λιμένων και αεροδρομίων να είναι τα 25 έτη, για επενδύσεις που αφορούν στους τομείς της ύδρευσης, του περιβάλλοντος και των σιδηροδρομικών δικτύων να είναι τα 30 έτη, ενώ οι αντίστοιχοι χρονικοί ορίζοντες για τα βιομηχανικά έργα να είναι τα 10 έτη και για τα έργα που υλοποιούνται τους τομείς τηλεπικοινωνιών και τους λοιπούς τομείς τα 15 έτη. Οι παραπάνω χρονικοί ορίζοντες δεν είναι δεσμευτικοί, πλην όμως αποτελούν μία βάση για τους εξεταστές των έργων, καθώς συμβαδίζουν με τη τεχνολογική απαξίωση των υλοποιούμενων κάθε φορά υποδομών και εγκαταστάσεων.

A) Συνολικό επενδύσιμο κεφάλαιο

Το συνολικό επενδύσιμο κεφάλαιο αποτελείται από τις πάγιες επενδύσεις για τη κατασκευή των απαραίτητων εγκαταστάσεων, όπως είναι η αγορά του γηπέδου, η κατασκευή των κτιριακών υποδομών, η προμήθεια του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, η προμήθεια ειδικού εξοπλισμού, κτλ. Η υπολειμματική αξία τόσο των υλοποιούμενων εγκαταστάσεων, όσο και του εξοπλισμού, περιλαμβάνεται στο συνολικό επενδύσιμο κεφάλαιο και προσμετράται στις ετήσιες χρηματοροές κατά το τελευταίο έτος του χρονικού ορίζοντα εξέτασης της επένδυσης, όπου εμφανίζεται με θετικό ή αρνητικό πρόσημο, λογιζόμενη ως εισροή για τον πελάτη ή εκροή για τον επενδυτή αντίστοιχα.



Σχήμα 10. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπ' αριθμ. 4: Χρηματοοικονομική ανάλυση

Στο συνολικό επενδύμενο κεφάλαιο, περιλαμβάνονται επίσης και οι αρχικές δαπάνες, όπως οι αμοιβές της μελέτης σκοπιμότητας, των υπηρεσιών συμβούλων, των τεχνικών μελετών, των αδειοδοτήσεων, καθώς και διάφορα έξοδα που παρουσιάζονται κατά τη φάση της κατασκευής, όπως τα έξοδα εκπαίδευσης και κατάρτισης, οι απαραίτητες πιστοποιήσεις, κλπ.

B) Συνολικό λειτουργικό κόστος και έσοδα

Στο λειτουργικό κόστος της επένδυσης, περιλαμβάνονται τα έξοδα παραγωγής, τα έξοδα μισθοδοσίας του προσωπικού, τα έξοδα παροχής ενέργειας, δηλ. του ηλεκτρισμού, των συστημάτων ψύξης – θέρμανσης, των επικοινωνιών, τα έξοδα συντήρησης των

εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού, είτε πρόκειται για προληπτική είτε για επισκευαστική. καθώς και τα διαχειριστικά έξοδα. Για τα έργα που παράγουν έσοδα, πρέπει να εκτελούνται προβλέψεις επί των ετήσιων εσόδων από τη λειτουργία του έργου, σύμφωνα με τις αναμενόμενες πωλήσεις και τις τιμές των προϊόντων και των υπηρεσιών.

Γ) Χρηματοοικονομική απόδοση επένδυσης

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στη διαδικασία υπολογισμού της απόδοσης που αναμένεται να έχει η εξεταζόμενη επένδυση, χρησιμοποιείται η μέθοδος των προεξοφλημένων ροών, για τον υπολογισμό των δεικτών της ΧΚΠΑ και του ΧΣΑ, σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$\begin{aligned}
 \text{ΧΚΠΑ} &= \sum_{t=0}^v (\text{συντελεστής προεξόφλησης})_t \times (\text{χρηματοροές})_t \Leftrightarrow \\
 \text{ΧΚΠΑ} &= \frac{(\text{Ροές έτους } 0)}{(1+i)^0} + \frac{(\text{Ροές } 1\text{ου έτους})}{(1+i)^1} + \frac{(\text{Ροές } 2\text{ου έτους})}{(1+i)^2} + \dots + \frac{(\text{Ροές έτους } v)}{(1+i)^v} \quad (2.8)
 \end{aligned}$$

Όπου: Ροές = διαφορά εισροών μείον τις αντίστοιχες εκροές που εμφανίζονται κατά το ίδιο έτος και ο δείκτης (i) ονομάζεται προεξοφλητικό επιτόκιο και χρησιμοποιείται για την αναγωγή των μελλοντικών χρηματοροών στη Παρούσα Αξία τους (βλ. Παράρτημα Γ της παρούσας Διατριβής). Αντίστοιχα, η μαθηματική σχέση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τιμής του δείκτη ΧΣΑ, είναι η παρακάτω:

$$\text{ΧΚΠΑ} = \sum_{t=0}^v \frac{\text{Ροές}}{(1 + \text{ΧΣΑ})^t} = 0 \quad (2.9)$$

Εκτενέστερη ανάλυση των υπόψη δεικτών, παρουσιάζεται στους Αραβώσης κ.α.α, (2012). Ειδικότερα, η χρηματοοικονομική απόδοση της επένδυσης, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ενδεχόμενης έλλειψης χρηματοδότησης του έργου και συγκεκριμένα ερευνά αν τα αναμενόμενα από τη κατασκευή και λειτουργία του έργου έσοδα, επαρκούν για να καλύψουν τις προβλεπόμενα έξοδα του έργου. Στη περίπτωση που τεκμηριώνεται ότι τα έσοδα δεν επαρκούν, τότε θα πρέπει να εξεταστούν εναλλακτικές πηγές χρηματοδότησης του έργου, όπως αναλύεται παρακάτω.

Δ) Πηγές χρηματοδότησης

Στη συγκεκριμένη παράγραφο, καταγράφονται αναλυτικά όλες οι πηγές που θα χρηματοδοτήσουν την εξεταζόμενη επένδυση, καθώς ενδέχεται να συμμετάσχουν κεφάλαια προερχόμενα από διαφορετικές πηγές, είτε λόγω ανεπάρκειας μονομερούς χρηματοδότησης, είτε λόγω δυνατότητας κάλυψης μέρους αυτής μέσω άλλων πηγών, όπως π.χ. με την ένταξη του έργου σε αναπτυξιακό νόμο. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η περίπτωση των συγχρηματοδοτούμενων έργων, τα οποία κατά το πρότυπο ΕΛΟΤ 1429 ορίζονται ως (ΕΛΟΤ,2008):

«τα έργα τα οποία χρηματοδοτούνται από εθνικούς και κοινοτικούς πόρους»

Στα έργα αυτά, οι απαιτούμενοι χρηματικοί πόροι για την υλοποίησή τους, προέρχονται κυρίως από την κοινότητα, ενώ το υπολοιπόμενο μέρος του κεφαλαίου καλύπτεται από εθνική συμμετοχή. Το ακριβές ποσοστό αυτής της κατηγορίας, υπολογίζεται κατά περίπτωση, π.χ. αν το έργο παράγει ή όχι έσοδα και αναφέρεται αναλυτικά στα παραρτήματα του οδηγού της Ε.Ε.. Άλλες πηγές χρηματοδότησης μπορεί να είναι από εθνικούς πόρους, μέσω επιδότησης που δύναται να λάβει το έργο από το κράτος, καθώς και από εθνικό ιδιωτικό κεφάλαιο, όπου περιλαμβάνονται οι κατηγορίες των συμβάσεων συνεργασίας, δηλ. οι συμβάσεις παραχώρησης και οι ΣΔΙΤ, ή μέσω δανείων από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων ή έτερους φορείς. Ο προσδιορισμός των κεφαλαίων που συμμετέχουν και ο υπολογισμός των ποσοστών συμμετοχής που έκαστος συνεισφέρει, είναι ιδιαίτερα σημαντικός, καθώς είναι ένα απαραίτητο δεδομένο, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στην αξιολόγηση της χρηματοοικονομικής απόδοσης των κεφαλαίων αυτών, όπως αναλύεται στις επόμενους παραγράφους.

Ε) Χρηματοοικονομική βιωσιμότητα

Η βιωσιμότητα ενός έργου επιτυγχάνεται, όταν περιορίζεται ο κίνδυνος της έλλειψης ρευστότητας στο μέλλον. Η εξέταση επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό των συνολικών ετήσιων ταμειακών ροών, όπου υπολογίζεται ως η διαφορά του συνόλου των εισροών με τις αντίστοιχες εκροές. Η εν λόγω διαφορά, η οποία τεκμηριώνεται μέσω του πίνακα υπολογισμών σε λογιστικό φύλλο, θα πρέπει να είναι θετική καθόλη τη διάρκεια του χρονικού ορίζοντα που εξετάζεται το έργο, προκειμένου να τεκμηριώνει ότι το έργο είναι βιώσιμο και δεν θα χρειαστεί η περαιτέρω χρηματοδότησή του κατά τον κύκλο ζωής αυτού. Επιπλέον, ο εξεταστής θα πρέπει να συγκρίνει τις προκύπτουσες ετήσιες ταμειακές ροές και να αναφέρει το έτος όπου εμφανίζονται οι λιγότερες θετικές χρηματοροές, προκειμένου να ληφθεί υπόψη κατά την αξιολόγηση των κινδύνων του έργου.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αξιολόγησης της χρηματοοικονομικής βιωσιμότητας σε δύο διαφορετικά έργα, παρουσιάζεται παρακάτω. Θεωρούνται οι ετήσιες χρηματοροές των έργων "Α" και "Β", όπως στον επόμενο Πίνακα 5.

Όπως φαίνεται, για το έργο "Α" προκύπτει μεγαλύτερη τιμή στο δείκτη της ΧΚΠΑ έναντι του "Β", καθώς και μεγαλύτερη τιμή στο δείκτη του ΧΣΑ. Εντούτοις, το έργο "Α" θα πρέπει να αξιολογείται ως μη βιώσιμο χρηματοοικονομικά, ενώ το "Β" ως βιώσιμο αντίστοιχα. Αυτό προκύπτει σύμφωνα με τις χρηματοροές που περιλαμβάνονται στον Πίνακα 5. Όπως φαίνεται, για το έργο "Α" υφίσταται αρνητικό πρόσημο στις ετήσιες χρηματοροές και συγκεκριμένα στο δεύτερο έτος της επένδυσης, σε αντίθεση με το έργο "Β", για το οποίο οι ετήσιες χρηματοροές είναι θετικές στο σύνολο των ετών που συνιστούν το χρονικό ορίζοντα της επένδυσης. Περαιτέρω, ο εξεταστής θα πρέπει να λάβει υπόψη του το έτος με τη μικρότερη τιμή θετικών χρηματοροών για το έργο "Β", το οποίο σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 5, προκύπτει κατά το 1^ο έτος του χρονικού ορίζοντα της επένδυσης.

ΣΤ) Χρηματοοικονομική απόδοση κεφαλαίου

Η τελευταία διαδικασία που περιλαμβάνεται στη διεργασία της χρηματοοικονομικής ανάλυσης, είναι ο υπολογισμός της χρηματοοικονομικής απόδοσης των κεφαλαίων που συμμετέχουν στο έργο. Σύμφωνα με τον οδηγό της Ε.Ε., υπολογίζονται οι βασικοί δείκτες

Πίνακας 5. Ετήσιες χρηματοροές έργων "Α" και "Β"

Έτη	Έργο "Α"	Έργο "Β"
0	-35.000	-35.000
1	+ 10.000	(+ 2.000)
2	(- 5.000)	+ 10.000
3	+ 10.000	+ 10.000
4	+ 15.000	+ 10.000
5	+ 20.000	+ 15.000
ΧΚΠΑ	+ 5.081	+ 3.200
ΧΣΑ	10,11%	8,82%

αξιολόγησης της επένδυσης, δηλ. η ΧΚΠΑ και ο ΧΣΑ, για την αξιολόγηση της απόδοσης των παρακάτω κεφαλαίων:

- Εθνικό Κεφάλαιο (το εγχώριο κεφάλαιο που προέρχεται είτε από δημόσιους είτε από ιδιωτικούς φορείς)
- Δημόσιο κεφάλαιο (προερχόμενο από δημόσιο ταμείο σε τοπικό επίπεδο)
- Ιδιωτικό κεφάλαιο (το ίδιο κεφάλαιο του ιδιώτη επενδυτή, όπως συμβαίνει στις συμβάσεις έργων συνεργασίας του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα)

Για τους υπολογισμούς της απόδοσης των παραπάνω κεφαλαίων, χρησιμοποιούνται οι δείκτες της ΧΚΠΑ και του ΧΣΑ, πλην όμως αλλάζει ο συμβολισμός τους, ανάλογα με έκαστη εξεταζόμενη πηγή διάθεσης κεφαλαίου.

Ειδικότερα στα συγχρηματοδοτούμενα από τη κοινότητα έργα, εκτελείται ο υπολογισμός της απόδοσης του κεφαλαίου που αποτελεί την εθνική συμμετοχή στο εξεταζόμενο έργο, οπότε η κοινοτική χρηματοδότηση δεν προσμετράται, ενώ οι συγκεκριμένοι δείκτες αξιολόγησης συμβολίζονται ως ΧΚΠΑ (Κ) και ΧΣΑ (Κ) αντίστοιχα.

Περαιτέρω, στον υπολογισμό της απόδοσης του ιδιωτικού κεφαλαίου από μία εξεταζόμενη επένδυση, η οποία υλοποιείται μέσω σύμβασης συνεργασίας, δηλ. μέσω σύμβασης παραχώρησης ή ΣΔΙΤ, και το κεφάλαιο, μερικό ή ολικό, που διατίθεται για τη χρηματοδότηση του έργου προέρχεται από ιδιωτικούς πόρους, οι έτερες πηγές χρηματοδότησης (π.χ. συγχρηματοδότηση από την Ε.Ε. ή ενίσχυση από εθνικούς πόρους), δεν προσμετράται. Για τη περίπτωση αυτή, στους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη τόσο τα έξοδα, όσο και τα έσοδα που βαρύνουν αποκλειστικά τον ιδιώτη επενδυτή, όπως για παράδειγμα η αποπληρωμή του δανειζόμενου κεφαλαίου σε τραπεζικό φορέα λογίζεται στις εκροές, ενώ οι δείκτες απόδοσης του ιδιωτικού κεφαλαίου στην επένδυση, συμβολίζονται με ΧΚΠΑ (Κρ) και ΧΣΑ (Κρ) αντίστοιχα.

Επιπλέον, οι δείκτες αξιολόγησης της απόδοσης του ίδιου δημόσιου κεφαλαίου που επενδύονται σε ένα έργο, συμβολίζονται με ΧΚΠΑ (Κg) και ΧΣΑ (Κg). Οι συγκεκριμένοι

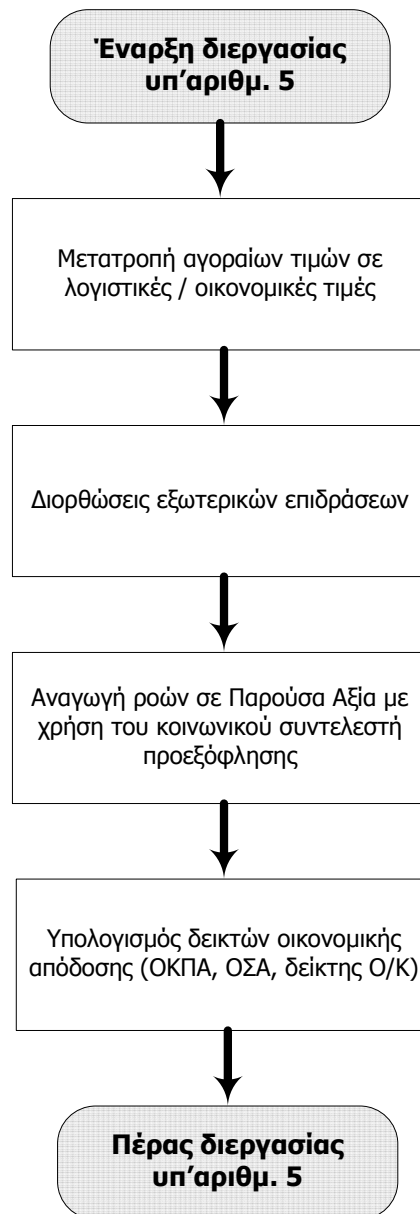
δείκτες, επίσης δεν λαμβάνουν υπόψη τις έτερες πηγές χρηματοδότησης, όπως η συγχρηματοδότηση από τη κοινότητα, η επιχορήγηση από εθνικό ταμείο, ή η επένδυση ιδιωτικού κεφαλαίου. Αντιθέτως, στους υπολογισμούς των δεικτών αυτών προσμετράται η απόδοση μόνο του κεφαλαίου που προέρχεται από το ταμείο του δημόσιου φορέα, ο οποίος επενδύει και λαμβάνει μέρος των εσόδων του έργου.

2.4.3.5 Οικονομική ανάλυση

Η οικονομική ανάλυση αξιολογεί τη συμβολή του έργου στην οικονομική ευημερία της περιφέρειας ή χώρας, οπότε και διανεργείται για λογαριασμό ολόκληρης της κοινωνίας και όχι για λογαριασμό των εκάστοτε επενδυτών και ιδιοκτητών των υποδομών που κατασκευάζονται και λειτουργούν μέσω του έργου, όπως συμβαίνει με τη χρηματοοικονομική ανάλυση. Η μέθοδος που ακολουθείται, είναι η μετατροπή των αγοραίων τιμών της χρηματοοικονομικής ανάλυσης σε λογιστικές τιμές, η συνεκτίμηση των εξωτερικών επιδράσεων που επιφέρουν κοινωνικό κόστος ή όφελος και δεν λαμβάνονται υπόψη στη χρηματοοικονομική ανάλυση καθώς δεν δημιουργούν δημοσιονομικές δαπάνες ή έσοδα, όπως για παράδειγμα οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η αναγωγή των ροών σε παρούσα αξία με τη χρήση του κοινωνικού συντελεστή προεξόφλησης και ο υπολογισμός των οικονομικών δεικτών αξιολόγησης της επένδυσης. Το διάγραμμα ροής της συγκεκριμένης διεργασίας υπ' αριθμ. 5 παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα 11.

A) Μετατροπή αγοραίων τιμών σε λογιστικές

Η διόρθωση των τιμών εκτελείται όταν οι πραγματικές τιμές των εισροών ή των εκροών νοθεύονται από ατέλειες της αγοράς, όπως για παράδειγμα όταν υφίστανται μονοπώλια ή εξωτερικές οικονομίες, καθώς και όταν οι μισθοί δεν συνδέονται με τη παραγωγικότητα της εργασίας ή όταν το κράτος καθορίζει τιμές για δημόσιες υπηρεσίες οι οποίες δεν αντανakλούν στο κόστος. Οι κυριότερες επιπτώσεις που προκαλούν οι ατέλειες των αγορών, είναι η δημιουργία στρεβλώσεων, ώστε οι τιμές της αγοράς δεν απεικονίζουν το πραγματικό κοινωνικό κόστος και όφελος που προκύπτει από τη παραγωγή και κατανάλωση μίας μονάδας αγαθών και υπηρεσιών. Η διόρθωση των υπόψη στρεβλώσεων, προκειμένου να αποτιμηθεί η συνεισφορά του έργου στη κοινωνική ευημερία, υλοποιείται μέσω της μετατροπής των αγοραίων τιμών στις αντίστοιχες λογιστικές τιμές (accounting prices), οι οποίες στη βιβλιογραφία συναντώνται και ως οικονομικές (economic) ή σκιώδεις (shadow) τιμές. Έτσι, χρησιμοποιούνται οι συντελεστές μετατροπής (ΣΜ), (Conversion Factors – CF), οι οποίοι είναι κάποιες συγκεκριμένες σταθερές, οι οποίες χρησιμοποιούνται στη πράξη για τη μετατροπή των εγχώριων τιμών αγοράς ενός στοιχείου στις ισοδύναμες οικονομικές τιμές συνόρων (Μέργος, 2006). Γενικότερα, υφίστανται 3 κατηγορίες ΣΜ για την υλοποίηση της οικονομικής ανάλυσης: οι ειδικοί που αφορούν σε συγκεκριμένα αγαθά, οι κλαδικό για ομάδες αγαθών με κοινά στοιχεία και οι γενικοί για το σύνολο της οικονομίας. Η ακριβής αποτίμηση του συντελεστή μετατροπής για οποιοδήποτε αγαθό, περιλαμβάνει τους αρχικούς υπολογισμούς της διεθνής τιμής του αγαθού, των τιμών φόρων και των τιμών της εργασίας, για αμφότερες τις περιπτώσεις της αγοράίας και της λογιστικής τιμής. Ένα παράδειγμα υπολογισμού, δίνεται στον παρακάτω Πίνακα 6:



Σχήμα 11. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπ' αριθμ. 5: Οικονομική ανάλυση

Πίνακας 6. Υπολογισμοί για το συντελεστή μετατροπής ενός αγαθού

Αγαθό			
Τιμή Αγοράς		Λογιστική Τιμή	
Διεθνής τιμή	400	Διεθνής τιμή	400
Φόρος	100	Φόρος	0
Εργασία	300	Εργασία	240
Σύνολο	800	Σύνολο	640

Οι υπολογισμοί αυτοί, χρησιμοποιούνται ως εισερχόμενα στη παρακάτω σχέση:

$$(\text{Λογιστική Τιμή}) = (\text{Συντελεστής Μετατροπής}) \times (\text{Τιμή Αγοράς})$$

Στη συγκεκριμένο παράδειγμα, υπολογίζεται:

$$640 = \Sigma M \times 800, \text{ οπότε: } \Sigma M = 640 / 800 = 0,8$$

Εντούτοις, η παραπάνω μέθοδος του αναλυτικού υπολογισμού σε έκαστο ΣM , αποτελεί μία αρκετά χρονοβόρα διαδικασία και εκτελείται συνήθως στις περιπτώσεις μεγάλων αναπτυξιακών έργων. Περαιτέρω, υφίσταται και ο Γενικός Συντελεστής Μετατροπής ($\Gamma \Sigma M$), ο οποίος προκύπτει από το πηλίκο της επίσημης συναλλαγματικής ισοτιμίας με την οικονομική συναλλαγματική ισοτιμία (Μέργος, 2006). Ο υπόψη συντελεστής καταδεικνύει τον βαθμό επέμβασης της χώρας στο εξωτερικό της εμπόριο και τη διαφοροποίηση των εγχώριων από τις διεθνείς τιμές. Ο $\Gamma \Sigma M$ προκύπτει από κατάλληλους υπολογισμούς, σύμφωνα με τη παρακάτω σχέση:

$$\Gamma \Sigma M = (M + X) / [(M + T_m) + (X - T_x)] \quad (2.10)$$

, όπου:

M = συνολικές εισαγωγές

T = συνολικές εξαγωγές

T_m = φόροι εισαγωγών

T_x = φόροι εξαγωγών.

Πρακτικά, προτείνεται ότι στις περιπτώσεις που δεν καθορίζεται συγκεκριμένη τιμή του $\Gamma \Sigma M$ σε εθνικό επίπεδο, τότε αυτός να λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα, δηλ. $\Gamma \Sigma M = 1$ ή τιμή ίση με 0,96, σύμφωνα με την αντίστοιχη τιμή των πρακτικών παραδειγμάτων που περιλαμβάνει ο οδηγός ΑΚΟ της Ε.Ε. Ειδικότερα για την ανειδίκευτη εργασία, ο ΣM της υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$SW = FW \times (1-u) \times (1-t) \quad (2.11)$$

όπου SW είναι η σκιώδης εργασία (shadow wage), FW η τιμή όπως θεωρείται στη χρηματοοικονομική ανάλυση (financial wage), ενώ u = ο τοπικός δείκτης ανεργίας και t = ο δείκτης κοινωνικής ασφάλισης και φόρου. Έτσι, εφόσον ληφθεί ότι $u = 12\%$ και $t = 32\%$, ο $\Sigma M = SW/FW = 0,598 = 0,6$.

Επιπλέον, για συγκεκριμένες υπηρεσίες / αγαθά που περιλαμβάνονται στην οικονομική ανάλυση, οι ΣM τους δύνανται να προκύψουν από τη μέση τιμή των ΣM που έχουν οι επιμέρους εργασίες, οι οποίες συνιστούν τη συγκεκριμένη υπηρεσία / αγαθό, ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής έκαστης εργασίας σε αυτήν, σύμφωνα με τη παρακάτω σχέση:

$$\Sigma M_{(\text{αγαθού})} = \Sigma M_{(\text{εργασία } 1)} \times (\text{ποσοστό εργασίας } 1) + \Sigma M_{(\text{εργασία } 2)} \times (\text{ποσοστό εργασίας } 2) + \dots + \Sigma M_{(\text{εργασία } \nu)} \times (\text{ποσοστό εργασίας } \nu)$$

Χαρακτηριστικά αναφέρεται το παράδειγμα της υπηρεσίας: «καθαρισμός εγκαταστάσεων», η οποία δύνανται να κατανεμηθεί στις εξής εργασίες: 5% ειδικευμένη

εργασία, 80% ανειδίκευτη εργασία και 15% υλικά, ενώ το κόστος υλικών κατανέμεται περαιτέρω σε 50% ανειδίκευτη εργασία και 50% από αγαθά τοπικής παραγωγής. Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ΣΜ των αγαθών τοπικής παραγωγής είναι ίσος με τον ΓΣΜ, δηλ. ίσος με 0,96 και ο αντίστοιχος ΣΜ της ανειδίκευτης εργασίας είναι 0,6, τότε ο προκύπτων ΣΜ για το κόστος υλικών, υπολογίζεται όπως παρακάτω:

$$\Sigma M_{(\text{κόστος υλικών})} = (50\%) \times (0,96) + (50\%) \times (0,6) = 0,48 + 0,3 = 0,78.$$

Στη συνέχεια, ο ζητούμενος ΣΜ για τον καθαρισμό εγκαταστάσεων, προκύπτει:

$$\begin{aligned} \Sigma M_{(\text{καθαρ. λυμμάτων})} &= \\ \Sigma M_{(\text{ειδικευμένη εργασία})} \times (5\%) &+ \Sigma M_{(\text{ανειδίκευτη εργασία})} \times (80\%) + \Sigma M_{(\text{κόστος υλικών})} \times (15\%) = (1) \times (0,05) + (0,6) \times \\ (0,8) &+ (0,78) \times (0,15) = \\ 0,05 &+ 0,48 + 0,117 = 0,647 \end{aligned}$$

B) Διορθώσεις εξωτερικών επιδράσεων

Όλες οι τιμές που περιλαμβάνονται στην οικονομική ανάλυση, είτε ως εισερχόμενα είτε ως εξερχόμενα, θα πρέπει να λογίζονται πλεόν του φόρου προστιθέμενης αξίας, καθώς και των λοιπών έμμεσων φόρων, γεγονός που ισχύει και για τη μισθοδοσία, ενώ η εθνική συμμετοχή δεν λαμβάνεται υπόψη, καθώς έχει συντελεστή μετατροπής το 0. Στη συνέχεια, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση, θετική ή αρνητική, που θα έχει το έργο και σε θέματα, για τα οποία δεν υφίσταται τιμή αγοράς. Η βέλτιστη και κυρίως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την επίτευξη αυτού είναι η μέθοδος της Υποθετικής Αποτίμησης (Contingent Valuation Method – CVM), η οποία έχει χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς σε πολλές μελέτες για της αποτίμηση διαφόρων προϊόντων / υπηρεσιών (βλ. Carson, 1995, 1999; Fu et al., 1999).

Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται σε μία έρευνα για την οικονομική προσέγγιση και την αποτίμηση των μη αγοραίων αγαθών / υπηρεσιών, ενώ ευρεία εφαρμογή έχει στην αποτίμηση περιβαλλοντικών ωφελειών καθώς και στις επιπτώσεις από τη μόλυνση του περιβάλλοντος. Η μέθοδος της υποθετικής αποτίμησης υλοποιείται με τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων, όπου ερωτάται το ποσό το οποίο θα ήτανε διατεθειμένο να πληρώσει ένα άτομο (willingness-to-pay, WTP), ή αντίστοιχα το ποσό το οποίο μπορεί να δεχθεί (willingness-to-accept, WTA), προκειμένου να διατηρηθεί η ύπαρξη, ή αντίστοιχα να αποζημιωθεί για την απώλεια, ενός συγκεκριμένου περιβαλλοντικού χαρακτηριστικού, όπως π.χ. η βιοποικιλότητα. Η μέθοδος, δηλ αυτή, περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της τιμής για μία υπηρεσία ή ένα προϊόν το οποίο δεν υφίσταται στην αγορά, οπότε ονομάζεται και μέθοδος υποθετικής αγοράς.

Άλλη μέθοδος που δύναται να χρησιμοποιηθεί για την αποτίμηση μη αγοραίων αγαθών / υπηρεσιών είναι η μέθοδος των τιμών προσωπικής προτίμησης (hedonic prices). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των οικονομικών τιμών των οικοσυστημάτων ή των περιβαλλοντικών υπηρεσιών που επηρεάζουν άμεσα τις τιμές της αγοράς. Η πιο συχνή εφαρμογή τους εντοπίζεται στον υπολογισμό των διακυμάνσεων των τιμών των κατοικιών που προκύπτουν από την αξία των τοπικών περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η τιμή πώλησης μίας συγκεκριμένης κατοικίας όταν βρίσκεται εγγύς ενός αεροδρομίου (Α/Δ), όπου υφίσταται μεγάλη ηχορύπανση), και της ίδιας

κατοικίας όταν χωροθετείται μακριά από το Α/Δ. Έτσι, η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσει τον οικονομικό όφελος ή κόστος που συνδέεται με:

- τη ποιότητα του περιβάλλοντος, περιλαμβανομένης της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, του ύδατος, του ήχου, ή
- τη ποιότητα του περιβάλλοντος, όπως η αισθητική άποψη

Η βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου των τιμών προσωπικής προτίμησης, είναι ότι η τιμή ενός αγαθού στην αγορά σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του, ή τις υπηρεσίες που παρέχει. Άλλα παραδείγματα εξωτερικών επιδράσεων είναι στα έργα μεταφορών η αποτίμηση του εξοικονομούμενου χρόνου, σύμφωνα με των αριθμό χρηστών / επιβατών και το κόστος εργασίας, ή σε έργα που επιδρούν στο χαρακτηριστικό τοπίο του περιβάλλοντος (σύμφωνα με το μοντέλο Environmental Landscape Feature, ELF), κτλ.

Γ) Αναγωγή σε παρούσα αξία

Η προεξόφληση των μελλοντικών ροών σε παρούσα αξία κατά την οικονομική ανάλυση, χρησιμοποιεί τον κοινωνικό συντελεστή προεξόφλησης (social discount rate – SDR), ο οποίος δύναται να λαμβάνει διαφορετική τιμή σε σχέση με το επιτόκιο προεξόφλησης που χρησιμοποιείται κατά τη χρηματοοικονομική ανάλυση, ιδίως στις περιπτώσεις των ατελών αγορών. Κατά τη περίοδο 2007 – 2013, η Ε.Ε. προτείνει, χωρίς να είναι δεσμευτικό, το κοινωνικό επιτόκιο προεξόφλησης να λαμβάνεται ίσο με 5.5% για τις χώρες της Ευεοζώνης και 3,5% για τις λοιπές χώρες. Αξίζει να αναφερθεί ότι το συγκεκριμένο προεξοφλητικό επιτόκιο διαφέρει σημαντικά μεταξύ των χωρών, π.χ. το ΗΒ χρησιμοποιεί σε έργα σύμπραξης του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα το 6.09%.

Δ) Υπολογισμός δεικτών οικονομικής απόδοσης

Για τον υπολογισμό των δεικτών οικονομικής απόδοσης, ακολουθείται η ίδια μέθοδος με τη χρηματοοικονομική ανάλυση, με αλλαγή της ονομασίας των δεικτών που προκύπτουν. Έτσι, υφίστανται ο δείκτης της οικονομικής καθαρής παρούσας αξίας (ΟΚΠΑ) (Economic Net Present Value - ENPV), ο οποίος ισούται με τη διαφορά του προεξοφλημένου συνολικού οφέλους μείον το αντίστοιχο κόστος και ο οικονομικός εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (ΟΣΑ) (Economic Rate of Return - ERR), ο οποίος ισούται με το κοινωνικό προεξοφλητικό επιτόκιο, το οποίο πρέπει να χρησιμοποιηθεί προκειμένου η ΟΚΠΑ να μηδενιστεί. Επιπλέον, ένας ακόμα δείκτης αξιολόγησης που υπολογίζεται, είναι ο λόγος Οφέλους – Κόστους (Ο/Κ) (Benefit-Cost, B/C ratio), που είναι ο λόγος των προεξοφλημένων συνολικών οφελών προς το αντίστοιχο κόστος.

$$\begin{aligned}
 \text{ΟΚΠΑ} &= \sum_{i=0}^v (\text{κοινωνικός συντελεστής προεξόφλησης})_i \times (\text{χρηματοροές})_i \Leftrightarrow \\
 \text{ΟΚΠΑ} &= \frac{(\text{Ροές έτους } 0)}{(1+i)^0} + \frac{(\text{Ροές } 1\text{ου έτους})}{(1+i)^1} + \frac{(\text{Ροές } 2\text{ου έτους})}{(1+i)^2} + \dots + \frac{(\text{Ροές έτους } v)}{(1+i)^v} \quad (2.12)
 \end{aligned}$$

,όπου: Ροές = διαφορά του συνολικού οφέλους μείον το αντίστοιχο κόστος, που εμφανίζεται κατά το ίδιο έτος, ενώ ο δείκτης (i) αντιπροσωπεύει το κοινωνικό προεξοφλητικό επιτόκιο και χρησιμοποιείται για την αναγωγή των μελλοντικών ροών στη Παρούσα Αξία τους. Αντίστοιχα, η μαθηματική σχέση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τιμής του δείκτη ΟΣΑ, είναι η παρακάτω:

$$OKPA = \sum_{t=0}^v \frac{Ροές}{(1 + ΟΣΑ)^t} = 0 \quad (2.13)$$

Επιπλέον, ο λόγος Ο / Κ προκύπτει από τη μαθηματική σχέση:

$$(Λόγος \text{ Οφέλους} - \text{Κόστους}) = (O / K) = \frac{ΠΑ_{\text{εισοδών}}}{ΠΑ_{\text{εκροών}}} \quad (2.14)$$

Τα κριτήρια αξιολόγησης συνίστανται από τις προκύπτουσες τιμές των παραπάνω δεικτών. Συγκεκριμένα, η θετική αξιολόγηση ενός έργου υφίσταται όταν ο δείκτης της ΟΚΠΑ για το εξεταζόμενο έργο θα λάβει θετική τιμή, ή αντίστοιχα ο δείκτης ΟΣΑ θα λάβει τιμή μεγαλύτερη του κοινωνικού προεξοφλητικού επιτοκίου, ή ο λόγος Ο / Κ θα λάβει τιμή μεγαλύτερη της μονάδος. Αξίζει να επισημανθεί ότι στη περίπτωση αξιολόγησης ενός μεμονωμένου έργου, όπου έστω ένας από τους οικονομικούς δείκτες αξιολόγησης πληρεί το παραπάνω κριτήριο, τότε και οι έτεροι δείκτες θα πληρούν τα αντίστοιχα κριτήριά τους. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου τουλάχιστον ένας δείκτης δεν πληρεί το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης, τότε και οι έτεροι δείκτες θα πληρούν τα αντίστοιχα κριτήριά τους.

Η κυριότερη διαφορά που εντοπίζεται μεταξύ των δεικτών αξιολόγησης ΧΚΠΑ και ΟΚΠΑ, καθώς και του ΧΣΑ σε σύγκριση με τον αντίστοιχο ΟΣΑ, είναι ότι οι μεν χρηματοοικονομικοί δείκτες προκύπτουν σύμφωνα με την εξέταση από τη πλευρά του ιδιοκτήτη του έργου, ενώ οι αντίστοιχοι οικονομικοί δείκτες υπολογίζονται με γνώμονα τη συμβολή του έργου στη κοινωνική ευημερία. Κατά συνέπεια, υφίσταται η δυνατότητα για πολλά έργα στα οποία εμφανίζεται χαμηλός ή ακόμα και αρνητικός ο δείκτης ΧΚΠΑ, εξαιτίας των υπολογισμών της στρέβλωσης των τιμών της αγοράς, καθώς και της προσμέτρησης των εξωτερικών επιδράσεων οι οποίες υπολογίζονται κατά την οικονομική ανάλυση, να προκύψει ως θετικός ο δείκτης ΟΚΠΑ, ενώ αντίστοιχα ο ΟΣΑ να λάβει τιμή μεγαλύτερη από το κοινωνικό επιτόκιο προεξοφλησης και ο λόγος Ο/Κ να λάβει τιμή μεγαλύτερη της μονάδος.

Οι δείκτες που υπολογίζονται κατά την οικονομική ανάλυση, αποτελούν τους σημαντικότερους δείκτες αξιολόγησης μίας επένδυσης. Ειδικότερα, υφίσταται η άποψη ότι τα έργα που εμφανίζουν αρνητικές τιμές στο δείκτη ΟΚΠΑ (και κατά συνέπεια ο ΟΣΑ θα είναι μικρότερος από το κοινωνικό προεξοφλητικό επιτόκιο και ο λόγος Ο/Κ θα έχει τιμή μικρότερη του 1), θα πρέπει να απορρίπτονται, καθώς «*χρησιμοποιούν περισσότερο κοινωνικής αξίας πόρους, για την υλοποίηση μικρότερης αξίας οφέλη για το κοινωνικό σύνολο*».

2.4.3.6 Αξιολόγηση κινδύνων

Το τελευταίο βήμα για υλοποίηση της αξιολόγησης μίας επένδυσης, περιλαμβάνει την έκθεση αξιολόγησης των κινδύνων. Ειδικότερα, η συγκεκριμένη έκθεση χρησιμοποιείται για τη διαχείριση της αβεβαιότητας που υφίσταται στο αρχικό στάδιο της εξέτασης ενός

επενδυτικού έργου, ώστε να προκύψουν οι κατανομές πιθανότητας των τιμών για τους κύριους δείκτες αξιολόγησης της επένδυσης. Η αξιολόγηση του συνόλου των κινδύνων του έργου έχει ιδιαίτερη βαρύτητα στη συνολική αξιολόγηση και στη λήψη απόφασης περί της έγκρισης ή της απόρριψης της υλοποίησης ενός έργου, καθώς δύναται τα αποτελέσματα από τη συγκεκριμένη διεργασία να ανατρέψουν τα αποτελέσματα που προκύπτουν σύμφωνα με τους υπολογισμούς από τις προηγούμενες πέντε διεργασίες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η υποβολή έκθεσης αξιολόγησης των κινδύνων καθίσταται ως υποχρεωτική για τη περίπτωση των μεγάλων συγχρηματοδοτούμενων έργων από τη κοινότητα (EU Official Journal, 2006). Τα 4 κύρια στάδια της διεργασίας αξιολόγησης των κινδύνων, παρουσιάζονται στο διάγραμμα ροής του επόμενου Σχήματος 12. Όπως φαίνεται, αρχικά εκτελείται η ανάλυση ευαισθησίας, στη συνέχεια εκτελείται η ανάλυση σεναρίων, η ανάλυση των κινδύνων και η αξιολόγηση των αποδεκτών επιπέδων κινδύνου του έργου.

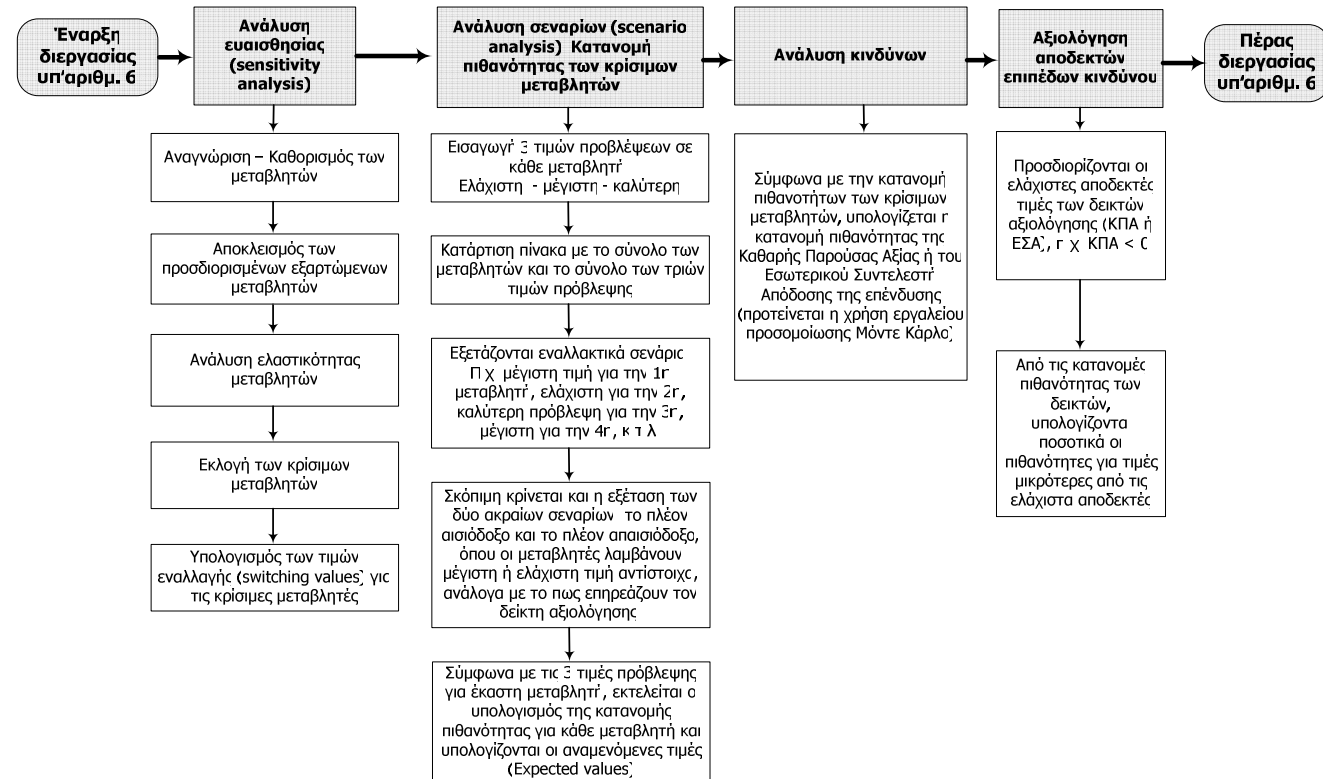
A) Ανάλυση ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας αποτελεί τη πρώτη βασική διεργασία που υλοποιεί ο εξεταστής του έργου, καθώς του δίνει τη δυνατότητα να καθορίσει τις κρίσιμες μεταβλητές ή παραμέτρους του εξεταζόμενου έργου, οι οποίες θα αναλυθούν περαιτέρω στη συνέχεια. Γενικότερα, ως κρίσιμες νοούνται οι μεταβλητές που επιδρούν σε μεγάλο βαθμό, είτε θετικά είτε αρνητικά, στους δείκτες αξιολόγησης που υπολογίζονται σύμφωνα με τις προηγούμενες διεργασίες, δηλ. κατά τη χρηματοοικονομική και την οικονομική ανάλυση. Συνήθως, ως κριτήριο επιλογής μίας κρίσιμης μεταβλητής στην αξιολόγηση των κινδύνων ενός έργου, λαμβάνεται το ότι

μία ενδεχόμενη μεταβολή μεγέθους μίας ποσοστιαίας μονάδας 1% στη τιμή της συγκεκριμένης μεταβλητής όπως αυτή υπολογίζεται στο πιθανότερο σενάριο, προκαλεί αντίστοιχη μεταβολή τουλάχιστον κατά 1%, σε σχέση με την αρχικά υπολογισμένη τιμή στο δείκτη αξιολόγησης της επένδυσης της ΚΠΑ. Εντούτοις, εξαιτίας της μοναδικότητας που παρουσιάζει έκαστο εξεταζόμενο έργο, η ανάλυση ευαισθησίας μελετάται κατά περίπτωση (case-by-case). Η διαδικασία αυτή, περιλαμβάνει τα παρακάτω επιμέρους βήματα, τα οποία αναλύονται στη συνέχεια:

- Αναγνώριση – Καθορισμός των μεταβλητών
- Αποκλεισμός των προσδιορισμένων εξαρτώμενων μεταβλητών
- Ανάλυση ελαστικότητας
- Εκλογή των κρίσιμων μεταβλητών

Η αρχική αναγνώριση και ο καθορισμός των μεταβλητών που επιδρούν στο εξεταζόμενο έργο, είναι ιδιαίτερα κρίσιμος. Από τη βιβλιογραφία, έχουν αναγνωριστεί και αναδειχτεί ορισμένες μεταβλητές, οι οποίες αποτελούν τις συνήθεις μεταβλητές που εμφανίζονται σε έργα με μεγάλο χρονικό ορίζοντα, όπως είναι τα επενδυτικά έργα. Οι μεταβλητές αυτές αυτές εντάσσονται σε συγκεκριμένες κατηγορίες και παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 7. Στη συνέχεια, εκτελείται ο αποκλεισμός των εξαρτώμενων μεταβλητών, όπου αναγνωρίζεται η συνδεσιμότητά τους και διαχωρίζονται οι μεταβλητές αυτές που



Σχήμα 12. Διάγραμμα ροής διεργασίας υπ' αριθμ. 6: Αξιολόγηση κινδύνων

Πίνακας 7. Συνήθεις μεταβλητές έργων με μεγάλο χρόνο ζωής

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ
Δυναμική των τιμών	Έτη αποπληρωμής δανείου, αύξηση πληθωρισμού, αναδιαμόρφωση επιτοκίων δανεισμού, άνοδος των μισθών, αλλαγές των τιμών υπηρεσιών
Στοιχεία Απαιτήσεων	Πληθυσμός, τακτικές καταναλώσεις, μορφοποίηση ζήτησης,
Κόστος Επένδυσης	Χρόνος και κόστος κατασκευής υποδομών, κόστος παράδοσης εξοπλισμού, κόστος σκυροδέματος, κόστος μεταφορικών, ωφέλιμος χρόνος ζωής εξοπλισμού
Λειτουργικό Κόστος	Κόστος αγαθών και υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται, τιμή ενέργειας, ενδιάμεσες χρεώσεις, κόστος συντήρησης,
Ποσοτικές παράμετροι λειτουργικού κόστους	Ακριβή ενεργειακά στοιχεία, αριθμός εργαζομένων
Λογιστικές τιμές (κόστη και οφέλη)	Αξία του χρόνου, κόστος αποφυγής εργατικών ατυχημάτων, βελτίωση παραγωγής
Ποσοτικές παράμετροι για κόστη και οφέλη	Χρησιμοποιούμενη έκταση γης

δύναται να περιληφθούν σε άλλες, προκειμένου να μην υπολογίζεται δύο ή και παραπάνω φορές η επίδρασή τους. Χαρακτηριστικά αναφέρεται το παρακάτω παράδειγμα, όπου το μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού της ΧΚΠΑ του αξιολογούμενου έργου, υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (2.8):

$$ΧΚΠΑ = \frac{(Ροές \acute{\epsilon}τους 0)}{(1+i)^0} + \frac{(Ροές 1ου \acute{\epsilon}τους)}{(1+i)^1} + \frac{(Ροές 2ου \acute{\epsilon}τους)}{(1+i)^2} + \dots + \frac{(Ροές \acute{\epsilon}τους ν)}{(1+i)^ν} \quad (2.15)$$

Οι ροές των $1^{ου}$, $2^{ου}$, $3^{ου}$, ..., n ετών, προκύπτουν από τη διαφορά των εισροών μείον τις αντίστοιχες εκροές. Οι εισροές δύνανται να υπολογιστούν σύμφωνα με μία από τις παρακάτω σχέσεις:

(Εισροές) = (πληθυσμός) x (τιμή μονάδος υπηρεσιών), ή

(Εισροές) = (τακτική κατανάλωση) x (τιμή μονάδος υπηρεσιών), ή

(Εισροές) = (ζήτηση) x (τιμή μονάδος υπηρεσιών).

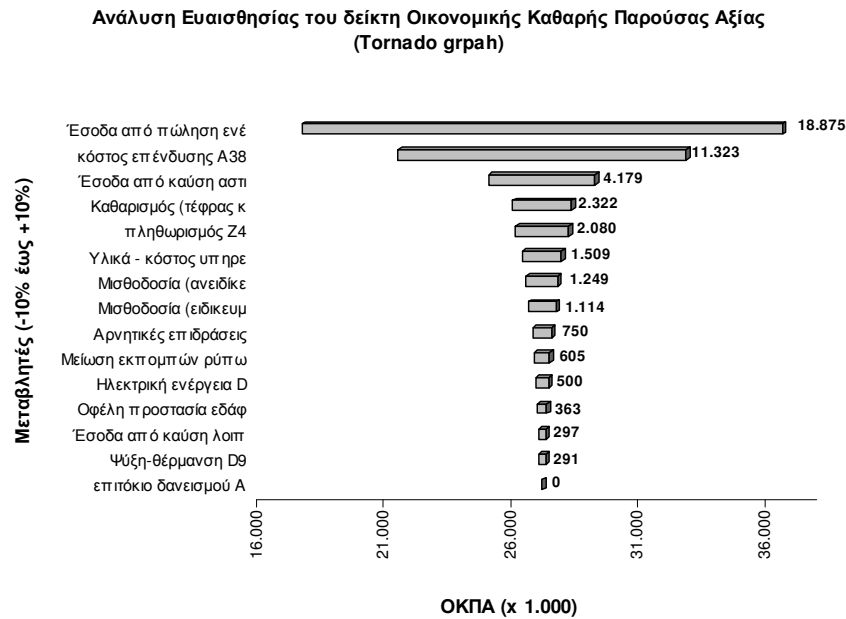
Επομένως, ανάλογα με τον τρόπο ανάπτυξης του μαθηματικού μοντέλου που αναπτύσσει έκαστος εξεταστής όταν καταρτίζει τους πίνακες υπολογισμού σε λογιστικό φύλλο, προφανώς θα χρησιμοποιεί μία εκ των παραπάνω σχέσεων. Έτσι, εφόσον έχει επιλέξει τη πρώτη σχέση, τότε οι μεταβλητές «τακτική κατανάλωση» και «ζήτηση», θα πρέπει να αποκλειστούν, καθώς περιλαμβάνονται στη μεταβλητή «πληθυσμός», κ.ο.κ.. Αντίστοιχη διαδικασία εκτελείται και για τις εκροές, όπου για παράδειγμα η μεταβλητή «αριθμός εργαζομένων», δύνανται να αποκλειστεί εφόσον προσμετράται συνολικά στη μεταβλητή «άνοδος των μισθών», ή οι επιμέρους μεταβλητές: «κόστος οικοδομικών εργασιών», «κόστος ηλεκτρομηχανολογικών εργασιών», «κόστος εκσκαφών» κτλ, οι οποίες συνιστούν το «κόστος κατασκευής υποδομών», να αποκλειστούν και να εξεταστεί περαιτέρω συνολικά το «κόστος κατασκευής υποδομών».

Στη συνέχεια, εκτελείται η αξιολόγηση της ελαστικότητας των μεταβλητών που προκύπτουν μετά τον αποκλεισμό των εξαρτημένων. Η ελαστικότητα μίας μεταβλητής, προκύπτει με τη χρησιμοποίηση της παρακάτω σχέσης:

$$\text{Ελαστικότητα} = \frac{\text{Ποσοστιαία μεταβολή δείκτη αξιολόγησης}}{\text{Ποσοστιαία μεταβολή μεταβλητής}} \quad (2.16)$$

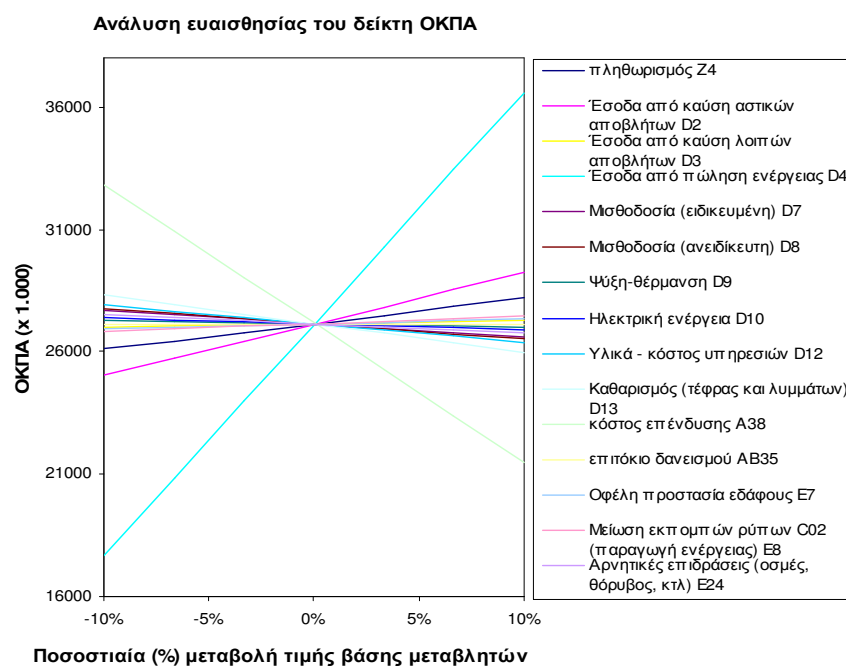
Όπως φαίνεται, η αξιολόγηση της ελαστικότητας μίας μεταβλητής υπολογίζεται σύμφωνα με το ποσοστό μεταβολής του δείκτη αξιολόγησης του έργου διαιρούμενο προς το ποσοστό μεταβολής έκαστης μεταβλητής. Περαιτέρω, οι μεταβλητές κατατάσσονται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες, δηλ. της μεγάλης, της μεσαίας και της μικρής ελαστικότητας. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η κατηγορία της μικρής ελαστικότητας περιλαμβάνει τις μεταβλητές που έχουν τιμές ελαστικότητας στο διάστημα (0, 0,5), η αντίστοιχη κατηγορία της μεσαίας αυτές που παρουσιάζουν τιμές στο διάστημα (0,5, 1) και στη κατηγορία της μεγάλης ελαστικότητας οι μεταβλητές με τιμές μεγαλύτερες ή ίσες της μονάδος. Στη συνέχεια, επιλέγονται οι κρίσιμες μεταβλητές σύμφωνα με το διάγραμμα της ευαισθησίας που παρουσιάζει ο δείκτης ΟΚΠΑ, όταν επηρεάζεται από αυτές. Ενδεικτικά παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα 13 που αφορά στην ανάλυση ευαισθησίας του δείκτη ΟΚΠΑ που περιλαμβάνεται στην ΑΚΟ για μία επένδυση σε μονάδα αποτέφρωσης αποβλήτων για την ανάκτηση ενέργειας μέσω σύμβασης παραχώρησης (βλ. Αραβώσης κ.α., 2012).

Το διάγραμμα αυτό, το οποίο ονομάζεται και "tornado graph" εξαιτίας της σχηματικής του ομοιότητας με ανεμοστρόβιλο, παρουσιάζει τα αποτελέσματα των μεταβολών στις τιμές του δείκτη ΟΚΠΑ της υπόψη επένδυσης, οι οποίες προκύπτουν από τη μεταβολή των μεταβλητών του έργου, σε ένα εύρος από -10% έως +10%, σε σχέση με τη τιμή καλύτερης πρόβλεψής τους.



Σχήμα 13. Διάγραμμα “ανεμοστρόβιλος” για την ανάλυση ευαισθησίας της OKΠΑ επένδυσης

Στο Σχήμα 14, παρουσιάζονται τα συγκεκριμένα αποτελέσματα από την ανάλυση ευαισθησίας του υπόψη έργου, όπου χρησιμοποιείται ένα διάγραμμα απεικόνισης που συναντάται ως “Διάγραμμα Αράχνη”. Σε κάθε περίπτωση, αμφότερα τα διαγράμματα προσδίδουν τα ίδια αποτελέσματα, πλην όμως προτείνεται η χρήση του διαγράμματος σε σχήμα ανεμοστρόβιλου ως περισσότερο εύχρηστη, καθώς τοποθετεί τις μεταβλητές



Σχήμα 14. Διάγραμμα ‘Αράχνη’ για την ανάλυση ευαισθησίας της OKΠΑ επένδυσης

ιεραρχικά, ανάλογα με τον βαθμό επίδρασής τους και επιπλέον υπολογίζει και το ποσοτικό εύρος διακύμανσης των τιμών του δείκτη αξιολόγησης. Η συγκεκριμένη μέθοδος της ανάλυσης ευαισθησίας, καταλήγει στην επιλογή των κρίσιμων μεταβλητών του εξεταζόμενου έργου, οι οποίες είναι αυτές που θα αναλυθούν περαιτέρω στα επόμενα βήματα της διεργασίας αξιολόγησης των κινδύνων.

Επιπλέον, είναι σκόπιμο ο εξεταστής να προβεί στον υπολογισμό των τιμών εναλλαγής (switching values), για το σύνολο των κρίσιμων μεταβλητών που επιλέχθηκαν από τη προηγούμενη διαδικασία της ανάλυσης ευαισθησίας. Ειδικότερα, ως τιμή εναλλαγής μίας μεταβλητής, ορίζεται η τιμή που πρέπει να λάβει αυτή, ώστε ο κύριος δείκτης αξιολόγησης του έργου της ΚΠΑ, να λάβει μηδενική τιμή, ή αντίστοιχα ο ΕΣΑ της επένδυσης να λάβει τιμή ίση με το προεξοφλητικό επιτόκιο, γεγονός που συνεπάγεται ότι η κατάληξη του έργου θα πέσει κάτω από το ελάχιστο αποδεκτό όριο. Ο υπολογισμός των τιμών εναλλαγής εκτελείται πρωτίστως για τις κρίσιμες μεταβλητές, οι οποίες έχουν με μικρή μεταβολή μεγάλη επίδραση στη χρηματοοικονομική ή οικονομική ΚΠΑ του έργου. Η συγκεκριμένη μέθοδος βοηθάει τον εξεταστή αρχικά και τους λήπτες αποφάσεων στη συνέχεια, να προσδιορίσουν με ακρίβεια ποιο είναι το όριο της τιμής διακύμανσης μίας μεταβλητής, το οποίο αν ξεπεράσει η συγκεκριμένη μεταβλητή, τότε το έργο θα πέσει κάτω από το ελάχιστο αποδεκτό όριο. Επιπλέον, κρίνεται σκόπιμο μαζί με τον υπολογισμό των τιμών εναλλαγής των κρίσιμων μεταβλητών, να υπολογίζεται και η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ της τιμής αυτής και της τιμής καλύτερης πρόβλεψης για κάθε μεταβλητή, η οποία επίσης να παρουσιάζεται στα αποτελέσματα, προκειμένου ο εξεταστής να εκτιμήσει την επικινδυνότητα έκαστης μεταβλητής. Στον επόμενο Πίνακα 8, παρουσιάζεται ένας πίνακας με τους υπολογισμούς των τιμών εναλλαγής, όπως περιλαμβάνονται στην ΑΚΟ για μία επένδυση σε μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μέσω ΣΔΙΤ.

Η υπόψη ΑΚΟ παρουσιάζεται στους Αραβώση κ.α., (2012). Όπως φαίνεται, από τις 11 μεταβλητές που έχουν αξιολογηθεί ως κρίσιμες για το συγκεκριμένο έργο, υπολογίζοντας τις τιμές εναλλαγής τους, καθώς και τα ποσοστά μεταβολής σε σχέση με τη τιμή καλύτερης πρόβλεψης, εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα, όπως ότι μία ενδεχόμενη μείωση κατά 10,79% της τιμής καλύτερης πρόβλεψης στη μεταβλητή «βελτίωση παραγωγής», θα επιφέρει τον μηδενισμό της τιμής του δείκτη ΟΚΠΑ, οπότε το έργο θα τεθεί κάτω από το ελάχιστο αποδεκτό όριο. Το ίδιο θα συμβεί με την ενδεχόμενη αύξηση κατά 10,41% στη τιμή του «κόστους κατασκευή υποδομών», τη μείωση κατά 12,95% της τιμής καλύτερης πρόβλεψης της μεταβλητής «χρησιμοποιούμενη έκταση», την αύξηση κατά 36,2% της τιμής καλύτερης πρόβλεψης της μεταβλητής «αρνητικές επιδράσεις», κ.ο.κ.

B) Ανάλυση σεναρίων και κατανομή πιθανότητας των κρίσιμων μεταβλητών

Επόμενο βήμα, είναι η ανάλυση σεναρίων (scenario analysis), όπου λαμβάνεται υπόψη η συνολική επίδραση των κρίσιμων μεταβλητών στους δείκτες αξιολόγησης του έργου. Αξίζει να επισημανθεί ότι για κάθε μία μεταβλητή υφίσταται ήδη η τιμή καλύτερης πρόβλεψης, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί στις διεργασίες της χρηματοοικονομικής και οικονομικής ανάλυσης, οι οποίες έχουν εκτελεστεί. Προκειμένου να επιτευχθεί η ανάλυση σεναρίων, σε κάθε μία μεταβλητή εισάγονται ως δεδομένα δύο επιπλέον τιμές προβλέψεων, οι οποίες είναι η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή αυτής. Οι συγκεκριμένες τρεις τιμές που υφίστανται, δηλ. η ελάχιστη, η μέγιστη και η τιμή καλύτερης πρόβλεψης, αντιπροσωπεύουν

Πίνακας 8. Πίνακας υπολογισμών τιμών εναλλαγής μεταβλητών επένδυσης

A/A	Κρίσιμη μεταβλητή	καλύτερη πρόβλεψη	Τιμή εναλλαγής	Ποσοστό μεταβολής
1	Μεταβολή πληθωρισμού	1,5%	0,369%	-75,4%
2	Μισθοδοσία (1 ^{ου} έτους)	378.000	643.400	+70,21%
3	Κόστος κατασκευής υποδομών	30.000.000	33.125.000	+10,41%
4	Κόστος υλικών (1 ^{ου} έτους)	28.600	238.300	+ 733,2%
5	Κόστος συντήρησης (1 ^{ου} έτους)	100.000	354.400	+254,4%
6	Ενδιάμεσες χρεώσεις	25.000	261.300	+ 945,2%
7	Τιμή ενέργειας	46.500	221.200	+375,7%
8	Υπηρεσίες(καθαρισμός εργοστασιακών λυμμάτων)	350.000	575.800	+64,51%
9	Βελτίωση παραγωγής	1.800.000	1.605.700	-10,79%
10	Χρησιμοποιούμενη έκταση	1.500.000	1.305.700	-12,95%
11	Αρνητικές επιδράσεις	500.000	681.000	+36,20%

το σενάριο βάσης, το απαισιόδοξο και το αισιόδοξο σενάρια, ανάλογα με το πώς επηρεάζει η κάθε μεταβλητή το δείκτη αξιολόγησης. Συγκεκριμένα, εφόσον μία μεταβλητή διατηρεί αναλογική σχέση με το δείκτη αξιολόγησης, δηλ. η αύξηση της τιμής της αυξάνει τη τιμή της ΚΠΑ, τότε η μέγιστη τιμή πρόβλεψης αντιστοιχεί με το αισιόδοξο σενάριο. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου επιδρά αντιστρόφως ανάλογα, τότε η ελάχιστη τιμή αυτής ισοδυναμεί με το απαισιόδοξο σενάριο. Περαιτέρω, οι τιμές αυτές (απαισιόδοξη – αισιόδοξη – τιμή βάσης), που δίνονται σε κάθε μεταβλητή, δύναται να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση των κατανομών πιθανότητας των κρίσιμων μεταβλητών, ακολουθώντας τη τριγωνική κατανομή ή τη κατανομή PERT (Program Evaluation and Review Technique - PERT). Επομένως, καθορίζοντας το εύρος διακύμανσης των τιμών κάθε μεταβλητής, με την εισαγωγή της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής τους και επιλέγοντας μία κατανομή μεταξύ της τριγωνικής και της PERT, καταρτίζεται ένας πίνακας όπως ο παρακάτω Πίνακας 9.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 9, ο εξεταστής έχει τη δυνατότητα να αναλύσει εναλλακτικά ρεαλιστικά σενάρια, όπου έκαστη μεταβλητή θα λαμβάνει τιμή εντός του οριζόμενου εύρους διακύμανσής της, δηλ. ή τη τιμή καλύτερης πρόβλεψης ή μία εκ των δύο ακραίων τιμών της, ελάχιστη και μέγιστη. Σε κάθε περίπτωση πάντως, προτείνεται η εξέταση των ακραίων ρεαλιστικών σεναρίων, τα οποία είναι το πλέον αισιόδοξο και το πλέον απαισιόδοξο σενάριο, όπου το σύνολο των κρίσιμων μεταβλητών λαμβάνει τις ακραίες τιμές, μέγιστη ή ελάχιστη, αναλόγως της επίδρασης που έχει η κάθε μία στο δείκτη της ΟΚΠΑ. Οι προκύπτουσες τιμές του αισιόδοξου και απαισιόδοξου σεναρίων, συνιστούν και το εύρος διακύμανσης της τιμής της ΟΚΠΑ. Όπως συμβαίνει και με την ανάλυση ευαισθησίας, η ανάλυση σεναρίων έχει το μειονέκτημα ότι δεν εκτελεί προβλέψεις επί της συμπεριφοράς των μεταβλητών. Εντούτοις,

Πίνακας 9. Πίνακας προβλέψεων τιμών για τις μεταβλητές μιας επένδυσης

Α/Α	Μεταβλητές	<u>Τιμές μεταβλητών</u>			Κατανομή
		Ελάχιστη Τιμή	Τιμή Καλύτερης Πρόβλεψης	Μέγιστη Τιμή	
		(α)	(β)	(γ)	
1	Μεταβλητή (1)	ΕΛ ₁	ΚΠ ₁	ΜΕ ₁	ΠΕΡΤ
2	Μεταβλητή (2)	ΕΛ ₂	ΚΠ ₂	ΜΕ ₂	Τριγωνική
3	Μεταβλητή (3)	ΕΛ ₃	ΚΠ ₃	ΜΕ ₃	ΠΕΡΤ
·	·	·	·	·	·
v	Μεταβλητή (v)	ΕΛ _v	ΚΠ _v	ΜΕ _v	Τριγωνική

Πίνακας 10. Αποτελέσματα ρεαλιστικών σεναρίων

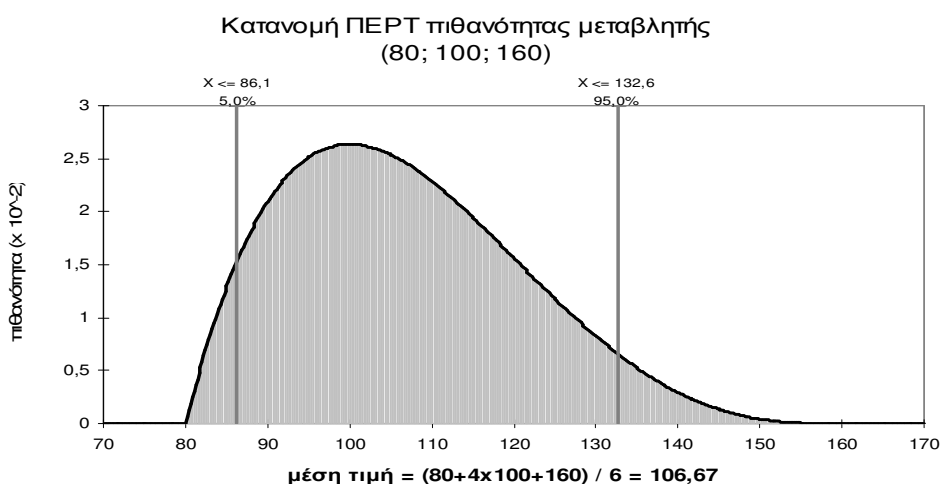
A/A	Κρίσιμη μεταβλητή	Σενάριο	Ρεαλιστικό σενάριο	Αποτέλεσμα ΟΚΠΑ
1	Μεταβλητή (1)	(α)	ΕΛ ₁	+
2	Μεταβλητή (2)	(γ)	ΜΕ ₂	
3	Μεταβλητή (3)	(β)	ΚΠ ₃	(+% σε σχέση με τη τιμή που προκύπτει από το σενάριο βάσης)
·	·	·	·	·
11	Μεταβλητή (v)	(α)	ΕΛ _v	

συνιστά ένα εργαλείο κατάδειξης ενδεχομένων αποτελεσμάτων του έργου, σύμφωνα με ρεαλιστικά σενάρια που δύναται να προκύψουν.

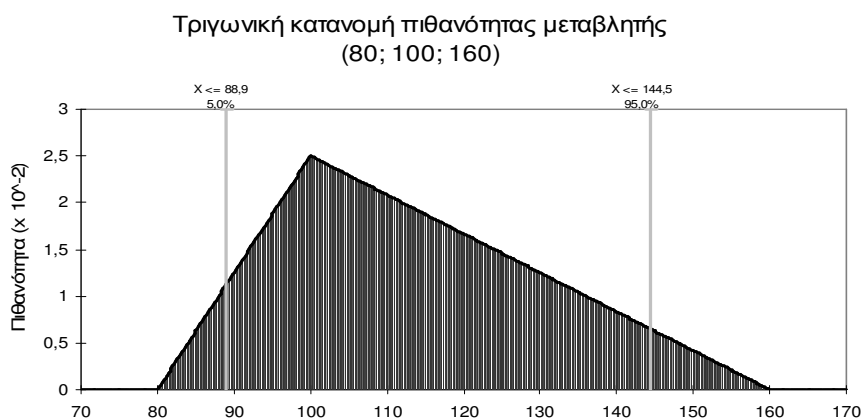
Επιπλέον, ο υπολογισμός των κατανομών πιθανότητας για το σύνολο των κρίσιμων μεταβλητών που έχουν αναγνωρισθεί, είναι απαραίτητος, προκειμένου αυτές να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία ανάλυσης των κινδύνων, που παρουσιάζεται παρακάτω. Γενικότερα, στη βιβλιογραφία υφίσταται πλήθος διαφορετικών κατανομών πιθανότητας που δύναται να λάβουν οι τιμές μίας μεταβλητής. Ειδικότερα όμως, σε περιπτώσεις όπου δεν υφίστανται αναλυτικά στοιχεία παρελθούσης συμπεριφοράς των μεταβλητών, ή η συνδεσιμότητά τους είναι γνωστή και υπάρχουν ανεπαρκή στοιχεία επί των τιμών τους, η προτεινόμενη κατανομή πιθανότητας είναι η τριγωνική κατανομή (ADB, 2002; PMI, 2008; European Commission, 2008), καθώς και η κατανομή ΠΕΡΤ (PERT - Program Evaluation and Review Technique) (Κυρητόπουλος, 2006).

Έστω (α) η ελάχιστη τιμή, (β) η τιμή καλύτερης πρόβλεψης και (γ) η μέγιστη τιμή μίας μεταβλητής. Κυριότερη διαφορά των δύο παραπάνω κατανομών, είναι ότι στη τριγωνική

κατανομή η κορυφή του σχηματιζόμενου τριγώνου, το οποίο και συγκεντρώνει τη μεγαλύτερη πιθανότητα, έστω (μ), βρίσκεται στο σημείο της τιμής καλύτερης πρόβλεψης δηλ. (μ) = (β), ενώ στη κατανομή PERT το μέγιστο σημείο της σχηματιζόμενης καμπύλης, το οποίο συγκεντρώνει τη μέση τιμή της κατανομής, προκύπτει από τη σχέση: $\mu = (\alpha + 4\beta + \gamma) / 6$. Στα παρακάτω Σχήματα 15 και 16, παρουσιάζονται οι δύο υπόψη κατανομές, PERT και τριγωνική αντίστοιχα, για μία μεταβλητή, όπου οι προβλέψεις επί των τιμών της είναι: $\alpha = 80$, $\beta = 100$ και $\gamma = 160$.

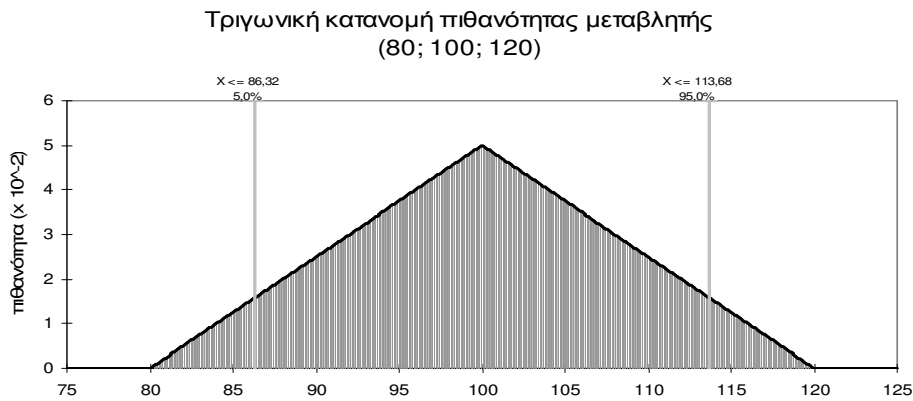


Σχήμα 15. Κατανομή PERT πιθανότητας μεταβλητής



Σχήμα 16. Τριγωνική κατανομή πιθανότητας μεταβλητής (μή συμμετρική)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα, το τρίγωνο που σχηματίζεται στη συγκεκριμένη τριγωνική κατανομή της μεταβλητής είναι ανισοσκελές, καθώς για $\alpha = 80$, $\beta = 100$ και $\gamma = 160$, ισχύει ότι: $(\gamma - \beta) > (\beta - \alpha)$. Στις περιπτώσεις αυτές, η προκύπτουσα κατανομή ονομάζεται μή συμμετρική τριγωνική κατανομή. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου για παράδειγμα λαμβανόταν ότι $\gamma = 120$, τότε θα ίσχυε ότι $(\gamma - \beta) = (\beta - \alpha)$, οπότε το τρίγωνο που σχηματίζεται είναι ισοσκελές. Στις περιπτώσεις αυτές, η συγκεκριμένη κατανομή ονομάζεται συμμετρική τριγωνική κατανομή και η οποία θα έχει τη μορφή όπως στο επόμενο Σχήμα 17:



Σχήμα 17. Τριγωνική κατανομή πιθανότητας μεταβλητής (συμμετρική)

Γ) Ανάλυση κινδύνων

Με τη περάτωση της διαδικασίας υπολογισμού των κατανομών πιθανότητας για το σύνολο των κρίσιμων μεταβλητών, ακολουθεί η διαδικασία υπολογισμού της κατανομής πιθανοτήτων για τους κύριους δείκτες αξιολόγησης της επένδυσης, δηλ. της ΧΚΠΑ και της ΟΚΠΑ, καθώς και του ΧΣΑ και του ΟΣΑ. Η κυρίως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την εκτέλεση των συγκεκριμένων υπολογισμών, είναι η προσομοίωση της συμπεριφοράς των κρίσιμων μεταβλητών, σύμφωνα με τις προβλέψεις και το εύρος που έχει οριστεί για τη κάθε μία, καθώς και τις κατανομές πιθανοτήτων των τιμών τους, προκειμένου να υπολογιστούν οι αναμενόμενες τιμές των δεικτών αξιολόγησης. Επιπλέον, από τα προκύπτοντα διαγράμματα σωρευτικής κατανομής πιθανότητας των δεικτών αξιολόγησης της επένδυσης, μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα, τα οποία να παίξουν σημαντικό ρόλο στη λήψη της απόφασης ή απόρριψης της επένδυσης αντίστοιχα. Η κυρίως χρησιμοποιούμενη τεχνική, είναι η μέθοδος Μόντε Κάρλο (Monte Carlo simulation), η οποία έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθος επιστημονικών εφαρμογών κατά τα τελευταία εξήντα έτη. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μέθοδο, χρησιμοποιούνται τυχαίοι αριθμοί για τον υπολογισμό της πιθανότητας συγκεκριμένων αποτελεσμάτων. Επιτυγχάνεται με διαδοχικές επαναλήψεις, οι οποίες ονομάζονται προσομοιώσεις (simulations), οπότε η μέθοδος είναι γνωστή και ως προσομοίωση Μόντε Κάρλο. Η πρώτη επιστημονική έρευνα που αναφέρεται στη μέθοδο Μόντε Κάρλο, δημοσιεύεται το 1949 (Metropolis and Ulam, 1949), ενώ ως νονός της μεθόδου καταγράφεται ο Πολωνός μαθηματικός Stanislaw Ulam, ο οποίος εργάστηκε στο έργο (U.S. Manhattan Project) που υλοποιήθηκε κατά τον 2^ο παγκόσμιο πόλεμο. Ο Ulam ενώ έγινε ευρύτερα γνωστός το 1951, όταν σε συνεργασία με τον Edward Teller, σχεδίασαν τη βόμβα υδρογόνου. Η προσομοίωση Μόντε Κάρλο είναι γνωστή για την ανάλυση των κινδύνων του χρόνου και του κόστους σε κατασκευαστικά έργα (Raftery, 2003), πλην όμως δύναται να χρησιμοποιηθεί και στους κινδύνους που συνδέονται με επενδυόμενο κεφάλαιο (Hertz, 1964). Ειδικότερα στις συμβάσεις συνεργασίας του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα, υφίστανται διάφορα μοντέλα που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη μέθοδο για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας των έργων (Malini, 1999; Ng et al., 2007).

Σύμφωνα με την υπόψη μέθοδο, αναπτύσσεται ένα μοντέλο προσομοίωσης στα λογιστικά φύλλα που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς κατά τη χρηματοοικονομική

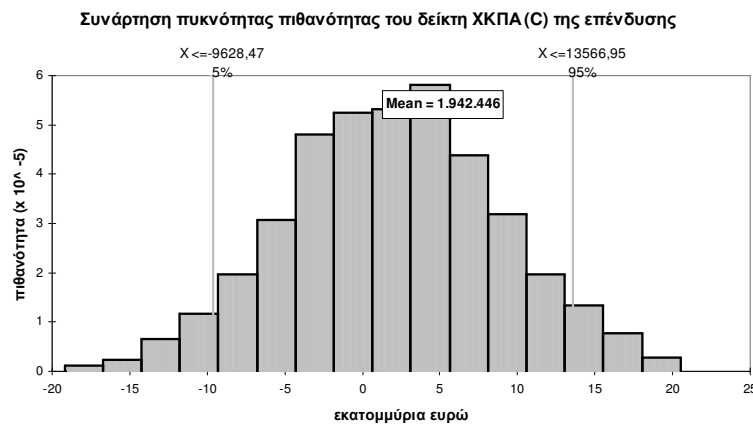
και την οικονομική ανάλυση. Στο συγκεκριμένο μοντέλο εισάγονται οι τρεις τιμές πρόβλεψης σε κάθε μεταβλητή, καθώς και η επιθυμητή κατανομή πιθανοτήτων αυτής, σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουν ήδη εκτελεστεί από τη προηγούμενη διαδικασία, ενώ επιλέγονται και οι δείκτες αξιολόγησης της επένδυσης ως εξερχόμενα αποτελέσματα. Με την επιλογή του αριθμού των προσομοιώσεων, το μοντέλο εκτελεί πλήθος υπολογισμών με τη χρήση τυχαίων τιμών, εντός των ορίων που καθορίζονται για το σύνολο των κρίσιμων μεταβλητών, οπότε και υπολογίζει τις προκύπτουσες κάθε φορά τιμές για το σύνολο των δεικτών αξιολόγησης. Μέσω των συνεχών επαναλήψεων, οι οποίες εκτελούνται τουλάχιστον εκατοντάδες φορές, προκύπτουν τα διαγράμματα σωρευτικής κατανομής πιθανότητας (cumulative probability function), ή αντίστοιχα τα διαγράμματα των συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας (probability density function) για τους επιλεγέντες δείκτες αξιολόγησης. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα συγκεκριμένα διαγράμματα συνάρτησης πυκνότητας και σωρευτικής κατανομής πιθανότητας, στα παρακάτω Σχήματα 18 και 19 αντίστοιχα, για το δείκτη της ΧΚΠΑ μίας επένδυσης, ο οποίος συμβολίζεται με ΧΚΠΑ (C). Αντίστοιχα διαγράμματα προκύπτουν για το σύνολο των δεικτών αξιολόγησης ενός έργου, δηλ. για τους δείκτες της ΟΚΠΑ και του ΟΣΑ, καθώς και για τους δείκτες απόδοσης των κεφαλαίων που συμμετέχουν, όπως το εθνικό κεφάλαιο: ΧΚΠΑ (K) και ΧΣΑ (K), ή το ιδιωτικό κεφάλαιο: ΧΚΠΑ (Kp) και ΧΣΑ (Kp) σε ένα έργο συνεργασίας.

Δ) Αξιολόγηση αποδεκτών επιπέδων κινδύνου

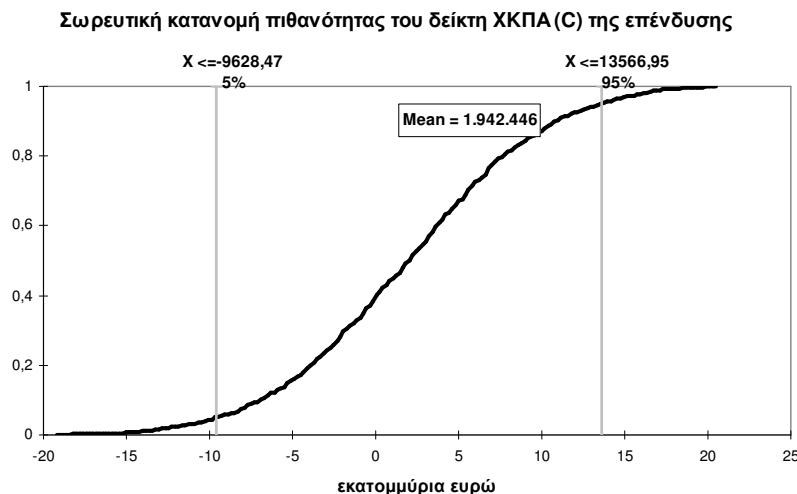
Η υλοποίηση των παραπάνω διαδικασιών καταλήγει στα διαγράμματα σωρευτικής κατανομής πιθανοτήτων για τις τιμές των κύριων δεικτών αξιολόγησης της επένδυσης. Από την ανάλυση των διαγραμμάτων αυτών, υπολογίζονται οι αναμενόμενες τιμές των υπόψη δεικτών, που αποτελούν τα σημαντικότερα κριτήρια για τη λήψη απόφασης υλοποίησης ή όχι του εξεταζόμενου έργου.

Για παράδειγμα, στη περίπτωση που κατά την ΑΚΟ ενός έργου, το κοινωνικό προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιείται είναι 5,5%, ενώ από τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης προκύπτει η τιμή του ΟΣΑ = 10% και από τη σωρευτική κατανομή πιθανοτήτων του συγκεκριμένου δείκτη, προκύπτει ότι ο ΟΣΑ λαμβάνει τιμές από 4 έως 10 με πιθανότητα 70% και από 10 έως 13 με πιθανότητα 30%, τότε η αναμενόμενη τιμή του ΟΣΑ (Expected ERR) για το έργο υπολογίζεται ως: $(4 + 10)/2 \times 0,7 + (10 + 13)/2 \times 0,3 = 8,35\%$. Σε αυτή τη περίπτωση, εφόσον οι λήπτες αποφάσεων έχουν θέσει ως ελάχιστο απαιτούμενο στόχο, ο ΟΣΑ να έχει αναμενόμενη τιμή ίση ή μεγαλύτερη από το 10%, τότε το έργο θα πρέπει να απορριφθεί, ενώ στην αντίθετη περίπτωση να προκριθεί.

Η χρησιμότητα του διαγράμματος σωρευτικής κατανομής πιθανότητας των δεικτών αξιολόγησης, τεκμαίρεται από το γεγονός ότι δίνει τη δυνατότητα στον εξεταστή και στους λήπτες αποφάσεων να αξιολογήσουν τους κινδύνους του έργου, καθώς μπορούν να υπολογίσουν την αθροιστική πιθανότητα που υπάρχει για συγκεκριμένες τιμές των δεικτών που θεωρούνται ως κρίσιμες. Ενδεικτικά παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ανάλυσης του διαγράμματος σωρευτικής κατανομής πιθανότητας για το δείκτη ΧΚΠΑ (C) μίας επένδυσης, το οποίο αρχικά υπολογίζεται όπως στο Σχήμα 19. Η ανάλυση του υπόψη διαγράμματος, στη περίπτωση που ο εξεταστής έργων θεωρήσει ως κρίσιμες τιμές τη ΧΚΠΑ (C) = 0 και τη ΧΚΠΑ (C) = 10.000.000 και θελήσει να υπολογίσει τις σωρευτικές πιθανότητες για τις τιμές αυτές, παρουσιάζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 20. Όπως φαίνεται από την ανάλυση του διαγράμματος για τις δύο αυτές τιμές, η πιθανότητα ο δείκτης ΧΚΠΑ (C) να έχει αρνητική



Σχήμα 18. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του δείκτη Χρηματοοικονομικής Καθαρής Παρούσας Αξίας μίας επένδυσης –ΧΚΠΑ (C)



Σχήμα 19. Σωρευτική κατανομή πιθανότητας του δείκτη Χρηματοοικονομικής Καθαρής Παρούσας Αξίας μίας επένδυσης –ΧΚΠΑ (C)

τιμή, υπολογίζεται σε 39,03%, ή διαφορετικά ο συγκεκριμένος δείκτης θα έχει θετική τιμή με πιθανότητα 60,97%, ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα η τιμή του δείκτη να ξεπεράσει τη τιμή των 10.000.000 ευρώ, είναι 12,97%, ή αλλιώς υπάρχει 87,03% πιθανότητα ο δείκτης να λάβει μικρότερη τιμή από τη συγκεκριμένη. Τα αποτελέσματα αυτά θα χρησιμοποιηθούν κατά τη λήψη της απόφασης, όπου για παράδειγμα εφόσον η πιθανότητα των 39,03% για αρνητική τιμή του δείκτη αξιολογηθεί ως υπερβολική τότε το έργο πρέπει να απορριφθεί, κ.ο.κ.

Περαιτέρω, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η μεροληπτική αισιοδοξία (optimism bias), η οποία διακατέχει το σύνολο των εξεταστών έργων. Στη βιβλιογραφία υφίσταται μεγάλος αριθμός δημοσιευμένων μελετών, ο οποίος καταδεικνύει ότι υπάρχει μία αποδεδειγμένα συστηματική τάση των ανθρώπων να είναι υπέρ του δέοντος αισιόδοξοι για την έκβαση των δράσεων και σχεδίων που προγραμματίζουν και σχεδιάζουν. Η αισιοδοξία αυτή, εκφράζεται με την υπερεκτίμηση της πιθανότητας να προκύψουν θετικά γεγονότα και την αντίστοιχη υποεκτίμηση της πιθανότητας να προκύψουν αρνητικά γεγονότα.

Ειδικότερα, πιο συνηθισμένη είναι η υπέρμετρη αισιοδοξία επί της συμπεριφοράς των



Σχήμα 20. Ανάλυση σωρευτικής κατανομή πιθανότητας του δείκτη Χρηματοοικονομικής Καθαρής Παρούσας Αξίας μίας επένδυσης –ΧΚΠΑ (C)

βασικότερων μεταβλητών και παραμέτρων του εξεταζόμενου έργου, όπως το κόστος της επένδυσης, ο χρόνος κατασκευής του έργου, το λειτουργικό κόστος αυτού, ή τα ωφέλη που αναμένεται να προκύψουν από το έργο. Η προκατειλημμένη αισιοδοξία δύναται να οδηγήσει σε υπερβάσεις του κόστους, σε μειώσεις του αναμενομένου οφέλους, καθώς και σε καθυστερήσεις κατά την εφαρμογή χρονοδιαγραμμάτων των έργων.

Με δεδομένο αυτό, ο οδηγός ΑΚΟ της Ε.Ε., προτείνει στους αξιολογητές των έργων να ενεργούν κατάλληλα, προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν το επίπεδο της υπέρμετρης αισιοδοξίας τους. Οι προσαρμογές που συνήθως γίνονται, βασίζονται στη χρήση εμπειρικών στοιχείων, όπως για παράδειγμα μέσω της σύγκρισης του έργου με λοιπά όμοια έργα που έχουν ήδη εκτελεστεί, ή μέσω της βοήθειας από εξειδικευμένο προσωπικό όπως με τις υπηρεσίες συμβούλων και εμπειρογνομόνων. Μία ακόμα μέθοδος που μπορεί να υιοθετηθεί από τον αξιολογητή ενός έργου, προκειμένου να ελαχιστοποιήσει την επίδραση των υπεραισιόδοξων προβλέψεων, προσδιορίζεται στην αύξηση κατά ενός ποσοστού της προβλεπόμενης τιμής για το κατασκευαστικό ή / και λειτουργικό κόστος του έργου, καθώς και για τον απαιτούμενο χρόνο κατασκευής, ενώ και η κατά ένα βαθμό μείωση του αναμενομένου οφέλους αντίστοιχα, ώστε να επανυπολογιστούν και να προκύψουν εκ νέου οι κατανομές πιθανότητας των δεικτών αξιολόγησης του έργου.

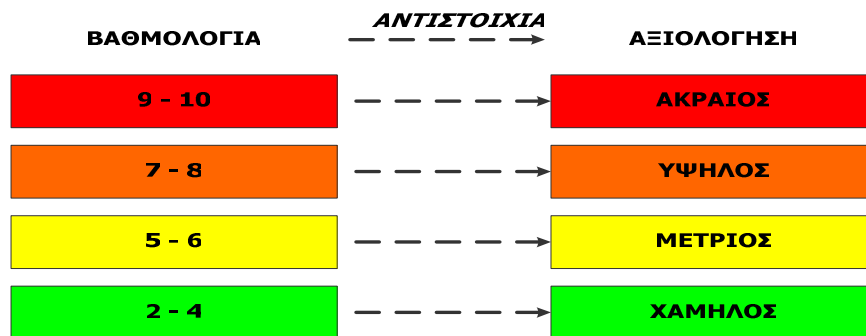
Ε) Αντιμετώπιση κινδύνων

Το τελευταίο βήμα με το οποίο ολοκληρώνεται η διεργασία αξιολόγησης των κινδύνων, είναι η κατάλληλη αντιμετώπισή τους. Αυτή επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό της στρατηγικής για τη μείωση των κινδύνων, ενώ βέλτιστη αντιμετώπιση αποτελεί η μεταφορά συγκεκριμένων κινδύνων σε έτερο φορέα. Ειδικότερα, ο επιμερισμός των κινδύνων στα εμπλεκόμενα μέρη, είναι μία βασική μέθοδος που χρησιμοποιείται στις συμβάσεις συνεργασίας του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα, δηλ. στις συμβάσεις παραχώρησης και στις ΣΔΙΤ.

Ειδικά για τον επιμερισμό των κινδύνων ενός έργου που εκτελείται μέσω σύμβασης συνεργασίας, οι οποίοι δεν είναι δυνατόν να ποσοτικοποιηθούν, οπότε και να εκτελεστεί η ποσοτική αξιολόγησή τους, προτείνεται η εκτέλεση μίας ποιοτικής αξιολόγησης, σύμφωνα με τις εκτελούμενες προβλέψεις από τον εξεταστή, τόσο επί της πιθανότητας να συμβούν, όσο και επί των συνεπειών που θα επιφέρουν στο συνολικό έργο, εφόσον συμβούν. Για έκαστο κίνδυνο που δύναται να αναγνωρισθεί, εκτελείται η καταγραφή του και η ποιοτική αξιολόγηση της πιθανότητας να συμβεί και της συνέπειας που θα επιφέρει, αμφότερες σε πενταβάθμια κλίμακα. Με τη μέθοδο αυτή και τη χρήση κατάλληλου πίνακα (βλ. Πίνακα 11), οι κίνδυνοι βαθμολογούνται σε κατάλληλη αριθμητική κλίμακα, π.χ. από 2 έως 10, ενώ στη συνέχεια ταξινομούνται σε κατηγορίες επικινδυνότητας, δηλ. από 2 – 4 είναι η χαμηλή επικινδυνότητα, 5 – 6 η μέτρια, 7 – 8 η υψηλή και 9 – 10 η ακραία κατηγορία επικινδυνότητας. Ένας ενδεικτικός πίνακας βαθμολόγησης των κινδύνων ενός έργου, σύμφωνα με τη πιθανότητα εμφάνισης και την επίπτωσή τους, παρουσιάζεται στον Πίνακα 11, ενώ μία ενδεικτική αντιστοίχιση μεταξύ της βαθμολογίας που λαμβάνει έκαστος κίνδυνος και της αξιολόγησής του, εμφανίζεται στο επόμενο Σχήμα 21. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τη ποιοτική αξιολόγηση των κινδύνων, ο εξεταστής είναι σε θέση να καταρτίσει τη μήτρα κινδύνων (risk matrix), η οποία περιέχει και τον επιμερισμό των συνολικών κινδύνων στους συμβαλλόμενους φορείς, του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα. Ο επιμερισμός αυτός υλοποιείται σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης των κινδύνων και τη βασική αρχή ότι έκαστος τομέας αναλαμβάνει τους κινδύνους που δύναται να διαχειριστεί καλύτερα, προκειμένου να επιτευχθεί η πρόληψή τους. Στον Πίνακα 12, παρουσιάζεται μία ενδεικτική μήτρα κινδύνων, που καταρτίζεται κατόπιν της ποιοτικής αξιολόγησης για ένα έργο που πρόκειται να υλοποιηθεί μέσω σύμβασης συνεργασίας μεταξύ του δημοσίου και του ιδιωτικού τομέα.

Πίνακας 11. Βαθμολόγηση πιθανότητας – επίπτωσης κινδύνων

ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ	ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ				ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΗ
	ΑΜΕΛΗΤΕΑ	ΜΙΚΡΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΜΕΓΑΛΗ	
ΣΠΑΝΙΑ	2	3	4	5	6
ΜΙΚΡΗ	3	4	5	6	7
ΠΙΘΑΝΟ	4	5	6	7	8
ΠΟΛΥ ΠΙΘΑΝΟ	5	6	7	8	9
ΣΧΕΔΟΝ ΒΕΒΑΙΟ	6	7	8	9	10



Σχήμα 21. Αντιστοιχία κλίμακας βαθμολογίας - αξιολόγησης κινδύνων

Πίνακας 12. Μήτρα κινδύνων (risk matrix) - αξιολόγηση και επιμερισμός κινδύνων μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού φορέα σε έργο συνεργασίας.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	BAΘΜΟΛΟΓΙΑ				ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟΣ	
		Πιθανότητα	Συνέπειες	Βαθμολογ.	Αξιολογ.	Δημ.	Ιδιωτ.
Χρηματο - οικονομικός	Πληθωριστικός	Πιθανό	Μέτρια	6	Μέτρια	◇	◇
	Λειτουργικό Κόστος	Πολύ Πιθανό	Μέτρια	7	Υψηλός		◇◇
	Επιτόκιο Δανεισμού	Μικρό	Μεγάλη	6	Μέτριος		◇◇
	Χρόνος Κατασκευής	Πιθανό	Μεγάλη	7	Υψηλός		◇◇
	Κόστος Κατασκευής	Πιθανό	Μεγάλη	7	Υψηλός		◇◇
Προδιαγραφών Λειτουργίας	Παράληψη απαιτήσεων	Πιθανό	Καταστροφική	8	Υψηλός	◇	◇
Σχεδίασης Εγκαταστάσεων	Ανορθολογική σχεδίαση	Μικρό	Μικρή	4	Χαμηλός	◇	◇
Περιβαλλοντικός	Μή επίτευξη περιβ. στόχων	Μικρό	Μεγάλη	6	Μέτριος		◇◇
Συναλλαγματικός	Διακυμάνσεις συναλλάγματος	Πιθανό	Μέτρια	6	Μέτρια	◇	◇
Ασφάλισης	Εγκαταστάσεις- Εξοπλισμός	Μικρό	Μέτρια	5	Μέτριος		◇◇
Αφανή Ελαττώματα	Εγκαταστάσεων - εξοπλισμού	Πιθανό	Μεγάλη	7	Υψηλός		◇◇
Ζήτησης Αγοράς	- Χρήση υπηρεσιών	Μικρό	Καταστροφική	7	Υψηλός		◇◇
Πολιτικός	Θεσμικό πλαίσιο, Νομοθεσία	Μικρό	Μέτρια	5	Μέτριος	◇◇	

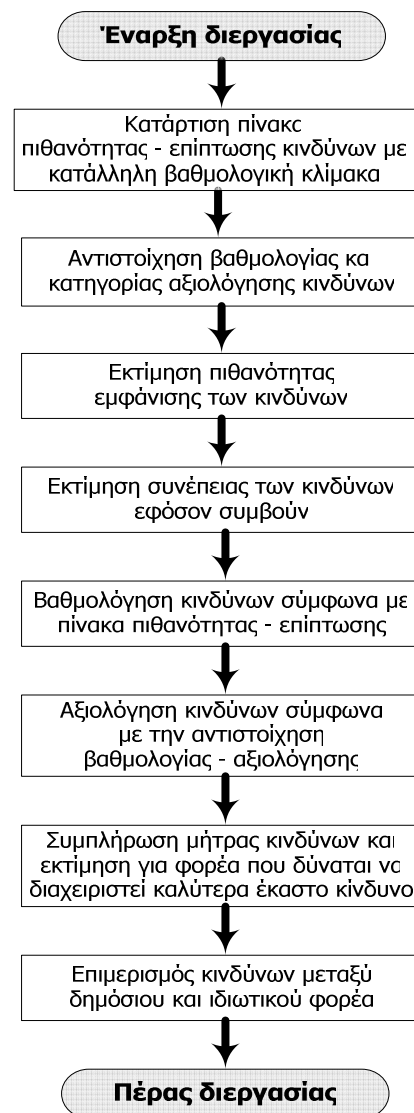
Ρυθμιστικός	Με άλλες Υπηρεσίες	Σπάνιο	Μεγάλη	5	Μέτριος	◇◇
Υπολειμματικής αξίας	Αξία εγκαταστάσεων στη παράδοση	Πιθανό	Μεγάλη	7	Υψηλός	◇ ◇
Πτώχευσης	-	Πιθανό	Καταστροφική	8	Υψηλός	◇◇
Φορολογικός	Αλλαγή εφαρμοστέας φορολόγησης	Πιθανό	Μεγάλη	7	Υψηλός	◇ ◇
Υπεργολαβικός	Παραλείψεις σε κατασκευή – λειτουργία	Πιθανό	Μεγάλη	7	Υψηλός	◇◇
Τεχνολογικός	Ολική εγγύηση συντήρησης	Πολύ Πιθανό	Καταστροφική	9	Ακραίος	◇◇
Χρήσεως	Παροχής ενέργειας, ύδατος, κτλ	Μικρό	Μέτρια	5	Μέτριος	◇ ◇
Ανώτερης Βίας	Πόλεμος, τρομοκρ.	Σπάνιο	Καταστροφική	7	Υψηλός	◇◇
Ασφάλεια εξοπλισμού	Ασφάλεια από βλάβες	Μικρό	Μεγάλη	6	Μέτριος	◇◇

Στον παραπάνω Πίνακα 12, παρουσιάζεται η αξιολόγηση ορισμένων βασικών κινδύνων, οι οποίοι δύναται να εμφανιστούν σε επενδυτικά έργα, όπου τουλάχιστον μία εκ των τριών παραμέτρων που συνιστούν το έργο, δηλ. το κόστος, ο χρόνος και το φυσικό αντικείμενο είναι αρκετά μεγάλη. Σε κάθε περίπτωση, τα έργα συνεργασίας μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα ανήκουν στη κατηγορία των επενδύσεων, οπότε οι παραπάνω κατηγορίες κινδύνων υφίστανται στο σύνολο των συγκεκριμένων έργων. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 12, εκτελέστηκε η ποιοτική αξιολόγηση για το σύνολο των κινδύνων αυτών, οι οποίοι επιμερίστηκαν στα συμβαλλόμενα μέρη, σύμφωνα με τη παρακάτω διεργασία.

Αρχικά, ο εξεταστής αξιολόγησε τη πιθανότητα και τις συνέπειες έκαστου κινδύνου. Για παράδειγμα, ο κίνδυνος «υπέρβαση του κόστους κατασκευής», ο οποίος ανήκει στη κατηγορία του «χρηματοοικονομικού κινδύνου», αξιολογείται ως «πιθανό» ενδεχόμενο, το οποίο θα έχει «μεγάλη» συνέπεια στο έργο. Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα, από τον πίνακα 11: Βαθμολόγηση πιθανότητας – επίπτωσης κινδύνων, ο υπόψη κίνδυνος βαθμολογείται με «7», ενώ με την υπόψη βαθμολογία αξιολογείται ως «υψηλός», σύμφωνα με την αντιστοιχία κλίμακας βαθμολογίας και αξιολόγησης του Σχήματος 21. Περαιτέρω, επειδή ο ιδιωτικός φορέας που θα εμπλακεί στο έργο, αναμένεται ότι θα έχει περισσότερη τεχνογνωσία και καλύτερη διαχειριστική ικανότητα επί της κατασκευής του έργου, σε σύγκριση με το δημόσιο φορέα, ο συγκεκριμένος κίνδυνος, αναλαμβάνεται αποκλειστικά από τον ιδιωτικό φορέα (συμβολισμός: ◇◇ του πίνακα 12). Αντιθέτως, ο κίνδυνος της «παραλείψης απαιτήσεων», που ανήκει στη κατηγορία κινδύνων «προδιαγραφές λειτουργίας», αξιολογείται ως «πιθανή» η εμφάνισή του και ως «καταστροφικές» οι συνέπειες από την εμφάνιση αυτή, οπότε σύμφωνα με τον πίνακα 11 βαθμολογείται με «8» και στη συνέχεια αξιολογείται ως «υψηλός» από τα οριζόμενα στο Σχήμα 21. Στη συνέχεια, εξαιτίας του ότι ο δημόσιος φορέας είναι αυτός που

καθορίζει αρχικά τις προδιαγραφές λειτουργίας του έργου, ενώ ο ιδιωτικός φορέας στη συνέχεια δύναται να διαχειριστεί καλύτερα το σχέδιο εφαρμογής, καθώς διατηρεί μεγαλύτερη τεχνογνωσία επί τεχνικών θεμάτων, ο κίνδυνος αυτός επιμερίζεται ισόποσα μεταξύ των αντισυμβαλλομένων (συμβολισμός: \diamond για το δημόσιο και \diamond για τον ιδιωτικό φορέα).

Η συγκεκριμένη διαδικασία εκτελείται για το σύνολο των κινδύνων, οπότε συμπληρώνεται η μήτρα κινδύνων του έργου. Αξίζει να τονιστεί, ότι οι πενταβάθμιες κλίμακες αξιολόγησης της πιθανότητας εμφάνισης και της συνέπειας των κινδύνων, καθώς και η δεκαβάθμια αριθμητική κλίμακα βαθμολόγησης και η αντίστοιχη κλίμακα αξιολόγησης των κινδύνων, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στο παραπάνω παράδειγμα, είναι απολύτως ενδεικτικές. Ο εξεταστής ενός έργου έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τις κλίμακες βαθμολόγησης και αξιολόγησης που επιθυμεί, π.χ. η βαθμολόγηση να γίνεται σε εκατονταβάθμια κλίμακα, πλην όμως θα πρέπει να ακολουθεί τα βασικά βήματα της διεργασίας ποιοτικής αξιολόγησης των κινδύνων, το διάγραμμα ροής της οποίας περιλαμβάνεται στο παρακάτω Σχήμα 22.



Σχήμα 22. Διάγραμμα ροής διεργασίας ποιοτικής αξιολόγησης και επιμερισμού κινδύνων σε έργα συνεργασίας.

Γενικότερα, η αντιμετώπιση των κινδύνων είναι μια σύνθετη λειτουργία, που απαιτεί τη διάθεση αρκετών πόρων και αρμοδιοτήτων, ενώ σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να συντάσσεται ένα σχέδιο διαχείρισης των κινδύνων του έργου, το οποίο να περιλαμβάνει εκτός των άλλων και τα ειδικά μέτρα για τον μετριασμό των κινδύνων που εντοπίστηκαν, όπως ο ορισμός υπεύθυνου για κάθε κίνδυνο ή τη διαδικασία παρακολούθησης κτλ, σύμφωνα με τις διεθνείς ορθές πρακτικές.

Αξίζει να αναφερθεί πάντως, ότι ο βαθμός με τον οποίο αξιολογούνται οι κίνδυνοι ενός έργου, δεν είναι ο ίδιος κατά τον χρονικό ορίζοντα ενός έργου. Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, η εμπειρία έχει καταδείξει ότι το χρονικό σημείο του έργου που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα, είναι το τελικό στάδιο της κατασκευής του έργου, δηλ. το σημείο όπου περατώνεται η φάση υλοποίησης και το έργο εισέρχεται στη φάση λειτουργίας.

2.4.4 Αξιολόγηση μεθόδου ΑΚΟ

2.4.4.1 Πλεονεκτήματα της ΑΚΟ

Το κύριο πελόνεκτημα της μεθόδου ΑΚΟ είναι ότι ικανοποιεί το αξίωμα της ορθολογικής συμπεριφοράς (Tol, 2003), μέσω της ποσοτικοποίησης της κοινωνικής αξίας των επενδυτικών έργων και πολιτικών.

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το βασικό μοντέλο ΑΚΟ, κεντρική ιδέα είναι ότι το κόστος αντιπροσωπεύει τις προκύπτουσες ζημιές, ενώ τα οφέλη αντιπροσωπεύουν τα αντίστοιχα κέρδη στη κοινωνική ευημερία, όπου τα οφέλη και το κόστος αποτιμώνται με το πόσο ένα άτομο είναι πρόθυμο-να-πληρώσει (WTP) για την εξασφάλιση των κερδών ή πρόθυμοι να αποδεχθεί (WTA) ως αποζημίωση για τις προκύπτουσες απώλειες (Pearce, 1998). Επιπλέον, έτερα πελόνεκτηματα των μοντέλων ΑΚΟ είναι τα παρακάτω:

- Λαμβάνει υπόψη τόσο τις άμεσες όσο και τις έμμεσες μακροχρόνιες επιδράσεις, είτε θετικές είτε αρνητικές.
- Η αβεβαιότητα που περιλαμβάνεται για την επιτυχή απόδοση του έργου μπορεί να χειριστεί αποτελεσματικά μέσω μίας αναλυτικής αξιολόγησης κινδύνων.
- Ένα μοντέλο ΑΚΟ επιτρέπει την αναγνώριση και αξιολόγηση διαφορετικών εναλλακτικών τεχνικών λύσεων για την υλοποίηση του εξεταζόμενου έργου (για παράδειγμα σε έργο μεταφορών δύναται να αξιολογηθούν διαφορετικές χαράξεις για την υλοποίηση ενός αυτοκινητόδρομου).
- Ένα μοντέλο ΑΚΟ εξετάζει την απόδοση της επένδυσης από τη μεριά του κύριου του έργου καθώς και εκ μέρους της κοινωνίας, μέσω της χρηματοοικονομικής και οικονομικής ανάλυσης, αντίστοιχα.

2.4.4.2 Μειονεκτήματα της ΑΚΟ

Εντούτοις, υφίστανται και ορισμένες αδυναμίες στα μοντέλα που αναπτύσσονται εντός του πλαισίου της ΑΚΟ, τα οποία συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Η αποτίμηση των μή αγοραίων αγαθών και υπηρεσιών μπορεί να έχει μεγάλο περιπλοκότητα
- Μία αναλυτική μελέτη ΑΚΟ μπορεί να είναι χρονοβόρα.

- Υφίσταται μεγάλη δυσκολία στη μέτρηση του οφέλους και του κόστους που προκύπτουν από τις επιδράσεις του έργου σε οικοσυστήματα, εξαιτίας της πολυπλοκότητάς τους.
- Μία αναλυτική μελέτη ΑΚΟ είναι αρκετά δαπανηρή, καθώς η αξιολόγηση κινδύνων απαιτεί τη συμμετοχή ειδικών.
- Οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στη χρηματοοικονομική και οικονομική ανάλυση μπορεί να έχουν μία υψηλή και μη προβλέψιμη διακύμανση (Morrissey and Browne, 2004).

2.4.4.3 Κρίσιμα σημεία στην ΑΚΟ

Στην επιστημονική βιβλιογραφία, υπάρχουν αρκετές δημοσιεύσεις που αξιολογούν το πλαίσιο της ΑΚΟ, π.χ. οι Bleichrodt and Quiggin (1999) επισημαίνουν κάτω από ποιες συνθήκες η ΑΚΟ παρέχει τα ίδια αποτελέσματα με τη μέθοδο της ανάλυσης κόστους-αποτελέσματος (cost-effectiveness analysis, CEA). Οι Prest and Turvey (1965) ερεύνησαν τη μέθοδο ΑΚΟ και επισημαίνουν ότι η αποτίμηση των ωφελειών είναι αρκετά πολυπλοκότερη από την αντίστοιχη αποτίμηση του κόστους. Εντούτοις, αυτή η διαδικασία είναι αρκετά πιο εύκολη όταν υφίσταται ήδη ιδιωτική αγορά για τα αγαθά ή τις υπηρεσίες που θα παρέχονται από το κράτος, οπότε η αποτίμηση τους ακολουθεί τις αγοραίες (Musgrave, 1969). Πιο πρόσφατα, οι Almansa and Martínez-Paz (2011) και Pickin (2008) εξετάζουν πως τα μοντέλα ΑΚΟ θα πρέπει να προεξοφλούν ή να ποσοτικοποιούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αναμφισβήτητα, ένα από τα κρισιμότερα στοιχεία σε ένα μοντέλο ΑΚΟ είναι το χρησιμοποιούμενο προεξοφλητικό επιτόκιο (Prest and Turvey, 1965), καθώς μία απόφαση που βασίζεται σε ένα συγκεκριμένο κοινωνικό προεξοφλητικό επιτόκιο δύναται να παραβιάζει τα δικαιώματα των μελλοντικών γενεών. Οι Hanke and Walker (1974) επισημαίνουν τη σημαντικότητα του προεξοφλητικού επιτοκίου σε συνάρτηση με τον χρονικό ορίζοντα εξέτασης μίας επένδυσης. Ειδικότερα, εξετάζοντας ένα συγκεκριμένο έργο που αξιολογήθηκε το 1967, όπου το χρησιμοποιούμενο προεξοφλητικό επιτόκιο ήταν 3,125%, ο λόγος Ο/Κ (συμβατικός) υπολογίστηκε σε 1,24 και 1,07, για περίοδο 50 και 100 ετών αντίστοιχα. Εντούτοις, εάν το ίδιο έργο αξιολογούτανε 7 χρόνια αργότερα, δηλ. το 1974, όπου το χρησιμοποιούμενο προεξοφλητικό επιτόκιο είχε μεγαλύτερη τιμή (5,375%), τότε η εν λόγω επένδυση θα έπρεπε να απορριφθεί καθώς σε αμφότερες τις χρονικές περιόδους των 50 και 100 ετών, ο λόγος Ο/Κ προέκυπτε μικρότερος της μονάδας. Ένα άλλο κρίσιμο στοιχείο είναι το επίπεδο της ανάλυσης που λαμβάνεται υπόψη σε ένα μοντέλο ΑΚΟ. Συγκεκριμένα, το επίπεδο της ανάλυσης θα πρέπει να είναι αρκετά ξεκάθαρο, προκειμένου να αποτιμά με τη δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια τα περιβαλλοντικά ωφέλη και κόστη. Για παράδειγμα, εάν το επίπεδο της ανάλυσης σε ένα μοντέλο ΑΚΟ είναι περιορισμένο σε μία συγκεκριμένη περιοχή και το εξεταζόμενο έργο έχει παγκόσμιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (είτε θετικές είτε αρνητικές), π.χ. στη κλιματική αλλαγή, τότε η μέτρηση των περιβαλλοντικών ωφελειών ή/και του κόστους του έργου θα περιορίζεται στις τοπικές επιπτώσεις (Campbell and Brown, 2005), δηλ. οι όποιες εξωτερικότητες σε λοιπές περιοχές δεν θα λαμβάνονται υπόψη.

Συμπερασματικά, έστω και αν κάποιοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι είναι αδύνατο να αποτιμηθεί η ανεκτίμητη αξία της ζωής, της υγείας και της φύσης (Ackerman and Heinzerling, 2002), η ΑΚΟ δύναται να είναι πολύ χρήσιμη στην οργάνωση δημοσίων επενδύσεων (Hanke and Walker, 1974). Εξάλλου, όπως υποστηρίζει ο Turner (2007), ο οποίος αξιολογεί τον

ρόλο της ΑΚΟ στη προσέγγιση περιβαλλοντικής πολιτικής για το ΗΒ και την Ευρωπαϊκή Ένωση, αν και το βασικό μοντέλο ΑΚΟ έχει έναν αριθμό από αναμφισβήτητους περιορισμούς, εξακολουθεί να παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση περιβαλλοντικών και άλλων πολιτικών, ενώ μπορεί να αποδειχθεί ως πολύτιμο στοιχείο σε ένα ευρύτερο μοντέλο υποστήριξης απόφασης. Επιπλέον, θα πρέπει να τονιστεί ότι το μοντέλο ΑΚΟ δεν θα πρέπει να θεωρείται ως εργαλείο υποστήριξης απόφασης για την αξιολόγηση διαφορετικών επενδύσεων, όπως π.χ. συμβαίνει με το πολυκριτηριακό μοντέλο. Αυτό συμβαίνει καθώς η ΑΚΟ συνήθως χρησιμοποιείται για την εξέταση σύο βασικών σεναρίων, που είναι το σενάριο με την επένδυση και το σενάριο χωρίς αυτήν (Beria et al., 2012). Εντούτοις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6, που απεικονίζει τις έξι βασικές διεργασίες του βασικού μοντέλου ΑΚΟ (EC, 2008), μία πλήρης ΑΚΟ περιλαμβάνει την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων που δύναται να ακολουθηθούν για την υλοποίηση μίας επένδυσης (βλέπε π.χ. στον τομέα διαχείριση αποβλήτων στους Aye and Widjaya, 2006; Lavee, 2010; Karmpiris et al, 2011a; 2011b; 2012a). Στον τομέα των μεταφορών, αυτές οι εναλλακτικές δύναται να είναι διαφορετικές τεχνικές λύσεις, διαφορετικές χαράξεις της όδευσης, ή διάφοροι συνδυασμοί μέσων μεταφοράς από μία περιοχή σε άλλη. Επιπλέον, μεγάλη έμφαση θα πρέπει να δίνεται στην ελαχιστοποίηση των προβλημάτων που συνήθως εντοπίζονται σε μελέτες ΑΚΟ (Mairate, 2010), οι οποίες συνοψίζονται στα παρακάτω:

- α. Ανάλυση προεξοφλημένων ταμειακών ροών (σφάλματα στους υπολογισμούς των αποσβέσεων και των απρόβλεπτων)
- β. Υπολλειματική αξία υποδομών (εξοπλισμού) δεν υπολογίζεται σωστά
- γ. Η Ανάλυση ευαισθησίας και αναλύση κινδύνων ελλείπουν ή είναι ελλιπείς.
- δ. Ο πληθωρισμός δεν αντιμετωπίζεται με συνέπεια
- ε. Εξωτερικές επιπτώσεις δεν ποσοτικοποιούνται.

2.5 Εργαλεία υποστήριξης απόφασης μέσω ποσοτικής ανάλυσης του χρηματοοικονομικού κινδύνου

2.5.1 Πολυκριτήρια εργαλεία υποστήριξης απόφασης

Όπως επισημαίνεται από τον Nagel (1983), η αξιολόγηση των εναλλακτικών ενός προγράματος προσδιορίζεται από την εύρεση της εναλλακτικής που έχει τον υψηλότερο βαθμό στη συσχέτιση του οφέλους και του κόστους. Κατά συνέπεια, όταν συγκρίνονται οι εναλλακτικές μέθοδοι υλοποίησης ενός επενδυτικού έργου, η εναλλακτική που προτιμάται είναι εκείνη όπου ο δείκτης οφέλους – κόστους (Benefit/Cost: B/C) λαμβάνει θετική αξιολόγηση (δηλ. μεγαλύτερος της μονάδος) και επιπλέον έχει μεγαλύτερη τιμή από τους αντίστοιχους δείκτες B/C των λοιπών εναλλακτικών (Wedley et al., 2001). Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε ένα έργο που έχει δύο εναλλακτικές, την Α και τη Β. Σύμφωνα με τη μέθοδο της ΑΚΟ, θεωρούμε ότι ο λόγος οφέλους – κόστους για την εναλλακτική Α, είναι $B/C_A = 1.4$ και ο αντίστοιχος για την εναλλακτική Β, προκύπτει $B/C_B = 1.25$. Σε αυτή τη περίπτωση, η εναλλακτική Α θα πρέπει να προτιμηθεί έναντι της Β, καθώς η Α ικανοποιεί δύο συνθήκες, δηλ.. $B/C_A = 1.4 > 1$ και $B/C_A = 1.4 > B/C_B = 1.25$.

Η θεωρία της πολυκριτήριας ανάλυσης για τη λήψη αποφάσεων αποτελείται από τεχνικές και εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί στο συγκεκριμένο τομέα, τα οποία υποστηρίζουν τους λήπτες αποφάσεων στο να λύνουν προβλήματα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτές οι τεχνικές παρουσιάζουν τα απαραίτητα βήματα που πρέπει να ακολουθήσουν οι λήπτες αποφάσεων, ώστε να αναλύσουν και να συγκρίνουν τις εναλλακτικές λύσεις, επιλέγοντας τη βέλτιστη σύμφωνα με τα δικά τους κριτήρια λήψης απόφασης. Στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία, και συγκεκριμένα στον τομέα του περιβάλλοντος, υπάρχει ποικιλία εργαλείων λήψης απόφασης, όπως η πολυκριτήρια ανάλυση, η διεργασία αναλυτικής ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process : AHP) (Karagiannidis et al., 2010), η μέθοδος Electre III (Ohman et al., 2007) και οι μέθοδοι PROMETHEE και GAIA (Aravossis et al., 2001).

Η διεργασία αναλυτικής ιεράρχησης (AHP) είναι μία αρκετά απλή και ευέλικτη τεχνική, η οποία αναπτύχθηκε πρώτα από τον Saaty τη δεκαετία του 1970, και η οποία περιλαμβάνει ένα πλαίσιο για την αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων σε περίπλοκα προβλήματα (Saaty, 1978). Η AHP υποστηρίζει τους λήπτες αποφάσεων μέσω της ιεραρχικής δόμησης των αναγνωρισθέντων εναλλακτικών και τη χρήση ποσοτικών ή/και ποιοτικών κριτηρίων (Ramanathan, 2002) αξιολόγησης που ορίζονται όπως και το βάρος έκαστου κριτηρίου (Lin et al., 2010), ώστε να συγκριθούν οι εναλλακτικές και να επιλεγεί η βέλτιστη (De Feo and De Gisi, 2010). Πλήθος εφαρμογών της AHP περιλαμβάνεται στη βιβλιογραφία για επενδύσεις σε περιβαλλοντικά έργα. Συγκεκριμένα, οι Sener et al. (2010) συνδέουν την AHP με τις τεχνικές των GIS, ώστε να καθορίσουν τη βέλτιστη θέση εναπόθεσης στερεών αποβλήτων, ενώ οι Hung et al. (2007) προτείνουν ένα μοντέλο λήψης απόφασης, το οποίο χρησιμοποιεί την ασαφοποίηση της AHP για την επιλογή των προτεραιοτήτων στις εναλλακτικές των έργων αυτής της κατηγορίας. Οι Promentilla et al. (2006) προτείνουν τη γενίκευση της AHP στη διεργασία των αναλυτικών δικτύων, η οποία είναι μία τεχνική πολυκριτήριας ανάλυσης για την αξιολόγηση των ΧΥΤΑ στην Ιαπωνία και οι Khan and Faisal (2008) προτείνουν ένα μοντέλο διεργασίας αναλυτικών δικτύων που βασίζεται στη γενίκευση της AHP, προκειμένου να επιλεγεί η βέλτιστη εναλλακτική για την εναπόθεση στερεών αποβλήτων. Περαιτέρω, οι Garfi et al. (2009) χρησιμοποιούν τη πολυκριτήρια ανάλυση για τη σύγκριση εναλλακτικών και παρουσιάζουν τις βέλτιστες λύσεις για τη διαχείριση αποβλήτων στη περιοχή Saharawi και οι Hsu et al. (2008) αναπτύσσουν μία μέθοδο για την επιλογή εταιριών διαχείρισης ιατρικών αποβλήτων, όπου η AHP συνδέεται με τη μέθοδο Delphi υποστηρίζοντας τη διεργασία λήψης απόφασης.

2.5.2 Τεχνικές αξιολόγησης περιβαλλοντικών έργων

Για την αξιολόγηση περιβαλλοντικών έργων, η Πολυκριτήρια ανάλυση (Yu et al., 2011), η αξιολόγηση κύκλου-ζωής (life-cycle assessment) και η ποσοτική ανάλυση των κινδύνων, είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενες μέθοδοι.

Τα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες των μεθόδων αυτών αναλύονται εκτενώς από τους Linkon και Seager (2011), οι οποίοι τις συνδέουν σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο. Ειδικά για έργα διαχείρισης στερεών αποβλήτων, η διεθνής επιστημονική βιβλιογραφία επισημαίνει ότι στις περιπτώσεις σχεδιασμού τέτοιων έργων, μαθηματικά μοντέλα και αλγόριθμοι υποστήριξης απόφασης μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία. Ειδικότερα, υπάρχουν διάφορα εργαλεία υποστήριξης απόφασης (Bakoroulou et al., 2007) για την αξιολόγηση της

διάθεσης στερεών αποβλήτων (Khan and Faisal, 2008), για την επιλογή του χώρου ταφής (Sener et al., 2010), για το πρόβλημα της διακίνησης και του προγραμματισμού (Chang and Wei, 2002), για την υλοποίηση έργων αποκατάστασης περιοχών (Kiker et al., 2005), καθώς και για την ανάκτηση ενέργειας μέσω αποτέφρωσης (βλ. για παράδειγμα Chang και Chang, 2001; Tolis et al., 2010a). Περαιτέρω, για την υλοποίηση έργων επεξεργασίας και καθαρισμού υγρών αποβλήτων μέσω συμβάσεων ΣΔΙΤ, οι Karmpiris et al. (2010) αναπτύσσουν ένα μοντέλο που συνδυάζει τη μέθοδο οικονομικής αποδοτικότητας (quantitative value for money method, βλ. HM Treasury, 2007) με την Ανάλυση Κόστους Οφέλους (βλ. European Commission, 2008). Γενικότερα, η ΑΚΟ είναι μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την αξιολόγηση έργων διαχείρισης αποβλήτων, (Jamasp and Nepal, 2010), στην οποία ο λόγος Ο/Κ χρησιμοποιείται κυρίως για τη τεκμηρίωση ότι τα οφέλη που προκύπτουν από το έργο είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα κόστη (Nordic Council of Ministers, 2007). Οι Parthan et al. (2012) αξιολογούν τα υφιστάμενα μοντέλα (unit-cost, benchmarking και cost modeling), τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του κόστους διαχείρισης στερεών αποβλήτων σε βιομηχανικές περιοχές. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη ότι η πλειονότητα των έργων στον τομέα διαχείρισης στερεών αποβλήτων υλοποιούνται μέσω συμβάσεων ΣΔΙΤ, το κυρίως μέλημα ενός εξεταστή έργων, είναι εάν η συγκεκριμένη επένδυση θα είναι κερδοφόρα για τον ιδιώτη επενδυτή (Khan and Mushtaq, 2009). Συνεπώς, η αξιολόγηση μίας επένδυσης στον τομέα διαχείρισης στερεών αποβλήτων, εξετάζεται σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα και επιτυγχάνεται συνήθως μέσω της ανάλυσης προεξοφλημένων ταμειακών ροών. Στην εν λόγω ανάλυση, όλες οι μελλοντικές χρηματοροές, δηλ. οι εισροές και εκροές εκτιμώνται και μετατρέπονται στη Παρούσα αξία τους με τη χρήση ενός συγκεκριμένου προεξοφλητικού επιτοκίου (Karmpiris et al., 2012c; 2012d). Στη συνέχεια, αθροίζονται και υπολογίζεται η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) της επένδυσης, ενώ η τιμή για την οποία η NPV μηδενίζεται, είναι ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR) (Wilson et al., 2001). Συγκεκριμένα, ο IRR είναι ένα κριτήριο λήψης απόφασης που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της κερδοφορίας της επένδυσης, δηλ. Όσο μεγαλύτερος ο IRR ενός έργου, τόσο περισσότερο κερδοφόρα θα είναι η επένδυση και τόσο περισσότερο θεμιτό θα είναι να προχωρήσει ο υποψήφιος επενδυτής στην εξεταζόμενη επένδυση.

Εντούτοις, όταν εξετάζεται ένα περιβαλλοντικό έργο σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα, π.χ. 15 ή 20 έτη, υφίσταται μεγάλη αβεβαιότητα στις προβλέψεις διακύμανσης των χρηματοροών (Cash Flows: CFs) του έργου (βλ. Ingersoll και Ross, 1992; Tolis et al., 2010b). Ειδικότερα, υπάρχει ένα πεπερασμένο σύνολο μεταβλητών που έχουν μεγάλη επίδραση στα κριτήρια αξιολόγησης, που είναι η NPV, ο IRR, και ο λόγος B/C. Κατα συνέπεια, κρίσιμο στοιχείο στη συνολική διεργασία αξιολόγησης της επένδυσης, η ποσοτική ανάλυση των κινδύνων (Petts, 1992), μέσω της οποίας δύναται να διασφαλιστεί η χρηματοοικονομική απόδοση του έργου (Butt et al., 2008), επικεντρώνοντας στη μελέτη της πιθανότητας για το αποτέλεσμα της αξιολόγησης να είναι θετικό, δηλ. η $NPV > 0$, ή/και ο $IRR >$ επιτόκιο προεξόφλησης, ή.και ο λόγος $B/C > 1$.

2.5.3 Τεχνικές αξιολόγησης έργων ΣΔΙΤ

Όπως συμβαίνει και στα έργα διαχείρισης αποβλήτων, καθώς και στη πλειονότητα των περιβαλλοντικών έργων, οι επενδύσεις σε λοιπούς τομείς που υλοποιούνται μέσω ΣΔΙΤ,

εξετάζονται σε μακρό χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί με το συμβατικό χρόνο, δηλ. από 15 έως και 40 έτη. Κατά συνέπεια, η κύρια μέθοδος της χρηματοοικονομικής αξιολόγησης του συνόλου των επενδύσεων είναι η ανάλυση των προεξοφλημένων ταμειακών ροών και ο υπολογισμός των δεικτών αξιολόγησης NPV και IRR. Ειδικά για τα έργα που υλοποιούνται μέσω ΣΔΙΤ, ο Ευρωπαϊκός οδηγός για την CBA (EC, 2008), προτείνει ότι η χρηματοοικονομική ανάλυση θα πρέπει να περιλαμβάνει τους υπολογισμούς των δεικτών NPV_{pu} and the NPV_{pr} , αντίστοιχα για το δημόσιο (public: pu) και τον ιδιωτικό (private: pr) τομέα, καταδεικνύοντας πως η χρηματοοικονομική απόδοση του έργου επιμερίζεται μεταξύ των συμπρατούντων. Σε γενικό πλαίσιο, το κριτήριο απόφασης για την υλοποίηση ενός έργου είναι η θετική τιμή των δεικτών NPVs για όλους τους συμμετέχοντες, ή/και οι δείκτες IRRs να λάβουν τιμή υψηλότερη από το προεξοφλητικό επιτόκιο. Στις συμβάσεις ΣΔΙΤ, όπου υφίσταται μία μεγάλη αρχική επένδυση, αυτοί οι δείκτες επηρεάζονται κυρίως από το χρηματοδοτικό σχήμα της επένδυσης (δηλ. τα ποσοστά χρηματοδότησης του δημόσιου και του ιδιωτικού φορέα).

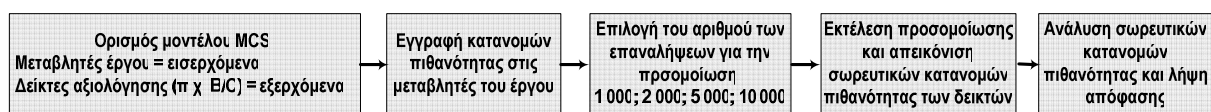
Η ποσοτική ανάλυση των κινδύνων έπεται της χρηματοοικονομικής ανάλυσης και υποστηρίζει τη συνολική διεργασία αξιολόγησης, απλά σταθμίζοντας τη χρηματοοικονομική απόδοση με τους περικλειόμενους κινδύνους. Σύμφωνα με τον Zhang (2005), ο επιμερισμός του κινδύνου είναι ένας κρίσιμος παράγοντας επιτυχίας των ΣΔΙΤ, και οι κίνδυνοι θα πρέπει να επιμερίζονται στον φορέα που δύναται να τους διαχειριστεί καλύτερα. Επιπλέον, προτείνεται ο ιδιωτικός φορέας να αναλαμβάνει τη πλειοψηφία των κινδύνων στο επίπεδο του έργου (Ke et al, 201), και ειδικότερα τη σχεδίαση, τη κατασκευή και τον λειτουργικό κίνδυνο (Shen et al, 2006). Όπως αναλύεται και στην επόμενη παράγραφο, η ποσοτική ανάλυση των κινδύνων υλοποιείται μέσω του υπολογισμού των σωρευτικών κατανομών πιθανότητας κατά τη φάση εξέτασης της σκοπιμότητας του έργου. Οι υπόψη κατανομές δύναται να υποστούν και περαιτέρω επεξεργασία. Όπως επισημαίνεται από τους Ng et al. (2007), στη περίπτωση που η πιθανότητα για αρνητική τιμή του δείκτη NPV είναι υψηλότερη από ένα προκαθορισμένο όριο, τότε το εξεταζόμενο επενδυτικό σενάριο θα πρέπει να αξιολογηθεί ως ιδιαίτερος επικίνδυνος και να απορριφθεί, ενώ στην αντίθετη περίπτωση να προτιμηθεί.

2.5.4 Ποσοτική ανάλυση του χρηματοοικονομικού κινδύνου

Δεδομένης της αβεβαιότητας κατά τη λήψη απόφασης για την υλοποίηση ή μη ενός επενδυτικού έργου, βασικό στάδιο της συνολικής διεργασίας αξιολόγησης είναι η αξιολόγηση των κινδύνων, η οποία περιλαμβάνει τη μελέτη της πιθανότητας για την εξεταζόμενη επένδυση να επιτύχει μία αποδεκτή απόδοση. Συγκεκριμένα, η αξιολόγηση των κινδύνων έπεται της οικονομικής ανάλυσης και υποστηρίζει τη συνολική διεργασία αξιολόγησης, συνδέοντας της οικονομική απόδοση με τους περικλειόμενους κινδύνους. Γενικά, η απόδοση ενός επενδυτικού έργου επηρεάζεται από χρηματοοικονομικούς κινδύνους, όπως π.χ. οι τιμές ενέργειας και η ζήτηση, καθώς και από περιβαλλοντικούς κινδύνους, π.χ. ο θόρυβος και οι αισθητικές παρεμβάσεις στο έδαφος, ή η επίδραση στην ανθρώπινη υγεία από τις εκπομπές ρύπων. Επιπλέον, η σχεδίαση και η κατασκευή των υποδομών και οι λειτουργικές διαδικασίες διαχείρισης προϊόντων και αποβλήτων είναι ορισμένοι τεχνικοί κίνδυνοι που συνδέονται με τα έργα στον περιβαλλοντικό τομέα. Σε κάθε περίπτωση, το κρίσιμότερο στοιχείο στην αξιολόγηση των κινδύνων είναι η ποσοτικοποίησή τους (Brookhart et al.,

1997), η οποία υλοποιείται κυρίως μέσω της τεχνικής προσομοίωσης Μόντε Κάρλο (Monte Carlo Simulation : MCS) (βλ. Alonso-Conde et al., 2007; Ng et al., 2007a; Chou, 2010) καθώς και της ανάλυσης ευαισθησίας.

Στην ανάλυση ευαισθησίας, εκτελείται η εισαγωγή διαφορετικών τιμών στις μεταβλητές του έργου ανεξάρτητα, προκειμένου να υπολογιστεί η επίδραση τους στους δείκτες αξιολόγησης της επένδυσης (Klingelhofer, 2009). Τα συνολικά αποτελέσματα απεικονίζονται γραφικά, οπότε και οι λήπτες αποφάσεων έχουν μίαςυγκρίσιμη εικόνα των μεταβλητών και δύναται να ξεχωρίσουν τις μεταβλητές με τη μεγαλύτερη επίδραση στο έργο. Εντούτοις, κύριο μειονέκτημα της ανάλυσης ευαισθησίας, είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη τυχόν προβλέψεις για τη διακύμανση των μεταβλητών του έργου (Belli et al, 1997). Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που η προσομοίωση MCS χρησιμοποιείται κυρίως στα έργα ΣΔΙΤ (Grimsey και Lewis, 2002). Το διάγραμμα ροής της διεργασίας MCS απεικονίζεται στο παρακάτω Σχήμα 23.



Σχήμα 23. Διάγραμμα ροής της Προσομοίωσης Μόντε Κάρλο (MCS)

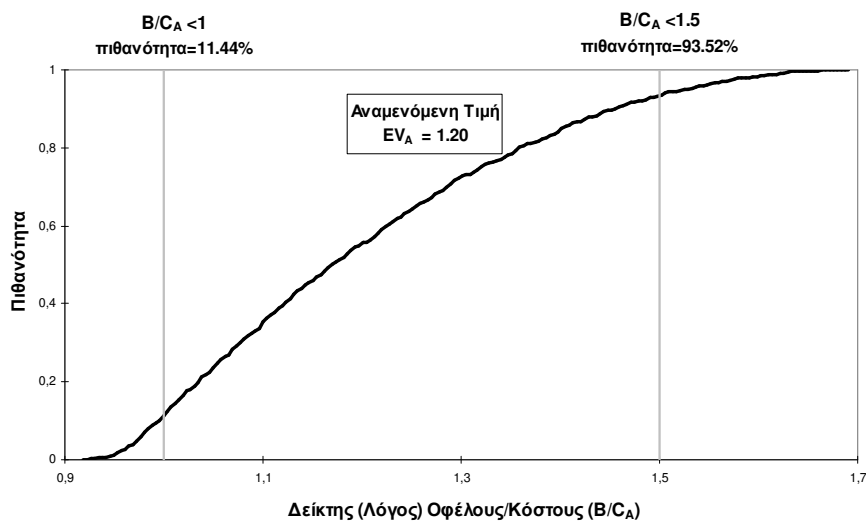
Αρχικά, αναγνωρίζεται το σύνολο των παραμέτρων του έργου, οι οποίες περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς του δείκτη B/C στη Σχέση (2.14) και κατά συνέπεια, η διακύμανση των τιμών τους έχει θετική ή αρνητική επίδραση στην απόδοση του έργου. Ανάλογα με τη πρόβλεψη για τις τιμές τους να είναι σταθερές ή να έχουν διακυμάνσεις κατά τον χρονικό ορίζοντα του έργου, οι εν λόγω παράμετροι κατηγοριοποιούνται ως σταθερές ή μεταβλητές, αντίστοιχα. Τυπικό παράδειγμα σταθερών παραμέτρων που συναντώνται σε έργα διαχείρισης στερεών αποβλήτων είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο και η παραγόμενη ενέργεια από την αποτέφρωση αποβλήτων σε μονάδα καύσης (MWh/ton), ενώ τυπικά παραδείγματα μεταβλητών είναι ο πληθωρισμός, το λειτουργικό κόστος και οι θετικές και αρνητικές εξωτερικότητες.

Στη συνέχεια, υλοποιείται η κατανομή πιθανοτήτων για το εύρος διακύμανσης των τιμών των μεταβλητών περί της τιμής καλύτερης πρόβλεψης (Balcombe and Smith, 1999; Moreno and Navas, 2003; Rentizelas et al., 2007), ώστε να αξιολογηθεί η σωρευτική επίδρασή τους στο δείκτη B/C. Αυτές οι κατανομές δύναται να είναι η κανονική, η λογαριθμική, η τριγωνική, κ.α. (βλ. Ergonul, 2006). Ειδικότερα, οι λήπτες αποφάσεων επιλέγουν τις κατάλληλες κατανομές καθώς και το εύρος των τιμών για κάθε μία μεταβλητή και αναπτύσσουν ένα μοντέλο προσομοίωσης MCS (Scirioni et al., 2009), στο οποίο το σύνολο των μεταβλητών του έργου ορίζονται ως εισερχόμενα και ο δείκτης B/C ορίζεται ως το επιθυμητό εξερχόμενο. Αξίζει να αναφερθεί ότι στις περιπτώσεις όπου δεν υφίστανται παρελθοντικά στοιχεία συμπεριφοράς μεταβλητών, τότε προτείνεται η χρησιμοποίηση της τριγωνικής κατανομής πιθανότητας σε αυτές (ADB, 2002).

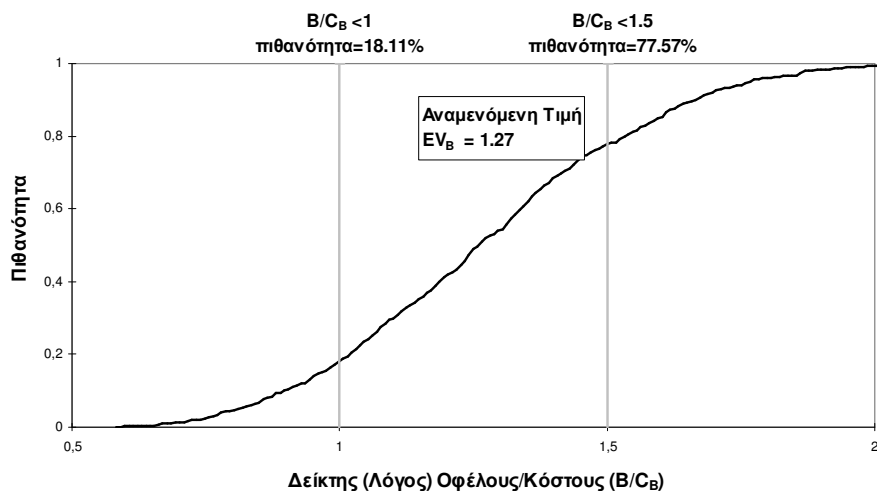
Ανάλογα με το μέγεθος του έργου και τη σημαντικότητα των κινδύνων, οι λήπτες αποφάσεων επιλέγουν τον αριθμό των επαναλήψεων που θα υλοποιηθεί από τη προσομοίωση, δηλ. 1,000, 2,000, 5,000, ή 10,000 (Rezaie et al., 2007), λαμβάνοντας υπόψη ότι ο μεγαλύτερος αριθμός επαναλήψεων προσδίδει περισσότερη ακρίβεια στα αποτελέσματα.

Η προσομοίωση εκτελείται μέσω της χρήσης τυχαίων αριθμών των εισερχομένων, ώστε να ληφθεί υπόψη η σωρευτική επίδραση των μεταβλητών του έργου και να υπολογιστεί το πιθανό εύρος διακύμανσης των τιμών του δείκτη B/C , το οποίο απεικονίζεται γραφικά στη CPDF (βλ. για παράδειγμα Diamantas et al., 2007; Diamantas et al., 2010; Rentizelas et al., 2007; Tziralis et al., 2009; Tesfamariam and Sanchez-Silva, 2011; Karmperis et al., 2012e; 2012g; Wisitorsasak et al., 2009; Poli and Pelacchi, 2011).

Εντούτοις, η προκύπτουσα κατανομή CPDF δύναται να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία από τους λήπτες αποφάσεων, ώστε να αξιολογηθούν οι κίνδυνοι του έργου (Chou et al., 2009). Όπως έχει δείχθει από τους Ng et al. (2007b), στη περίπτωση που η προκύπτουσα πιθανότητα για το δείκτη $B/C < 1$, είναι μεγαλύτερη από ένα προκαθορισμένο επίπεδο, τότε το εξεταζόμενο σενάριο θα πρέπει να θεωρηθεί ως ιδιαίτερης επικινδυνότητας και να απορριφθεί, ενώ στην αντίθετη περίπτωση να εγκριθεί. Για παράδειγμα, θεωρούμε το σενάριο με δύο διαφορετικά έργα, το A και το B , όπου οι CPDFs των δεικτών B/C απεικονίζονται στα παρακάτω Σχήματα 24 και 25, αντίστοιχα.



Σχήμα 24. Συνάρτηση σωρευτικής κατανομής πιθανότητας του δείκτη B/C (Έργο A)



Σχήμα 25. Συνάρτηση σωρευτικής κατανομής πιθανότητας του δείκτη B/C (Έργο B)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 24, υπάρχει 11.44% πιθανότητα για το δείκτη $B/C_A < 1$ και κατά συνέπεια το έργο A μπορεί να θεωρηθεί ως έργο χαμηλής επικινδυνότητας και να ακολουθηθεί. Στον αντίποδα, η αντίστοιχη CPDF του δείκτη B/C για το έργο B που απεικονίζεται στο Σχήμα 25, δείχνει ότι υπάρχει 18.11% πιθανότητα για το $B/C_B < 1$ και κατά συνέπεια επαφύεται στις προτιμήσεις των ληπτών αποφάσεων έναντι του κινδύνου, εάν η συγκεκριμένη τιμή πιθανότητας είναι αποδεκτή ή όχι.

Αυτή η αξιολόγηση υλοποιείται μέσω του υπολογισμού της συνάρτησης σωρευτικής κατανομής πιθανότητας (cumulative probability distribution function: CPDF) του δείκτη B/C σύμφωνα με τη μεθοδολογία της ΑΚΟ. Σε αυτή τη συνάρτηση, οι λήπτες αποφάσεων υπολογίζουν την αναμενόμενη τιμή (Expected Value : EV) του υπόψη δείκτη, η οποία είναι ένας σταθερός αριθμός χωρίς μονάδες, ο οποίος απεικονίζει τη καλύτερη πρόβλεψη για τη τιμή του λόγου B/C . Για παράδειγμα, εάν ο δείκτης B/C μπορεί να λάβει τιμή 0.8 με πιθανότητα 10%, τιμή 0.9 με πιθανότητα 30%, τιμή 1.35 με πιθανότητα 35%, τιμή 1.5 με πιθανότητα 20% και τιμή 2.0 με πιθανότητα 5%, τότε η καλύτερη πρόβλεψη για τη τιμή του λόγου B/C είναι η αναμενόμενη τιμή του EV και υπολογίζεται:

$$EV = 0.8(10\%) + 0.9(30\%) + 1.35(35\%) + 1.5(20\%) + 2(5\%) = 1.2225.$$

Ειδικότερα, η EV είναι το σταθμισμένο άθροισμα όλων των δυνατών τιμών που μπορεί να λάβει ο δείκτης B/C , όπου έκαστη τιμή πολλαπλασιάζεται με τη πιθανότητα να επέλθει. Με άλλα λόγια, όταν ο δείκτης B/C δύναται να λάβει τη τιμή B/C_1 με πιθανότητα p_1 , τη τιμή B/C_2 με πιθανότητα p_2 , ..., τη τιμή B/C_n με πιθανότητα p_n , όπου: $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 100\%$, τότε η EV του δείκτη B/C υπολογίζεται από τη Σχέση (2.18):

$$EV = \frac{B/C_1(p_1) + B/C_2(p_2) + \dots + B/C_n(p_n)}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} \Leftrightarrow EV = \sum_{i=1}^n B/C_i(p_i) \quad (2.18)$$

Επιπλέον, η CPDF δύναται να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία προκειμένου να υπολογιστεί η πιθανότητα για το δείκτη B/C να έχει υψηλότερες τιμές από συγκεκριμένες τιμές-στόχους, π.χ. η πιθανότητα $B/C > 1$, ή / και η πιθανότητα $B/C > 1.2$, κλπ. Μέσω αυτής της διεργασίας, οι λήπτες αποφάσεων έχουν όλα τα απαραίτητα αποτελέσματα και μπορούν να αποφασίσουν αν θα προχωρήσουν στην επένδυση ή όχι. Τα κριτήρια αξιολόγησης που δύναται να χρησιμοποιηθούν, παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

2.5.5 Προτιμήσεις ληπτών αποφάσεων έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου

Σε γενικό πλαίσιο, όταν συγκρίνονται οι εναλλακτικές μέθοδοι υλοποίησης ενός επενδυτικού έργου σύμφωνα με τους δείκτες B/C αυτών, B/C_1 , B/C_2 , B/C_3 , ..., B/C_a , για τις εναλλακτικές 1,2,3,...,a, αντίστοιχα, η εναλλακτική που προτιμάται είναι αυτή, στην οποία:

1. Ο δείκτης B/C έχει τη μεγαλύτερη αναμενόμενη τιμή EV σε σύγκριση με τις αντίστοιχες EV s των λοιπών εναλλακτικών. Για παράδειγμα, στη περίπτωση που η

$EV_1 = 1.4$, η $EV_2 = 1.3$, ..., και η $EV_a = 1.45$, τότε προτιμάται η εναλλακτική a , επειδή: $EV_a = 1.45 > EV_1 = 1.4 > \dots > EV_2 = 1.3$

2. Υπάρχει μικρότερη πιθανότητα (probability : p) για το δείκτη $B/C < 1$ ή / και μεγαλύτερη πιθανότητα για το δείκτη $B/C > 1$, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές πιθανότητων για τους δείκτες B/C των έτερων εναλλακτικών. Για παράδειγμα, εάν η πιθανότητα για το δείκτη $B/C_1 < 1$ είναι $p_1 = 15\%$, η αντίστοιχη πιθανότητα για τον $B/C_2 < 1$ είναι $p_2 = 35\%$, ..., η αντίστοιχη πιθανότητα για τον $B/C_a < 1$ είναι $p_a = 40\%$, τότε προτιμάται η εναλλακτική 1, καθώς: $p_1 = 15\% < p_2 = 35\% < \dots < p_a = 40\%$
3. Υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα για το δείκτη B/C να λάβει μία συγκεκριμένη τιμή-στόχο, σε σχέση με τις αντίστοιχες πιθανότητες των λοιπών εναλλακτικών.

Για παράδειγμα, εφόσον η πιθανότητα για το δείκτη $B/C_1 = 1.2$ είναι $p_1 = 40\%$, η αντίστοιχη πιθανότητα για τον $B/C_2 = 1.2$ είναι $p_2 = 60\%$, ..., η αντίστοιχη πιθανότητα για τον δείκτη $B/C_a = 1.2$ είναι $p_a = 25\%$, τότε προτιμάται η εναλλακτική 2, καθώς: $p_2 = 60\% > p_1 = 40\% > \dots > p_a = 25\%$

Εντούτοις, σε μία διεργασία λήψης απόφασης μέσω της ανάλυσης των κινδύνων, όπου τα κριτήρια αξιολόγησης καθώς και τα βάρη των κριτηρίων ορίζονται από τους λήπτες αποφάσεων, η συμπεριφορά των ληπτών αποφάσεων έναντι των κινδύνων είναι ιδιαίτερα κρίσιμη. Ειδικότερα, επισημαίνεται ότι οι προτιμήσεις των ληπτών αποφάσεων έναντι του κινδύνου, δηλ. εάν είναι ουδέτεροι έναντι του κινδύνου, κινδυνόφοι ή κινδυνόφιλοι, έχει μεγάλη επίδραση στις αποφάσεις βελτιστοποίησης (βλ. Yang et al., 2009; Wu et al., 2010; Zhao et al., 2010). Στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία, η προτίμηση ενός λήπτη αποφάσεων έναντι του κινδύνου, η οποία ορίζεται ως «η συμπεριφορά του λήπτη απόφασης έναντι του κινδύνου», κατηγοριοποιείται όπως παρακάτω:

- 1) Ουδέτερος έναντι του κινδύνου (Risk-neutral): ο λήπτης αποφάσεων ο οποίος αγνοεί τους κινδύνους κατά την αξιολόγηση μίας επένδυσης και λαμβάνει υπόψη μόνο την αναμενόμενη τιμή απόδοσης της επένδυσης.
- 2) Κινδυνόφοβος (Risk-averse): ο λήπτης αποφάσεων ο οποίος προτιμά μία επένδυση με σίγουρη απόδοση από μία επένδυση με αβέβαιη απόδοση υψηλότερη της πρώτης (Gan et al., 2004)
- 3) Κινδυνόφιλος (Risk-seeking): ο λήπτης αποφάσεων ο οποίος είναι πρόθυμος να αναλάβει μεγάλους κινδύνους, προκειμένου να μεγιστοποιήσει την ενδεχόμενη απόδοση από μία επένδυση.

Παραδείγματος χάρη, εφόσον ο δείκτης B/C ενός έργου έχει τη κατανομή CPDF που παρουσιάζεται στον Σχήμα 24, τότε ο κινδυνόφοβος λήπτης απόφασης θα επικεντρωθεί στη πιθανότητα για το δείκτη $B/C_A < 1$, που υπολογίζεται σε 11.44%. Αντιθέτως, ένας ουδέτερος έναντι του κινδύνου λήπτης αποφάσεων, θα δώσει μεγαλύτερη προτεραιότητα στην αναμενόμενη τιμή του δείκτη B/C , η οποία υπολογίζεται σε $EV_A = 1.2$, ενώ ένας κινδυνόφιλος λήπτης απόφασης θα επιζητήσει να αυξήσει την ενδεχόμενη απόδοση, π.χ. τη πιθανότητα για $B/C > 1.5$, η οποία υπολογίζεται σε $100 - 93.52 = 6.48\%$. Εντούτοις, εφόσον οι κατανομές CPDFs που απεικονίζονται στα Σχήματα 24 και 25 αντιπροσωπεύουν τις εναλλακτικές A και B ενός έργου, τότε η ανάλυση των CPDFs για τους δείκτες B/C δίνει:

- Για την εναλλακτική A , η πιθανότητα $p(0.5 < B/C_A < 1.0) = 11.44\%$, η $p(1.0 < B/C_A < 1.5) = 82.08\%$, η $p(1.5 < B/C_A < 2.0) = 6.48\%$, ενώ η $EV_A = 1.20$.
- Για την εναλλακτική B , η αντίστοιχη πιθανότητα υπολογίζεται σε $p(0.5 < B/C_B < 1.0) = 18.1\%$, η $p(1.0 < B/C_B < 1.5) = 59.46\%$, η $p(1.5 < B/C_B < 2.0) = 22.43\%$ και η $EV_B = 1.27$.

Σύμφωνα με αυτούς τους υπολογισμούς, συμπεραίνεται ότι λήπτες αποφάσεων με διαφορετικές προτιμήσεις έναντι του κινδύνου, πιθανώς θα χρησιμοποιήσουν διαφορετικά κριτήρια αξιολόγησης και θα επιλέξουν μία διαφορετική εναλλακτική, όπως παρακάτω:

- Ένας ουδέτερος έναντι του κινδύνου λήπτης αποφάσεων λαμβάνει υπόψη μόνο τις αναμενόμενες τιμές EVs των δεικτών B/C των εναλλακτικών και κατά συνέπεια θα προτιμήσει την εναλλακτική B έναντι της A , καθώς η $EV_B = 1.27 > EV_A = 1.20$.
- Ένας κινδυνόφοβος λήπτης αποφάσεων προτιμά την εναλλακτική με τη χαμηλότερη πιθανότητα για $B/C < 1$ σε σύγκριση με τις αντίστοιχες πιθανότητες της έτερης εναλλακτικής. Κατά συνέπεια, προτιμά την εναλλακτική A αντί της εναλλακτικής B , καθώς υπάρχει πιθανότητα 11.44% για το δείκτη $B/C_A < 1$ η οποία είναι χαμηλότερη από τη πιθανότητα του δείκτη $B/C_B < 1$, υπολογιζόμενου σε 18.11% .
- Ένας κινδυνόφιλος λήπτης αποφάσεων επιζητά να αυξήσει το προσδοκώμενο όφελος, π.χ. το δείκτη $B/C > 1.5$. Σε αυτή τη περίπτωση, προτιμά την εναλλακτική B έναντι της εναλλακτικής A , επειδή η πιθανότητα για το δείκτη $B/C_A > 1.5$ είναι $100 - 93.52 = 6.48\%$, η οποία είναι μικρότερη της αντίστοιχης πιθανότητας για $B/C_B > 1.5$ υπολογιζόμενη σε: $100 - 77.57 = 22.43\%$.

2.6 Επιμερισμός χρηματοοικονομικού κινδύνου σε επενδυτικές συνεργασίες

2.6.1 Οι διαπραγματεύσεις επιχειρηματικών συνεργασιών

2.6.1.1 Εισαγωγή

Μία επιχειρηματική συνεργασία καθορίζεται από ένα πεπερασμένο σύνολο δύο τουλάχιστον φορέων που συμπράττουν έχοντας κοινούς στόχους, από την εκπλήρωση των οποίων προκύπτει αμοιβαίο όφελος. Βασική προϋπόθεση προκειμένου να καταστεί βιώσιμη μία επιχειρηματική συνεργασία, είναι ο δίκαιος επιμερισμός του προκύπτοντος οφέλους μεταξύ των μετεχόντων σε αυτή. Κατά συνέπεια, κρίσιμο είναι το αρχικό στάδιο της διαπραγμάτευσης επί της κατανομής των αναμενόμενων κερδών και ζημιών. Η λύση διαπραγμάτευσης κατά Nash είναι μία μαθηματική προσέγγιση του διαπραγματευτικού αποτελέσματος, το οποίο προσδιορίζει τον επιμερισμό του προκύπτοντος πλεονάσματος προκειμένου να καταστεί βιώσιμη η επιχειρηματική συνεργασία.

Σε γενικό πλαίσιο, ως βιώσιμη ορίζεται η ανάπτυξη, η οποία ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες (UN, 1987). Σύμφωνα με τον Hawken (1993), μία επιχείρηση καθίσταται βιώσιμη, όταν δεν απαιτεί εξωτερικές πηγές κεφαλαίου προκειμένου να αναπτυχθεί, ενώ παράλληλα παράγει τέτοια προϊόντα (αγαθά ή / και υπηρεσίες), τα οποία μακροπρόθεσμα δε θα είναι επιβλαβή. Εντούτοις, η βιωσιμότητα δεν περιορίζεται μόνο στις

περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αλλά αναλύεται και σε έτερες διαστάσεις. Για παράδειγμα, αξιοσημείωτη είναι η έννοια της χρηματοοικονομικής βιωσιμότητας των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων, η οποία προκύπτει από τον Ευρωπαϊκό οδηγό για την ΑΚΟ (EC, 2008). Συγκεκριμένα, ο εν λόγω οδηγός διακρίνει τα έργα που παρουσιάζουν έλλειψη ρευστότητας, ως μη βιώσιμα χρηματοοικονομικά, καθώς η υλοποίηση των επενδυτικών έργων αυτής της κατηγορίας προϋποθέτει ότι κατά τη λειτουργική φάση αυτών είναι αναγκαία η περαιτέρω χρηματοδότησή τους από άλλους πόρους, αφού οι παραγόμενες από την επένδυση εισροές δεν θα μπορούν να καλύψουν το σύνολο των απαιτούμενων εκροών κατά το χρονικό διάστημα που παρουσιάζεται η έλλειψη ρευστότητας (βλ. παραδείγματα στην παρ. 2.3 της Διατριβής).

Μία ακόμα διάσταση της βιωσιμότητας εντοπίζεται στις επιχειρηματικές συνεργασίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι συνεργασίες του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα, είτε μέσω της μορφής των Συμπράξεων Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ), είτε μέσω των συμβάσεων παραχώρησης. Αντικειμενικός σκοπός των υπόψη συνεργασιών είναι η κατασκευή και λειτουργία βιώσιμων υποδομών, οπότε και κυρώνονται μέσω μακροχρόνιων συμβάσεων. Η βιωσιμότητα προσδιορίζεται από το γεγονός ότι η σχεδίαση και μελέτη των συγκεκριμένων έργων εφαρμόζονται σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα, που συνήθως κυμαίνεται από 20 – 40 έτη (Grimsey and Lewis, 2005; Akintoye et al., 2003). Επιπλέον, πλήθος διαφορετικών επιχειρηματικών συνεργασιών εφαρμόζονται και σε έτερους τομείς, όπως είναι οι κοινοπραξίες έργων και οι συμβάσεις μεταξύ των μετεχόντων στις εφοδιαστικές αλυσίδες.

Χωρίς αμφιβολία, ο πιο κρίσιμος ίσως παράγοντας που επιδρά στη βιωσιμότητα μίας οιασδήποτε επιχειρηματικής συνεργασίας, προσδιορίζεται στο αρχικό στάδιο της συνεργασίας και συγκεκριμένα στις διαπραγματεύσεις, οι οποίες λαμβάνουν χώρα μεταξύ των εν δυνάμει συνεργαζόμενων μερών. Κοινό τόπο αποτελεί ότι οποιοσδήποτε λογικός λήπτης αποφάσεων λαμβάνει μέρος σε μία διαπραγμάτευση, επιδιώκει την αποκόμιση κάποιου οφέλους, το οποίο δεν εκφράζεται σε όλες τις περιπτώσεις με χρηματοοικονομικούς όρους. Η έννοια της ορθολογικής (rationality) έγκειται στο γεγονός ότι οι αποφάσεις που λαμβάνονται ταυτίζονται με τη βασική επιδίωξη εκ μέρους του διαπραγματευόμενου, δηλ. τη μεγιστοποίηση του επιμεριζόμενου οφέλους (ή/και την ελαχιστοποίηση του αντίστοιχου κόστους). Κατά συνέπεια, η βιωσιμότητα μίας επιχειρηματικής συνεργασίας προϋποθέτει ότι όλοι οι μετέχοντες στη διαπραγμάτευση φορείς έχουν αντικρουόμενους στόχους και επιδιώξεις, καθώς επιζητούν να αποκομίσουν το μέγιστο δυνατό όφελος που αναμένεται να προκύψει από τη συνεργασία τους.

Ο Bernoulli (1738), ήταν ο πρώτος που ανέφερε ότι ένας ορθολογικός λήπτης αποφάσεων θα πρέπει να λαμβάνει αποφάσεις οι οποίες θα μεγιστοποιούν το αναμενόμενο όφελος. Αρκετά αργότερα, οι Von Neumann και Morgenstern (1944) έδειξαν ότι για κάθε ένα ορθολογικό λήπτη αποφάσεων, υπάρχει ένας συγκεκριμένος τρόπος αντιστοίχισης των ενδεχόμενων (πιθανών) αποτελεσμάτων με αριθμητικές τιμές ωφέλειας. Η συγκεκριμένη θεωρία καθορίζει ότι οι λήπτες αποφάσεων επιζητούν τη μεγιστοποίηση της αναμενόμενης τιμής ωφέλειάς τους.

2.6.1.2 Θεωρία Παιγνίων

Η θεωρία παιγνίων δύναται να οριστεί ως η μελέτη των μαθηματικών μοντέλων που αφορούν στον ανταγωνισμό ή τη συνεργασία μεταξύ λογικών ληπτών αποφάσεων. Η

εφαρμογή της συγκεκριμένης θεωρίας δεν περιορίζεται στην οικονομική επιστήμη, καθώς χρησιμοποιείται ευρέως στις πολιτικές επιστήμες, στη βιολογία, καθώς και στη ψυχολογία.

Με τον όρο «παίγνιο», δεν υποδηλώνεται η ανάλυση καταστάσεων ψυχαγωγίας, όπως αρχικά φαίνεται, αλλά κυρίως η ανάλυση της διαδραστικότητας και αλληλεπίδρασης μεταξύ των αποφάσεων των συνεργαζόμενων ή συγκρουόμενων παικτών. Παρά το γεγονός ότι η θεωρία παιγνίων έχει καταστεί μαθηματικά και λογικά συστημική από το 1944, οι πρώτες καταβολές στη θεωρητική ανάλυση των παιγνίων εντοπίζονται στην αρχαιότητα. Για παράδειγμα, σε δύο κείμενα του Πλάτωνα, «Λάχης» και «Συμπόσιο», ο Σωκράτης διηγείται ένα επεισόδιο από τη μάχη του Δήλιου, περιγράφοντας τα παρακάτω (Ross, 2010):

«Σκεφτείτε ένα στρατιώτη στο μπροστινό μέρος, περιμένοντας με τους συντρόφους του να αποκρούσει την επίθεση του εχθρού. Εφόσον η άμυνα είναι πιθανό να είναι επιτυχής, τότε δεν είναι πολύ πιθανό ότι η προσωπική συμβολή του θα είναι απαραίτητη. Αλλά αν μείνει, διατρέχει τον κίνδυνο να σκοτωθεί ή τραυματιστεί. Από την άλλη πλευρά, αν ο εχθρός πρόκειται να κερδίσει τη μάχη, τότε οι πιθανότητες του θανάτου ή τραυματισμού είναι ακόμη υψηλότερες, δεδομένου ότι η γραμμή θα υπερκεραστεί ούτως ή άλλως. Με βάση αυτό το σκεπτικό, φαίνεται ότι ο στρατιώτης είναι καλύτερα να τρέξει μακριά, ανεξάρτητα από το ποιος θα κερδίσει τη μάχη. Είναι προφανές όμως, ότι εάν το σύνολο των στρατιωτών σκεφτούν με αυτό τον τρόπο, τότε αυτό σίγουρα θα επιφέρει το αποτέλεσμα να χαθεί η μάχη. Φυσικά, αυτό το ενδεχόμενο, δεδομένου ότι εμφανίστηκε σε μας ως αναλυτές, δύναται να μπορεί να συμβεί σε όλους τους στρατιώτες. Μήπως αυτό τους δίνει ένα λόγο να παραμείνουν στις θέσεις τους; Ακριβώς το αντίθετο: όσο μεγαλύτερος ο φόβος των στρατιωτών ότι η μάχη θα χαθεί, τόσο μεγαλύτερο είναι το κίνητρο για τους για να βγούνε από το δρόμο της ζημίας. Και η μεγαλύτερη πίστη των στρατιωτών ότι η μάχη θα κερδηθεί ανεξαρτήτως της ατομικής τους συνεισφοράς, τόσο μικρότερο το κίνητρο να μείνουν και να πολεμήσουν. Έτσι, εάν κάθε στρατιώτης προβλέπει ότι οι υπόλοιποι θα κάνουν αυτό το συλλογισμό, όλοι θα οδηγηθούν γρήγορα σε πανικό με αποτέλεσμα ο έντρομος διοικητής τους να έχει ηττηθεί χωρίς ο εχθρός να έχει καν επιτεθεί».

Στη σύγχρονή της μορφή, η θεωρία παιγνίων παρέχει μαθηματικές τεχνικές για την ανάλυση καταστάσεων, όπου δύο ή περισσότερα άτομα λαμβάνουν αποφάσεις που επηρεάζουν την ευημερία των υπόλοιπων παικτών και διαιρείται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα συνεργατικά (cooperative) και τα μη συνεργατικά ή συγκρουσιακά (non-cooperative) παίγνια. Σύμφωνα με τον Maskin (2011), η διαφορά μεταξύ παιγνίων συνεργασίας και σύγκρουσης, προσδιορίζεται σε κάποιες βασικές παραδοχές που χρησιμοποιούνται στα συνεργατικά παίγνια, οι οποίες αναφέρονται παρακάτω:

- Αγνοούνται οι όποιες εξωτερικότητες, δηλ. η πιθανότητα ότι ένας συνασπισμός συνεργασίας μπορεί να επηρεαστεί από τις ενέργειες εκείνων που δεν ανήκουν στο συνασπισμό. Η συγκεκριμένη παραδοχή είναι αρκετά σημαντική, δεδομένου ότι η ποσοτική ωφέλεια που επιμερίζεται μέσω μίας χαρακτηριστική συνάρτησης στα μέλη ενός συνασπισμού συνεργασίας, θεωρείται ανεξάρτητη από τους λοιπούς συνεργατικούς συνασπισμούς που δύναται να συγκροτηθούν.

- Υφίσταται η υπόθεση ότι το αποτέλεσμα θα είναι βέλτιστο κατά Pareto, δηλ. το όποιο θετικό πλεόνασμα θα επιμεριστεί όλο μεταξύ των συνεργαζόμενων μερών, ικανοποιώντας το αξίωμα της αποτελεσματικότητας.

Ειδικότερα, τα συνεργατικά παίγνια επικεντρώνονται στην αναζήτηση της δίκαιης λύσης στο πρόβλημα επιμερισμού ενός θετικού πλεονάσματος (ωφέλειας) μεταξύ ενός πεπερασμένου συνόλου παικτών (άτομα, οργανισμοί, επιχειρήσεις, κτλ), οι οποίοι διαπραγματεύονται. Σύμφωνα με τη θεωρία των παιγνίων συνεργασίας, ο όρος διαπραγμάτευση αναφέρεται σε μια κατάσταση στην οποία:

- Οι μετέχοντες έχουν τη δυνατότητα σύναψης μιας αμοιβαία επωφελούς συμφωνίας
- Υφίστανται αντικρουόμενα συμφέροντα σε σχέση με τη συμφωνία που θα συναφθεί (καθώς όλοι επιζητούν τη μεγιστοποίηση του αναμενόμενου όφελους) και
- Η συμφωνία δεν μπορεί να επιβληθεί σε κάποιον παίκτη χωρίς την έγκρισή του.

2.6.2 Η δικαιοσύνη στις διαπραγματεύσεις επιχειρηματικών συνεργασιών

2.6.2.1 Μηχανισμοί επιμερισμού πλεονάσματος και διαπραγματεύσεις σε στοχαστικό περιβάλλον

Σε πρόσφατες δημοσιεύσεις, η δίκαιη διανομή ενός πλεονάσματος μεταξύ κινδυνόφοβων παικτών εξετάζεται από τους Barbanel και Brams (2004), ενώ διάφοροι ερευνητές αναλύουν τους μηχανισμούς επιμερισμού κέρδους (Bughin, 1999), επιμερισμού εσόδων (Linh και Hong, 2009), επιμερισμού κόστους (Hoefler, 2012) και επιμερισμού εσόδων-κόστους (Kunter, 2012; Karmperis et al., 2012b) σε συνεργατικές δομές. Έτερα μοντέλα διαίρεσης ενός πλεονάσματος εφαρμόζονται στο σχηματισμό εφοδιαστικών δικτύων (Hennet και Mahjoub, 2010), σε αποκεντρωμένες εφοδιαστικές αλυσίδες (Li et al., 2009; Ding et al., 2011), καθώς και σε περιπτώσεις επιμερισμού ύδατος από ποταμούς (van den Brink et al., 2011) και επιμερισμού υπογείων υδάτων (Saleh et al., 2011).

Όπως επισημαίνεται από τους Carraro et al. (2005), η θεωρητική επιστημονική βιβλιογραφία για τις διαπραγματεύσεις σε στοχαστικό περιβάλλον είναι αρκετά περιορισμένη. Ειδικότερα, ελάχιστες δημοσιεύσεις εξετάζουν περιπτώσεις όπου οι παίκτες διαπραγματεύονται για ένα πλεόνασμα με αβέβαιο μέγεθος, δηλ. λαμβάνουν ανεξάρτητα τμήματα του πλεονάσματος, που καλούνται μερίδια (Moulin, 1987), με αβέβαια μεγέθη. Μία από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές για τη διαχείριση της αβεβαιότητας είναι η προσομοίωση Μόντε Κάρλο (Monte Carlo Simulation, MCS), η οποία λαμβάνει υπόψη την επίδραση από ένα σύνολο στοχαστικών μεταβλητών (εισερχόμενα) και ορίζει το πιθανό εύρος τιμών των εξερχόμενων, που αναπαρίσταται γραφικά με τη σωρευτική κατανομή πιθανότητας (βλ. διάφορες εφαρμογές στους Mitropoulou et al., 2011; Keraptsoglou et al., 2010; Karmperis et al., 2012; Tziralis et al., 2009).

Ωστόσο, ένας ορθολογικός επενδυτής επιθυμεί την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας των αναμενόμενων ζημιών (Wu and Olson, 2010) ή / και τη μεγιστοποίηση της πιθανότητας των αναμενόμενων κερδών. Τούτο σημαίνει ότι μία κατανομή, σύμφωνα με την οποία η πιθανότητα να είναι αρνητικό το μερίδιο ενός παίκτη είναι υψηλή και οι αντίστοιχες πιθανότητες να είναι αρνητικά τα μερίδια των συνεργαζόμενων είναι χαμηλές, δεν μπορεί να θεωρηθεί ως δίκαιη. Με άλλα λόγια, η δίκαιη κατανομή ενός πλεονάσματος θα πρέπει να βασίζεται όχι μόνο στις αναμενόμενες τιμές των μεριδίων των παικτών, αλλά θα πρέπει επιπλέον να λαμβάνει υπόψη τις τυπικές αποκλίσεις αυτών. Εάν οι παίκτες συμφωνήσουν σε

ένα συγκεκριμένο σχήμα επιμερισμού του πλεονάσματος στο πλαίσιο της διαπραγματευτικής λύσης NBS, τότε η δικαιοσύνη επιτυγχάνεται όταν οι αναμενόμενες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των μεριδίων των παικτών είναι ανάλογες ως προς τη NBS. Η αναλογικότητα περικλείει το ότι εφόσον το πλεόνασμα θα πρέπει να επιμεριστεί ισόποσα, οι αναμενόμενες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των μεριδίων θα πρέπει να είναι ίσες. Συγκεκριμένα, σε αντίθεση με τους Csóka και Pintér (2011), που υποστηρίζει την αδυναμία επίτευξης ενός δίκαιου επιμερισμού των κινδύνων, στη παράγραφο 5.2 της Διατριβής, αναπτύσσεται ένα βασικό μοντέλο για τον ίσο επιμερισμό των κερδών και των κινδύνων μεταξύ παικτών που εξετάζουν τη δυνατότητα συνεργασίας αναλαμβάνοντας ανεξάρτητα τμήματα του κόστους ενός συστήματος και επιμερίζοντας το υπολειπόμενο κόστος και τα έσοδα. Αποδεικνύεται ότι όταν δύο πίτες με αβέβαια μεγέθη επιμερίζονται μεταξύ μη πανομοιότυπων παικτών, υπάρχει ένα πεπερασμένο σύνολο λύσεων που εξαρτάται από τον αριθμό των παικτών. Ωστόσο, αυτό το μοντέλο περιορίζεται σε περιπτώσεις με δύο στοχαστικές πίτες. Στην παράγραφο 5.3. της Διατριβής, εξετάζεται ένα στοχαστικό περιβάλλον, στο οποίο η συνολική απόδοση αποτελείται από πολλαπλές πίτες με αβέβαια μεγέθη και το πλεόνασμα δεν επιμερίζεται κατ' ανάγκη ισόποσα, δηλ. όταν οι παίκτες διαπραγματεύονται και συμφωνούν σε μία συγκεκριμένη λύση διαπραγμάτευσης NBS, η κατανομή δύναται να είναι είτε συμμετρική με ίσες απολαβές ή ασύμμετρη με ίσες ή άνισες απολαβές (Kalai, 1977; Roth, 1979; Binmore et al., 1989).

Η σχεδίαση των συμβάσεων επιμερισμού εσόδων καθώς και η διεργασία διαπραγμάτευσης μεταξύ των συνεργαζομένων μερών παρουσιάζεται από τους Giannoccaro και Pontrandolfo (2009), ενώ οι Hennet και Mahjoub (2010) εξετάζουν τον επιμερισμό εσόδων στο σχηματισμό ενός δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας προτείνοντας συγκεκριμένους κανόνες επιμερισμού που διασφαλίζουν τις θετικές απολαβές για το σύνολο των επιχειρήσεων του δικτύου. Ένα μοντέλο επιμερισμού κέρδους για τις εφοδιαστικές αλυσίδες με αποκεντρωμένη διοίκηση αναπτύσσεται από τους Li et al., (2009), οι Leng και Parlar (2009) τεκμηριώνουν ότι ένα σύστημα μπορεί να συντονιστεί μέσω μίας κατάλληλα σχεδιασμένης σύμβασης επιμερισμού κέρδους και ο Lakhal (2006) παρουσιάζει ένα πλαίσιο επιμερισμού-κέρδους και μεταφοράς τιμών για επιχειρήσεις που συγκροτούν εφοδιαστικά δίκτυα. Επιπλέον, οι Giannoccaro και Pontrandolfo (2004) αναλύουν το συντονισμό που επιτυγχάνεται μέσω μίας σύμβασης επιμερισμού-εσόδων, ενώ οι Linh και Hong (2009) προτείνουν μία σύμβαση επιμερισμού-εσόδων που εγγυάται ένα "win-win" αποτέλεσμα προτείνοντας ότι το ποσοστό επιμερισμού εσόδων δύναται να αποτελέσει αντικείμενο διαπραγμάτευσης. Περαιτέρω, οι Leng και Parlar (2010) υποστηρίζουν ότι ο συντονισμός του συστήματος μπορεί να επιτευχθεί μέσω κατάλληλα σχεδιασμένων συμβάσεων επιμερισμού κόστους, ενώ οι Karmpiris et al. (2010) παρουσιάζουν μία μέθοδο επιμερισμού χρηματοδότησης μεταξύ δύο συνεργαζόμενων μερών και οι Sotirchos et al. (2011) αναπτύσσουν ένα μαθηματικό τύπο που αυξάνει τη χρηματοοικονομική βιωσιμότητα των έργων ΣΔΙΤ στην Ελλάδα.

Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη ότι ένας μηχανισμός επιμερισμού ενός πλεονάσματος θα πρέπει να έχει ως οδηγό τους κινδύνους, όπως προτείνεται από τους Lo Nigro and Abbate (2011), υπάρχει μία ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των μεριδίων ενός πλεονάσματος με τους κινδύνους που επιμερίζονται στους παίκτες. Εξάλλου, όπως αναφέρεται από τους Denning et al. (2006), οι επιχειρήσεις συνεργάζονται προκειμένου να έχουν έναν αποτελεσματικό επιμερισμό-κινδύνου, καθώς στο 96% των συνεταιριστικών επιχειρήσεων στις ΗΠΑ περιλαμβάνεται τέτοιος επιμερισμός μεταξύ των μετεχόντων. Για παράδειγμα, οι

Lai et al. (2009) επισημαίνουν τη σημαντικότητα του επιμερισμού των κινδύνων, οι Chauhan and Proth (2005) τονίζουν ότι ο επιμερισμός-κέρδους μεταξύ των παικτών θα πρέπει να είναι σε αναλογία με τις χρηματοδοτικές τους εισφορές και την ανάληψη εξ'αυτών των κινδύνων της συνεργασίας, ενώ οι Shi et al. (2010) αναπτύσσουν ένα αναλυτικό μοντέλο που βασίζεται στη μεγιστοποίηση της πιθανότητας ότι μία επιχείρηση θα πετύχει κάποιο στοχευόμενο κέρδος. Στην παράγραφο 5.1 της Διατριβής, αναπτύσσεται μία μέθοδος ποσοτικής ανάλυσης των κινδύνων για τον υπολογισμό του εύρους των αμοιβαίως κερδοφόρων χρηματοδοτικών σχημάτων σε συμπράξεις δημόσιου ιδιωτικού τομέα σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο πιθανοτήτων.

Οι εφαρμογές της θεωρίας των συνεργατικών παιγνίων για συστήματα πολλαπλών παικτών, με επικέντρωση στον επιμερισμό των κερδών και στη σταθερότητα, παρουσιάζονται από τους Nagarajan και Sosis (2008), ενώ εξετάζονται και από έτερους συγγραφείς (Dukovska και Percinkova, 2010; Karmperis et al. 2011a; Dukovska και Percinkova, 2011)

2.6.2.2 Δικαιοσύνη σε συνεργατικά παίγνια

Περισσότερα από 2000 χρόνια πριν, ο Αριστοτέλης στα «Ηθικά Νικομάχεια» καθιέρωσε τη βασική αρχή της δικαιοσύνης. Ειδικότερα, υποστήριξε ότι: *οι ίσοι θα πρέπει να μεταχειρίζονται ίσα και οι άνισοι θα πρέπει να μεταχειρίζονται άνισα, σε αναλογία με τις ομοιότητες και τις διαφορές τους* (Barnes, 1984; Binmore, 2001). Αυτή είναι μία βασική αρχή, η οποία έχει εφαρμογή σε όλους τους τύπους συνεργατικών δομών, π.χ. η ίση μεταχείριση και η αναλογικότητα είναι δύο βασικές αρχές του δδικαίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η θεωρία των συνεργατικών παιγνίων εφαρμόζεται σε ένα πεπερασμένο σύνολο παικτών, που ονομάζεται μεγάλος-συνασπισμός, ενώ κάθε υποσύνολο στο οποίο δύναται αυτός να διαιρεθεί ονομάζεται συνασπισμός (Renna και Argoneto, 2011), και ο συνασπισμός με ένα παίκτη καλείται μονήρης (McCain, 2008). Ένα συνεργατικό παίγνιο για ένα μεγάλο-συνασπισμό $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$, είναι είτε ένα ζεύγος (N, ρ) με μία χαρακτηριστική συνάρτηση $\rho : 2^N \rightarrow \mathbb{R}$, με $\rho(\emptyset) = 0$, η οποία αντιπροσωπεύει τη συλλογική αμοιβή για το σύνολο των παικτών που συγκροτούν ένα συνασπισμό (Guardiola et al., 2007), ή ένα ζεύγος (N, c) με μία χαρακτηριστική συνάρτηση $c : 2^N \rightarrow \mathbb{R}$, με $c(\emptyset) = 0$, που αντιπροσωπεύει το κόστος για ένα σύνολο παικτών που συνεργάζονται για την υλοποίηση μίας συγκεκριμένης δραστηριότητας (Tijs and Driessen, 1986). Η λύση του παιγνίου είναι ένα διάνυσμα $x \in \mathbb{R}^N$ που αντιπροσωπεύει τον επιμερισμό του συνολικού κέρδους $\rho(N)$ ή κόστους $c(N)$ σε έκαστο παίκτη. Γενικότερα, ένα μή μηδενικό πλεόνασμα δύναται να μοιραστεί με δικαιοσύνη ακολουθώντας τον ίσο ή αναλογικό επιμερισμό (Moulin, 1987). Στην επιστημονική βιβλιογραφία, διάφορες δημοσιεύσεις στοχεύουν στον αξιωματικό προσδιορισμό δίκαιων λύσεων, ενώ μία διαφορετική προσέγγιση της δικαιοσύνης καταλήγει σε μία διαφορετική θεώρηση της λύσης. Αυτές είναι η λύση των von Neumann and Morgenstern (1944), η αξία του Shapley (1953), ο πυρήνας (Gillies, 1959), και ο πυρήνικός (Schmeidler, 1969). Επιπλέον, εναλλακτικά αξιώματα προτείνονται από τους Kalai and Samet (1985), Young (1985), και Chun (1988).

Ωστόσο, η περισσότερο ευρέως εφαρμοσμένη λύση για το διαπραγματευτικό πρόβλημα με σταθερές εξοφλήσεις διαφωνίας είναι η λύση διαπραγμάτευσης του Nash (Nash-bargaining solution, NBS) (Nash, 1950; Nash, 1951). Η NBS περιλαμβάνει έναν

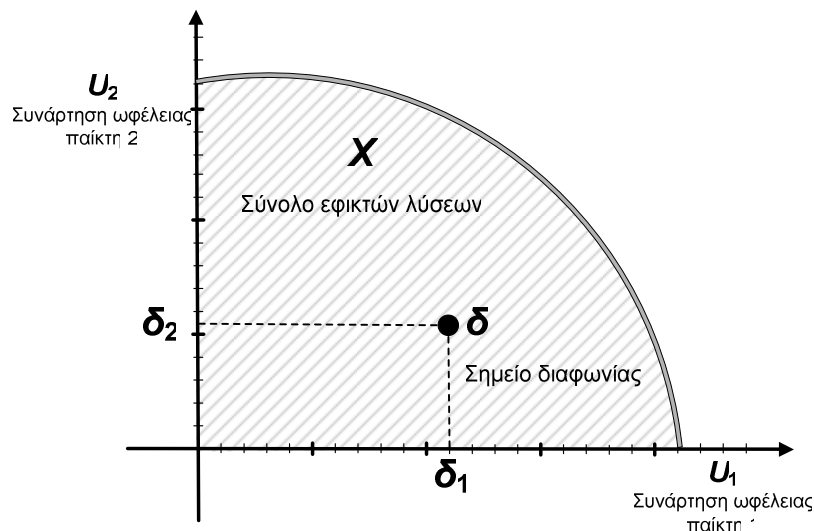
αξιωματικό προσδιορισμό της λύσης για το διαπραγματευτικό παίγνιο μεταξύ δύο παικτών, που έχουν πλήρη ενημέρωση (Wong, 2010; Madani, 2011) και εξετάζουν το ενδεχόμενο συνεργασίας με τη διαίρεση ενός συγκεκριμένου πλεονάσματος. Αυτή η λύση, η οποία μπορεί εύκολα να επεκταθεί σε περισσότερα από δύο άτομα (Harsanyi, 1959; 1963), ικανοποιεί ένα σύνολο αξιωμάτων: είναι γραμμικά αμετάβλητη και ανεξάρτητη από "άσχετες" εναλλακτικές (προστατεύεται από το μονότονο μετασχηματισμό των συναρτήσεων ωφέλειας των παικτών καθώς και τον αποκλεισμό των μη επιλεγμένων εναλλακτικών λύσεων από το σύνολο των διαπραγματευτικών λύσεων); Βελτιστότητα κατά Pareto (κάθε αλλαγή σε μία διαφορετική κατανομή που αυξάνει την ωφέλεια ενός παίκτη θα πρέπει να μειώνει την αντίστοιχη ωφέλεια ενός άλλου); εφικτότητα (το άθροισμα των μεριδίων που λαμβάνουν οι παίκτες δεν υπερβαίνει τη συνολική πίτα) και συμμετρία (οι επιμεριζόμενες ωφέλειες σε δύο πανομοιότυπους παίκτες είναι ίσες). Επιπλέον, η ασύμμετρη NBS εφαρμόζεται σε περιπτώσεις με ανόμοιους παίκτες (Kalai, 1977; Roth, 1979).

2.6.2.3 Η λύση διαπραγμάτευσης του Nash

Μία από τις σημαντικότερες προσωπικότητες του επιστημονικού χώρου κατά τον 20^ο αιώνα, και θεμελιωτής της θεωρίας των παιγνίων είναι ο John F. Nash, ο οποίος γεννήθηκε στις 13 Ιουνίου 1928 στη Δυτική Βιρτζίνια των ΗΠΑ. Μολονότι ο πατέρας του ήταν μηχανικός, ο Nash επέλεξε και αφοσιώθηκε στον κλάδο των μαθηματικών. Αξίζει να αναφερθεί ότι το μόνο μάθημα περί της οικονομικής επιστήμης που παρακολούθησε ως φοιτητής ήταν το διεθνές εμπόριο, πλην όμως ο ίδιος έχει αναφέρει ότι ήταν αυτό που ενέπνευσε το έργο του στις διαπραγματεύσεις. Η πρωτοτυπία του έργου του μπορεί να αποτιμηθεί από το γεγονός ότι τη δεδομένη εποχή, οι οικονομολόγοι αντιμετώπιζαν τις διαπραγματεύσεις ως ένα αόριστο πρόβλημα, το οποίο καθορίζεται από τις «διαπραγματευτικές ικανότητες» των συμμετεχόντων (Binmore, 2011).

Οι Von Neumann και Morgenstern (1944), με το διάσημο βιβλίο τους «*Theory of Games and Economic Behavior*», υποστήριξαν πρώτοι ότι μία επιχειρηματική συμφωνία δεν μπορεί να προσδιοριστεί περισσότερο από τη χρήση δύο συγκεκριμένων αξιωμάτων. Τα υπόψη αξιώματα υπαγορεύουν ότι η συμφωνία θα πρέπει να είναι ατομικά ορθολογική και βέλτιστη κατά Pareto. Στον αντίποδα, ο Nash (1950) χρησιμοποιώντας μαθηματικό λογισμό, υποστήριξε ότι το αποτέλεσμα στο πρόβλημα μίας ορθολογικής διαπραγμάτευσης επί μίας ενδεχόμενης επιχειρηματικής συμφωνίας είναι απόλυτα καθορισμένο. Γενικότερα, κάθε είδους διαπραγμάτευση επί μίας επιχειρηματικής συμφωνίας, προϋποθέτει ότι υφίσταται ένα θετικό πλεόνασμα (ωφέλεια ή/ και κόστος) που πρέπει να επιμεριστεί μεταξύ των διαπραγματευόμενων μερών (Moulin, 1987). Ο Nash (1950) επικεντρώθηκε στο πρόβλημα της διαπραγμάτευσης μεταξύ δύο ατόμων (παίκτης 1 και παίκτης 2), το οποίο και θεώρησε ως ένα ζεύγος (X, δ) , όπου το X συμβολίζει το σύνολο των εφικτών λύσεων και είναι ένα κυρτό, συμπαγές σύνολο που περιέχει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς επιμερισμού του πλεονάσματος, οι οποίοι είναι σε αντιστοιχία με τις πιθανές εκβάσεις της διαπραγμάτευσης. Επιπλέον, το δ είναι ένα σημείο εντός του X , που ονομάζεται και σημείο διαφωνίας (disagreement point), καθώς αντιπροσωπεύει το αντίστοιχο πλεόνασμα που θα λάβουν τα διαπραγματευόμενα μέρη εφόσον δεν καταφέρουν να συμφωνήσουν. Η γραφική απεικόνιση των παραπάνω στο επίπεδο, παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα 26.

Υπό μία έννοια, το συγκεκριμένο σημείο δ δύναται να ταυτιστεί και με το κόστος ευκαιρίας (opportunity cost) των διαπραγματευόμενων. Ως κόστος ευκαιρίας ορίζεται το πλεόνασμα που λαμβάνεται από μία συγκεκριμένη επιχειρηματική δραστηριότητα, σε σύγκριση με το αντίστοιχο πλεόνασμα που λαμβάνεται από την επόμενη καλύτερη εναλλακτική λύση, η οποία δεν έχει επιλεγεί. Με άλλα λόγια, εφόσον κάποιος από τους διαπραγματευόμενους διαφωνήσει ως προς το τελικό αποτέλεσμα, τότε αμφότεροι θα στραφούν στην επόμενη βέλτιστη εναλλακτική επιχειρηματική δραστηριότητα, από την οποία θα αποκομίσουν το οριζόμενο από το σημείο δ όφελος.

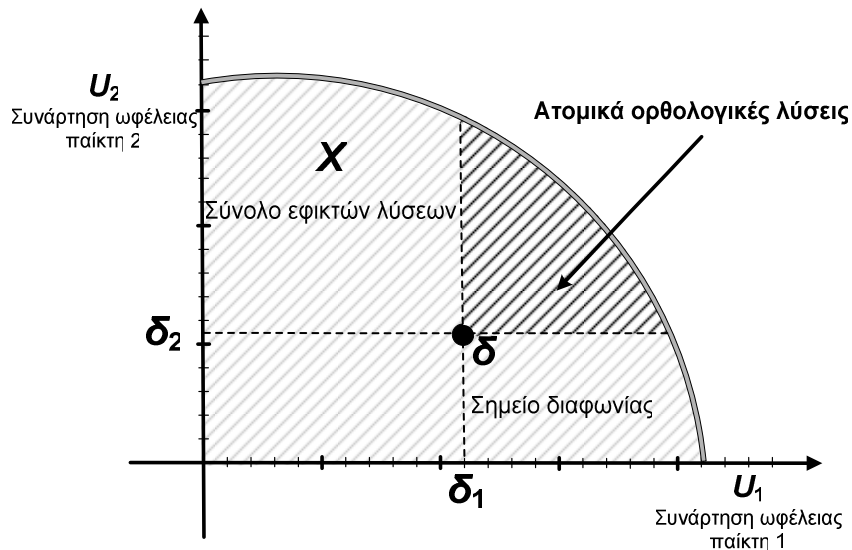


Σχήμα 26. Γραφική απεικόνιση παιγνίου διαπραγμάτευσης

Ο Nash δεν ασχολήθηκε ούτε με τη διαπραγματευτική ικανότητα των παικτών, ούτε και με τη μοντελοποίηση των διαδικασιών των προσφορών, των απορρίψεων και της αποδοχής που δύναται να λάβουν χώρα εντός μίας διαπραγματευτικής διεργασίας, πλην όμως επικεντρώθηκε στο τελικό αποτέλεσμα αυτής. Συγκεκριμένα, εισήγαγε μία αξιωματική προσέγγιση για την ορθολογική έκβαση των προβλημάτων διαπραγμάτευσης, σύμφωνα με την οποία υπάρχει ένα μοναδικό διαπραγματευτικό αποτέλεσμα, το οποίο ικανοποιεί τα παρακάτω αξιώματα:

- **Αξίωμα 1.** *Ατομικά ορθολογικό* (Individual rational)

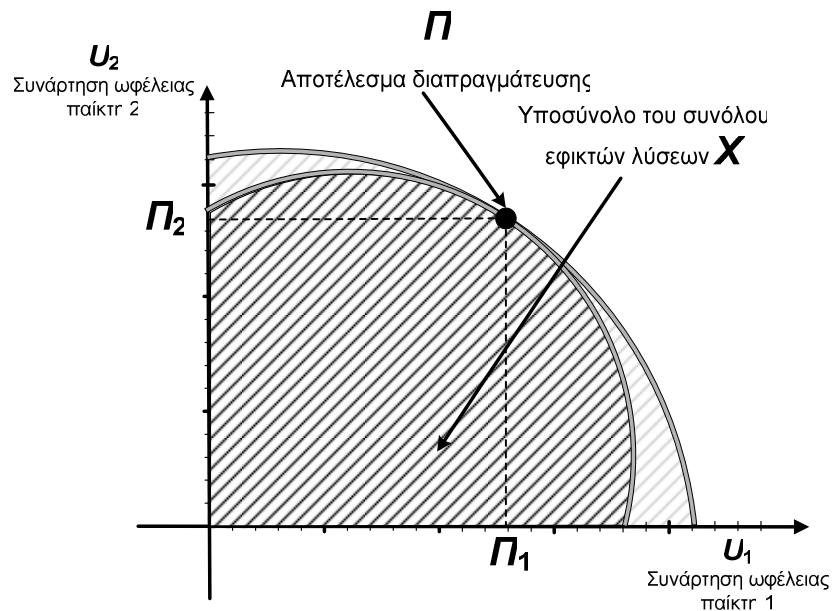
Σύμφωνα με το αξίωμα αυτό, έκαστος παίκτης θα πρέπει να λάβει πλεόνασμα τουλάχιστον όσο και το αντίστοιχο πλεόνασμα που θα λάβει στη περίπτωση μη συμφωνίας (δηλ. μεγαλύτερο από το κόστος ευκαιρίας του). Αυτό απεικονίζεται γραφικά στο επόμενο Σχήμα 27, όπου ικανοποιούνται οι περιορισμοί $\Pi_1 > \delta_1$ και $\Pi_2 > \delta_2$.



Σχήμα 27. Γραφική απεικόνιση αξιώματος ατομικά ορθολογικών λύσεων

- **Αξίωμα 2.** *Ανεξαρτησία από “άσχετες” εναλλακτικές* (Independent of Irrelevant Alternatives)

Συγκεκριμένα, εφόσον επιλεγεί το σημείο Π (Π_1, Π_2) που ανήκει στο σύνολο των εφικτών λύσεων X , τότε για κάθε υποσύνολο του X το οποίο περιέχει το σημείο Π , το σημείο αυτό Π θα είναι και πάλι το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης (βλ. Σχήμα 28).



Σχήμα 28. Γραφική απεικόνιση αξιώματος ανεξαρτησίας από έτερες εναλλακτικές

- **Αξίωμα 3.** *Βελτιστότητα κατά Pareto* (Pareto-optimality)

Σύμφωνα με το 3^ο αξίωμα, δεν μπορεί κάποιος παίκτης να λάβει μεγαλύτερο πλεόνασμα από αυτό που του διανέμεται σύμφωνα με το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης,

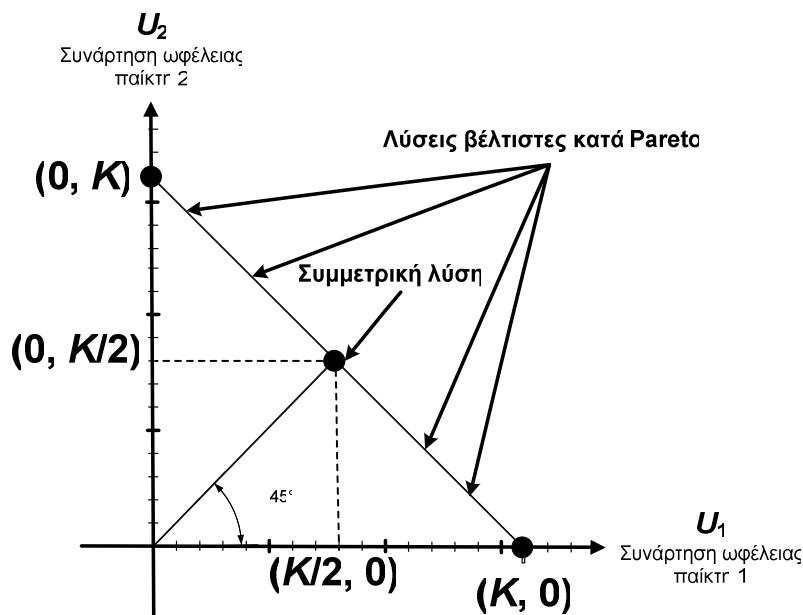
χωρίς παράλληλα να αναγκάσει τον έτερο παίκτη να λάβει μικρότερο πλεόνασμα από το αντίστοιχο που καθορίζει το αποτέλεσμα.

▪ **Αξίωμα 4.** Συμμετρία (Symmetry)

Το αξίωμα αυτό καθορίζει ότι σε συμμετρικές καταστάσεις το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης είναι συμμετρικό. Ειδικότερα, εφαρμόζεται στη περίπτωση όπου όλοι οι διαπραγματευόμενοι έχουν ίσες συναρτήσεις ωφέλειας (utility functions), οι οποίες εκφράζουν την αποτίμηση σε αξία των επενδυτικών επιλογών τους, οπότε το πλεόνασμα επιμερίζεται ισόποσα μεταξύ των.

▪ **Αξίωμα 5.** Σταθερότητα σε ισοδύναμες αναπαραστάσεις ωφέλειας. (Invariant to equivalent utility representations)

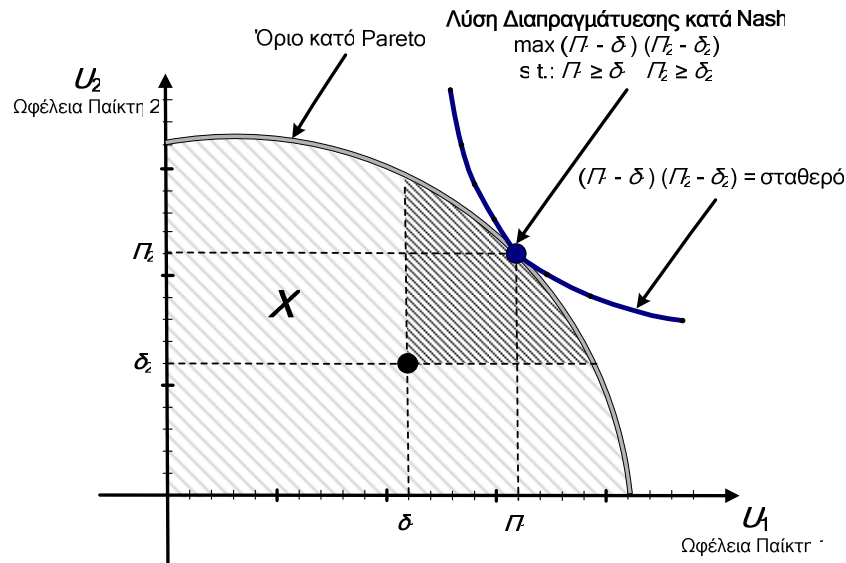
Σύμφωνα με αυτό το αξίωμα, το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης Π προστατεύεται από γραμμικούς μετασχηματισμούς και παραμένει αμετάβλητο από ισοδύναμες



Σχήμα 29. Γραφική απεικόνιση αξιωμάτων συμμετρίας και βελτιστότητας κατά Pareto

αναπαραστάσεις των συναρτήσεων ωφέλειας, δηλ. αν οι συναρτήσεις ωφέλειας μεταβληθούν με την ίδια αναλογία, τότε το Π (Π_1, Π_2) δεν μεταβάλλεται.

Όπως φαίνεται στο επόμενο Σχήμα 30, ο Nash απέδειξε ότι υπάρχει μία μοναδική λύση η οποία απεικονίζεται από ένα σημείο Π (Π_1, Π_2) του συνόλου X (στη περίπτωση των δύο παικτών), με το οποίο μεγιστοποιείται το γινόμενο: $(\Pi_1 - \delta_1) (\Pi_2 - \delta_2)$, σύμφωνα με τους περιορισμούς: $\Pi_1 > \delta_1$ και $\Pi_2 > \delta_2$. Η συγκεκριμένη λύση είναι ευρέως γνωστή ως Λύση Διαπραγμάτευσης κατά Nash (Nash Bargaining Solution), και είναι η μόνη η οποία ικανοποιεί τα παραπάνω Αξιώματα 1 έως και 5.



Σχήμα 30. Γραφική απεικόνιση Λύσης Διαπραγμάτευσης του Nash

2.6.2.4 Εφαρμογές της διαπραγματευτικής λύσης του Nash

Τα τελευταία 30 χρόνια, η θεωρία παιγνίων έχει βρει ευρύτατη εφαρμογή στην οικονομική επιστήμη, όπου ολόκληροι κλάδοι στηρίζονται στις μεθόδους της, όπως είναι η βιομηχανική οργάνωση (industrial organisation), ο σχεδιασμός μηχανισμών (mechanism design) με σπουδαιότερο υποκλάδο τον σχεδιασμό δημοπρασιών (auctions), π.χ. οι δημοπρασίες συχνοτήτων επικοινωνιών. Επίσης, η θεωρία παιγνίων χρησιμοποιείται και στη πολιτική οικονομία και ειδικά στη θεωρία της συλλογικής δράσης (Collective action), όπου εξετάζει τα ενδεχόμενα συνεργασίας μεταξύ των παικτών, οπότε αναλύεται ως συνεργατικό παίγνιο. Το γεγονός αυτό βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση με τον ρόλο του κράτους και των θεσμών σε θέματα συνεργασίας, για παράδειγμα η παροχή δημόσιων αγαθών και υπηρεσιών, ή/και η φορολόγηση. Περαιτέρω, η θεωρία παιγνίων εφαρμόζεται ευρέως και σε άλλες επιστήμες, όπως είναι η εξελικτική βιολογία, ψυχολογία, κοινωνιολογία κλπ.

Ο Nash τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ το 1994, για τη σύντομη Διατριβή του, στην οποία όρισε την έννοια της ισορροπίας ως ένα προφίλ στρατηγικών, μία για κάθε παίκτη. Συγκεκριμένα, η στρατηγική έκαστου παίκτη είναι η βέλτιστη απάντηση στις στρατηγικές που επιλέγονται από τους έτερους παίκτες, αποδεικνύοντας ότι όλα τα πεπερασμένα παίγνια στα οποία επιτρέπονται οι μικτές στρατηγικές, έχουν ένα τέτοιο σημείο ισορροπίας.

Αξιοσημείωτη παρατήρηση στη Λύση Διαπραγμάτευσης κατά Nash είναι ότι χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις ωφέλειας, δεν περιορίζεται στις συνεργατικές περιπτώσεις που έχουν ως αντικείμενο διαπραγμάτευσης ένα χρηματοοικονομικό πλεόνασμα, πλην όμως εφαρμόζεται σε όλους τους τύπους που μπορεί να ποσοτικοποιηθεί η ωφέλεια που αποκομίζει ένας παίκτης. Ειδικότερα, οι συναρτήσεις ωφέλειας εκφράζουν την ικανοποίηση των διαπραγματευομένων από την απόκτηση μέρους του πλεονάσματος, το οποίο δύναται να αποτιμάται τόσο σε ονομαστικές τιμές (π.χ. ευρώ, δολάρια, κτλ), όσο και σε ποσοτικές τιμές πραγματικών αγαθών (μετρούμενα σε τεμάχια, κιλά, επιφάνεια, λίτρα), ή σε υπηρεσίες (μετρούμενες σε μονάδες, ώρες, ημέρες, μήνες). Μία ακόμα σημαντική παρατήρηση, είναι ότι η συγκεκριμένη λύση, δεν περιορίζεται στην εφαρμογή της επί διαπραγματεύσεων μεταξύ 2 ατόμων, καθώς εύκολα αναλύεται και σε αντίστοιχες καταστάσεις με $n > 2$ παίκτες, όπου

ισχύει και πάλι ο αξιωματικός προσδιορισμός του αποτελέσματος. Περαιτέρω, η υπόψη Λύση έχει εφαρμογή σε όλες τις καταστάσεις όπου οι μετέχοντες σε μία διαπραγματευτική διεργασία έχουν λογικές επιδιώξεις ως προς το επιμεριζόμενο πλεόνασμα. Συγκεκριμένα, η Λύση αυτή δύναται να εφαρμοστεί στις περιπτώσεις όπου οι διαπραγματευόμενοι επιζητούν:

- Μεγιστοποίηση του επιμεριζόμενου σε αυτούς πλεονάσματος όταν αυτό αυξάνει την ωφέλεια, π.χ. σε συμβάσεις επιμερισμού εσόδων (revenue-sharing), (Linh and Hong, 2009)
- Ελαχιστοποίηση του επιμεριζόμενου πλεονάσματος όταν αυτό μειώνει την ωφέλεια, π.χ. σε συμβάσεις επιμερισμού κόστους (cost-sharing), (Hoefler, 2012)
- Σε σύνθετες περιπτώσεις, όπου το πλεόνασμα αποτελείται από παραπάνω πίτες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τόσο κέρδη όσο και ζημίες, π.χ. σε συμβάσεις επιμερισμού εσόδων – κόστους (revenue-cost-sharing) (Kuhn and Nasar, 2002; Kunter, 2012; Karmpetis et al., 2012b) .

Σύμφωνα με τον Binmore, (1987); (2011), υπάρχουν δύο σημαντικοί παράγοντες που καθιστούν την ισορροπία κατά Nash τόσο σημαντική στον επιχειρηματικό κόσμο. Ο πρώτος προσδιορίζεται στην έννοια της λογικής λύσης ενός παιγνίου, δηλ. οι παίκτες λαμβάνουν ορθολογικές αποφάσεις, προσπαθώντας να αποκομίσουν τη μέγιστη ωφέλεια από μία συνεργασία. Ο δεύτερος παράγοντας είναι ότι η έννοια της ισορροπίας του Nash είναι εξελικτική. Εάν από ένα πολύ μεγάλο πλήθος, επιλέξουμε με τυχαίο τρόπο κάποιους παίκτες για να συμμετάσχουν σε ένα συγκεκριμένο παίγνιο, και εκτελέσουμε επαναληπτικά τη διαδικασία της τυχαίας επιλογής, τότε με τη πάροδο του χρόνου οι βέλτιστες στρατηγικές των παικτών θα συγκλίνουν, ενώ δεν θα υπάρχουν διαφορές όταν το πλήθος προσεγγίσει το σημείο ισορροπίας του Nash. Το συγκεκριμένο φαινόμενο αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως "μαζική δράση" (mass action). Αυτός είναι ο κύριος λόγος που η ισορροπία Nash έχει μεγάλη εφαρμογή και στην εξήγηση των βιολογικών φαινομένων.

Συμπερασματικά, η Λύση διαπραγμάτευσης κατά Nash θεωρείται ως ένα από τα βασικότερα εργαλεία της μικροοικονομικής θεωρίας. Λαμβάνοντας υπόψη τη μοναδικότητά της καθώς και την ικανοποίηση των συγκεκριμένων αξιωμάτων που περικλείει, η λύση αυτή δύναται να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο στους μετέχοντες σε μία διαπραγμάτευση για την ανάπτυξη μίας επιχειρηματικής συνεργασίας, προκειμένου να ισχυροποιήσουν τη βιωσιμότητα αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Μέθοδος Έρευνας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και στην Έποψη, η παρούσα Διατριβή επικεντρώνεται στο επιχειρηματικό περιβάλλον και συγκεκριμένα στην αξιολόγηση των επενδύσεων. Ο αρχικός στόχος που τέθηκε ήταν ο εντοπισμός, η εκτιμητική προσέγγιση και ο μεθοδολογικός προσδιορισμός του τρόπου αξιολόγησης και επιμερισμού του χρηματοοικονομικού κινδύνου σε επενδυτικά έργα. Η ολοκλήρωση του πρώτου κύκλου ενασχόλησης με το ανωτέρω αντικείμενο, αναμφισβήτητα δημιούργησε νέα δεδομένα που συνέβαλλαν στην επανεκτίμηση των αρχικών παραμέτρων, στοιχείων και κριτηρίων που διαμόρφωναν τη βασική θεματολογία, με άμεση συνέπεια να επιτευχθεί ο ορθολογιστικός επαναπροσανατολισμός της ερευνητικής κατεύθυνσης.

Συγκεκριμένα, παρά το γεγονός ότι ο προσδιορισμός του χρηματοοικονομικού κινδύνου κατά το αρχικό στάδιο αξιολόγησης των επενδύσεων που υλοποιούνται σε παγκόσμια κλίμακα, παραμένει στον κορμό της έρευνας, παρουσιάστηκαν νέα ζητήματα όπως η συμπεριφορά των ληπτών αποφάσεων έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου. Επιπλέον, έτερο ζήτημα ήταν ότι η πλειοψηφία των επενδύσεων κατά τις τελευταίες δεκαετίες υλοποιούνται μέσω σχημάτων συνεργασίας από πολλαπλούς επενδυτές. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι συμβάσεις παραχώρησης και σύμπραξης του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα (public private partnerships), καθώς και οι συνεργασίες μεταξύ ιδιωτικών φορέων σε εφοδιαστικές αλυσίδες (supply chains). Ειδικότερα για τις εφοδιαστικές αλυσίδες, η έρευνα επικεντρώνεται στις συμβάσεις επιμερισμού των εσόδων ή/και των κερδών (revenue-sharing or profit-sharing agreements) μεταξύ των διαφόρων μερών, οι οποίες αναλύονται κυρίως με χρήση της θεωρίας των παιγνίων συνεργασίας (cooperative game theory). Τα προαναφερόμενα εστιάζονται κυρίως στο δεδομένο και αποδεκτό ότι ο ακριβής επιμερισμός των κινδύνων πραγματοποιείται κατά περίπτωση, ανάλογα με την ικανότητα κάθε πλευράς να τους αξιολογεί, να τους ελέγχει και να τους διαχειρίζεται. Κρίθηκε λοιπόν απαραίτητο να διαμορφωθεί το αναγκαίο εκείνο πλαίσιο που θα διαθέτει τα ειδικά και ενδεδειγμένα υποστηρικτικά εργαλεία ποσοτικής ανάλυσης και αξιολόγησης των υπό προώθηση επενδυτικών έργων, το οποίο θα λαμβάνει υπόψη την επί-κινδύνω συμπεριφορά των ληπτών αποφάσεων τόσο σε μεμονωμένο επίπεδο με ένα λήπτης απόφασης, όσο και σε ομαδικό επίπεδο με πολλαπλούς λήπτες απόφασης για μία επένδυση. Επιπλέον, κρίθηκε απαραίτητη η ανάπτυξη ενός δεύτερου πλαισίου με τα αντίστοιχα υποστηρικτικά εργαλεία απόφασης για τον ορθότερο και δικαιότερο επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου μεταξύ ενός πεπερασμένου συνόλου επενδυτών. Κατά συνέπεια, ο αντικειμενικός σκοπός της Διατριβής ικανοποιείται με τη διερεύνηση και τεκμηρίωση των απαντήσεων στα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

(1) Πώς εκτελείται η αξιολόγηση των εναλλακτικών τρόπων υλοποίησης μιας επένδυσης, σύμφωνα με το προφίλ κινδύνου των επενδυτών, δηλαδή εάν αυτοί είναι

(1α) ουδέτεροι ως προς το χρηματοοικονομικό κίνδυνο;

(1β) κινδυνόφοβοι ή κινδυνόφιλοι;

(1γ) Τί συμβαίνει στις περιπτώσεις όπου η λήψη απόφασης είναι ομαδική (group decision-making) και οι λήπτες απόφασης έχουν διαφορετική συμπεριφορά μεταξύ τους ως προς το χρηματοοικονομικό κίνδυνο;

(2) Ποιός είναι ο τρόπος δίκαιου επιμερισμού του χρηματοοικονομικού κινδύνου σε επενδυτικές συνεργασίες και συγκεκριμένα:

(2α) Πώς υπολογίζεται το εύρος των ποσοστών συγχρηματοδότησης μίας επένδυσης μεταξύ δύο συνεργαζόμενων επενδυτών, ώστε η επένδυση να είναι

χρηματοοικονομικά συμφέρουσα (win – win) για αμφοτέρους και παράλληλα να εξυπηρετείται ο σκοπός του έργου;

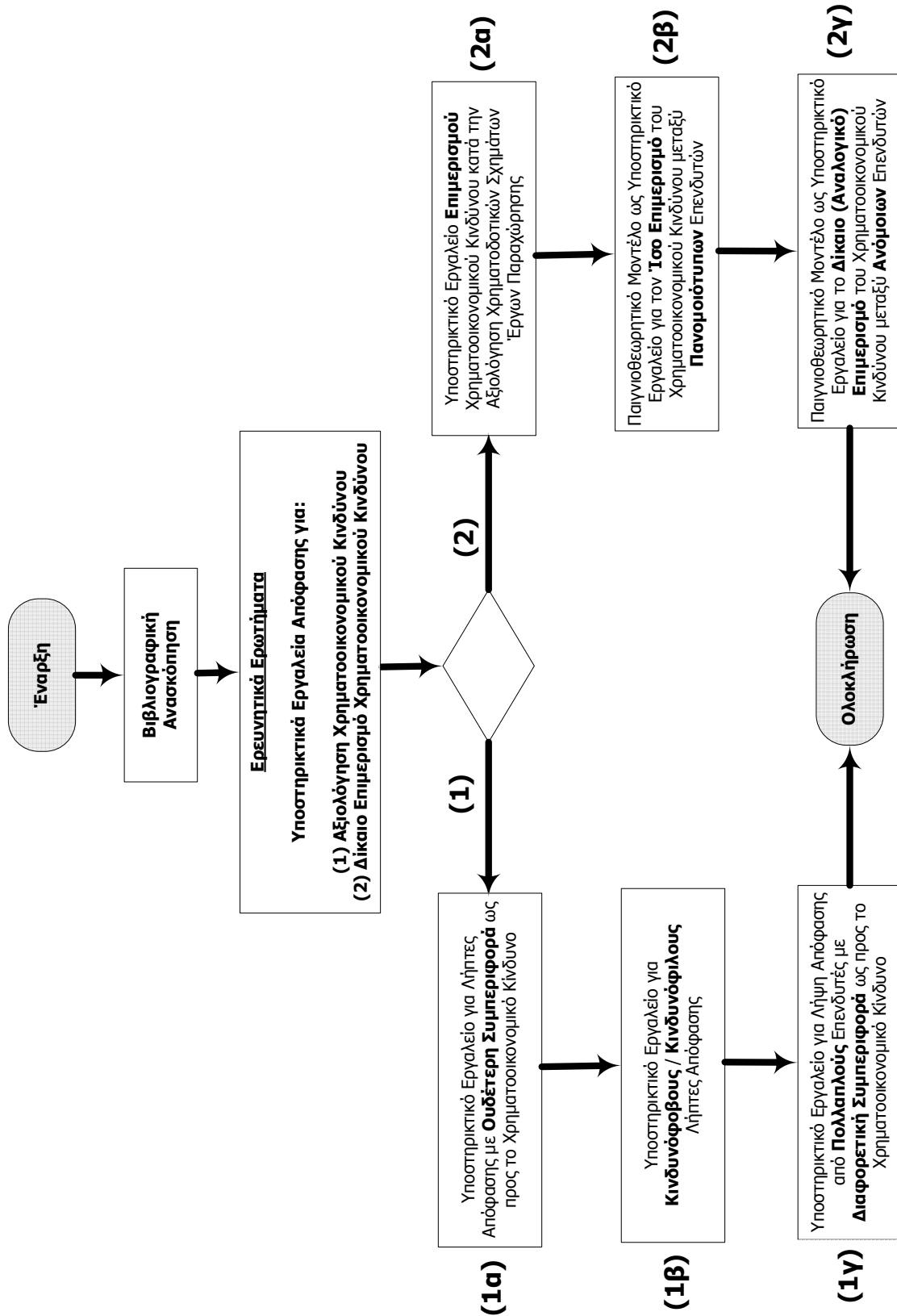
(2β) Σε περιπτώσεις όπου οι συνεργαζόμενοι επενδυτές είναι πανομοιότυποι, δηλ. ίδια συμπεριφορά έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου με ίσα δικαιώματα και ίδιες επιδιώξεις, ποιά είναι τα ποσοστά επιμερισμού των πιθανών εσόδων σε κάθε ένα επενδυτή, σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα ποσοστά επιμερισμού του κόστους της επένδυσης, ώστε να υπάρχει ίση κατανομή κερδών και κινδύνων σε όλους τους συνεργαζόμενους επενδυτές, δηλ. ίσα αναμενόμενα κέρδη με ίσες πιθανότητες για μεγαλύτερη ή μικρότερη απόδοση;

(2γ) Ποιός είναι ο δίκαιος τρόπος επιμερισμού σε περιπτώσεις όπου οι συνεργαζόμενοι επενδυτές είναι ανόμοιοι και η χρηματοοικονομική απόδοση αποτελείται από πολλαπλές πηγές εσόδων και κόστους με αβέβαια μεγέθη (στοχαστικές μεταβλητές);

Στο επόμενο Σχήμα 31, παρουσιάζεται το διάγραμμα με τα ακολουθούμενα κατά την εκπόνηση της Διατριβής Στάδια. Όπως φαίνεται, σε αμφότερα τα υπό εξέταση κύρια ερευνητικά ερωτήματα, η προσέγγιση και ανάπτυξη των απαιτούμενων υποστηρικτικών εργαλείων απόφασης ήτανε βαθμιδωτή, χαλαρώνοντας κάθε φορά τους χρησιμοποιούμενους περιορισμούς ή παραδοχές, ώστε τα εργαλεία υποστήριξης απόφασης να έχουν εφαρμογή σε περισσότερες και ρεαλιστικότερες περιπτώσεις αξιολόγησης επενδύσεων.

Στο 1^ο ερευνητικό ερώτημα και συγκεκριμένα στο Στάδιο (1α), αναπτύχθηκε ένα υποστηρικτικό εργαλείο απόφασης σύμφωνα με τους περιορισμούς ότι υφίσταται ένας λήπτης απόφασης με ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου για την αξιολόγηση δύο τουλάχιστον διαφορετικών επενδυτικών προτάσεων. Στο Στάδιο (1β), χαλαρώνοντας τον περιορισμό της ουδετερότητας ως προς τις προτιμήσεις του λήπτη απόφασης έναντι του κινδύνου, αναπτύχθηκε ένα υποστηρικτικό εργαλείο απόφασης για την αξιολόγηση επένδυσης από ένα κινδυνόφοβο ή κινδυνόφιλο λήπτη απόφασης. Στη συνέχεια, στο Στάδιο (1γ), με την χαλάρωση του περιορισμού ότι ο λήπτης απόφασης είναι ένας, αναπτύχθηκε το αντίστοιχο υποστηρικτικό εργαλείο για την ομαδική περίπτωση αξιολόγησης επένδυσης, με πολλαπλούς λήπτες απόφασης που έχουν διαφορετικές προτιμήσεις έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου.

Αντίστοιχα στο 2^ο ερευνητικό ερώτημα και συγκεκριμένα στο Στάδιο (2α), αναπτύχθηκε ένα υποστηρικτικό εργαλείο απόφασης βάσει του χρηματοοικονομικού κινδύνου, σύμφωνα με τους περιορισμούς ότι υφίστανται δύο συνεργαζόμενοι επενδυτές (ο δημόσιος και ο ιδιωτικός φορέας σε μία επένδυση μέσω ΣΔΙΤ), οι οποίοι επιμερίζουν κατάλληλα μόνο την αναμενόμενη αρχική χρηματοδότηση του έργου. Στο Στάδιο (2β), χαλαρώνοντας τον περιορισμό των δύο συνεργαζόμενων επενδυτών για τον επιμερισμό μίας στοχαστικής μεταβλητής, αναπτύχθηκε ένα εργαλείο υποστήριξης απόφασης για τον επιμερισμό δύο συγκεκριμένων στοχαστικών μεταβλητών που είναι τα αναμενόμενα έσοδα και το κόστος μεταξύ πολλαπλών συνεργαζόμενων επενδυτών. Το συγκεκριμένο μοντέλο περιορίζεται στην περίπτωση του ίσου επιμερισμού του χρηματοοικονομικού κινδύνου, καθώς χρησιμοποιεί τη παραδοχή ότι οι συνεργαζόμενοι επενδυτές είναι πανομοιότυποι. Τέλος, στο Στάδιο (2γ), χαλαρώνοντας αμφοτέρους τους περιορισμούς των δύο στοχαστικών μεταβλητών και των πανομοιότυπων επενδυτών, αναπτύχθηκε ένα υποστηρικτικό εργαλείο απόφασης για το δίκαιο επιμερισμό ενός πεπερασμένου συνόλου στοχαστικών μεταβλητών μεταξύ ενός πεπερασμένου συνόλου ανόμοιων συνεργαζόμενων επενδυτών.



Σχήμα 31. Στάδια εκπόνησης Διατριβής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Υποστηρικτικά Εργαλεία Απόφασης βάσει του Χρηματοοικονομικού Κινδύνου για την Αξιολόγηση Επενδύσεων

4.1 1^ο εργαλείο υποστήριξης απόφασης: αξιολόγηση επένδυσης με το κριτήριο του μέγιστου αναμενόμενου κέρδους

4.1.1 Σύνοψη, δομή και πλαίσιο

Μία από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους για την αξιολόγηση επενδύσεων είναι η μέθοδος του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης (IRR) που βασίζεται στην ανάλυση προεξοφλημένων ταμειακών ροών. Επιπλέον, όπως αναλύεται και στη βιβλιογραφική επισκόπηση, η ποσοτική ανάλυση των κινδύνων χρησιμοποιείται συνήθως κατά το αρχικό στάδιο της επένδυσης, συνδέοντας τη χρηματοοικονομική απόδοση της επένδυσης με τους περικλειόμενους σε αυτήν κινδύνους. Στη παρούσα παράγραφο, παρουσιάζεται μία νέα μέθοδος, η οποία δύναται να χρησιμοποιηθεί ως υποστηρικτικό εργαλείο απόφασης για την αξιολόγηση επενδύσεων. Η προτεινόμενη μέθοδος δύναται να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο υποστήριξης απόφασης ειδικά για τους λήπτες απόφασης που έχουν ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του κινδύνου, δηλ. λαμβάνουν υπόψη μόνο το κριτήριο της αναμενόμενης απόδοσης όταν λαμβάνουν επενδυτικές αποφάσεις (βλ. Karmpiris et al., 2012a). Στο πλαίσιο της μεθόδου αυτής, αναπτύσσεται ένας αλγόριθμος που περιλαμβάνει τα βασικά βήματα που πρέπει να ακολουθήσουν οι λήπτες αποφάσεων, προκειμένου να αξιολογήσουν τις εκάστοτε αναγνωριζόμενες εναλλακτικές μεθόδους υλοποίησης μίας επένδυσης. Συγκεκριμένα, μέσω των διαφορετικών κατανομών πιθανότητας που εγγράφονται σε όλες τις μεταβλητές που επηρεάζουν τους δείκτες IRRs των εναλλακτικών της επένδυσης και σε συνδυασμό με τη μέθοδο προσομοίωσης Μόντε Κάρλο, υπολογίζονται οι αναμενόμενες τιμές των δεικτών IRR.

Στη σύγχρονη εποχή, η πλειονότητα των επενδυτικών έργων και ειδικότερα τα περιβαλλοντικά έχουν μεγάλους προϋπολογισμούς κατασκευής και μεγάλους χρονικούς ορίζοντες λειτουργίας. Κατά συνέπεια, τα συγκεκριμένα έργα υλοποιούνται κυρίως μέσω συμβάσεων συνεργασίας των δημόσιων αρχών με ιδιωτικούς φορείς. Οι εν λόγω τύποι συμβάσεων, αναπτύσσονται με σκοπό τη παροχή συγκεκριμένων υπηρεσιών από τους ιδιώτες αναδόχους, προκειμένου να προστατεύσουν πρωτίστως τη δημόσια υγεία και παράλληλα το περιβάλλον. Οι ανάδοχοι αναλαμβάνουν την ευθύνη για τη παροχή του απαραίτητου επενδυόμενου κεφαλαίου, μέρος του οποίου σε ορισμένες περιπτώσεις αποτελεί αντικείμενο συγχρηματοδότησης από άλλους φορείς (π.χ. Ευρωπαϊκή Ένωση). Σε κάθε περίπτωση, το διατιθέμενο ίδιο κεφάλαιο των αναδόχων αποπληρώνεται μέσω των παραγόμενων από το έργο εσόδων κατά τη διάρκεια της συμβατικής περιόδου (Sotirchos et al., 2011).

Εντούτοις, κάθε έργο που υλοποιείται στο πεδίο της διαχείρισης αποβλήτων έχει συγκεκριμένους στόχους να εκπληρώσει, ενώ συνήθως περιλαμβάνει έναν αριθμό εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης, π.χ. η υγειονομική ταφή ή η αποτέφρωση στερεών αποβλήτων. Επιπλέον, κάθε μία από τις εναλλακτικές αυτές έχει διαφορετικό κόστος επένδυσης και λειτουργίας, καθώς και διαφορετικά έσοδα που αναμένεται να προκύψουν προς όφελος του ιδιώτη επενδυτή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ότι ενώ οι αμοιβές υπηρεσιών σε ένα έργο διαχείρισης αποβλήτων είναι συγκεκριμένες, υφίσταται η δυνατότητα επιπρόσθετων εσόδων αλλά και κόστους, π.χ. μέσω της ανάκτησης ενέργειας από μονάδα αποτέφρωσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι εξεταστές της επένδυσης θα πρέπει να αναγνωρίσουν και να αξιολογήσουν όλες τις εναλλακτικές, προκειμένου να επιλέξουν τη

πιο κερδοφόρα εναλλακτική. Κατά συνέπεια, ο αντικειμενικός σκοπός του προτεινόμενου εργαλείου υποστήριξης απόφασης, είναι η αξιολόγηση των αναγνωρισθέντων σε κάθε περίπτωση εναλλακτικών και η διάκριση μέσω του αλγόριθμου της εναλλακτικής εκείνης που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη πιθανότητα για περισσότερα κέρδη σε σύγκριση με τις άλλες, προς όφελος των επενδυτών.

4.1.2 Αλγόριθμος υποστήριξης απόφασης με το κριτήριο του μέγιστου αναμενόμενου κέρδους

Σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάζεται ο νέος αλγόριθμος που δύναται να χρησιμοποιηθεί ως υποστηρικτικό εργαλείο απόφασης για περιβαλλοντικά έργα. Ένας πλήρης κατάλογος των συμβολισμών που χρησιμοποιούνται παρουσιάζεται στον επόμενο Πίνακα 13.

Τα βασικά βήματα του προτεινόμενου αλγόριθμου είναι οχτώ, όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

- (1) *Βήμα 1:* Ανάπτυξη ενός πεπερασμένου συνόλου $N = \{1,2,3,\dots, n\}$, το οποίο αποτελείται από τις αναγνωρισθέντες εναλλακτικές υλοποίησης της εξεταζόμενης επένδυσης.
- (2) *Βήμα 2:* Επιλογή του y ως του χρονικού ορίζοντα εξέτασης: $t = 1,2,3,\dots, y$ (σε έτη) προκειμένου να αξιολογηθούν οι εναλλακτικές.
- (3) *Βήμα 3:* Για κάθε μία εναλλακτική με δείκτη i , αναγνώριση των συνόλων των μεταβλητών V_i , οι οποίες επηρεάζουν τις ετήσιες ταμειακές: (Cash Flows, $CF_i^t(V_i)$). Συγκεκριμένα, για κάθε μία εναλλακτική: $i = 1,2,3,\dots, n$, υφίσταται ένα διαφορετικό σύνολο μεταβλητών
- (4) *Βήμα 4:* Ορισμός των n εξισώσεων για τον υπολογισμό του δείκτη IRR έκαστης εναλλακτικής στον ίδιο χρονικό ορίζοντα y . Συγκεκριμένα, υφίσταται μία εξίσωση για έκαστη εναλλακτική: $i = 1,2,3,\dots, n$, σύμφωνα με την επόμενη σχέση (4.1):

$$\sum_{t=0}^y \frac{CF_i^t}{(1 + IRR_i)^t} = 0 \quad (4.1)$$

- (5) *Βήμα 5:* Καθορισμός του μεγάλου-συνόλου M , το οποίο προκύπτει από την ένωση των συνόλων με τις μεταβλητές των εναλλακτικών, δηλ. περιέχει όλες τις μεταβλητές μίαφορά: $M = V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup \dots \cup V_n$
- (6) *Βήμα 6:* Εγγραφή μίας συγκεκριμένης κατανομής πιθανότητας Π_j σε έκαστη μεταβλητή που περικλείεται στο μεγάλο-σύνολο: $j \in M$. Στη συνέχεια, ορισμός των δεικτών IRRs των εναλλακτικών ως εξερχόμενα: IRR_1, \dots, IRR_n

Πίνακας 13. Κατάλογος συμβολισμών για τη μέθοδο αξιολόγησης επένδυσης με το κριτήριο του μέγιστου αναμενόμενου κέρδους

Σύμβολο	Περιγραφή	
N	Πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών έργου	$N = \{1,2,3,\dots, n\}$
$CF_i^t(V_i)$	Χρηματοροές εναλλακτικής i για κάθε έτος $= t$, επηρεαζόμενες από ένα σύνολο μεταβλητών V_i	(υπολογίζεται $\forall i = 1,2,3,\dots, n$)
IRR_i	Συντελεστής Εσωτερικής Απόδοσης	$\sum_{t=0}^y \frac{CF_i^t}{(1 + IRR_i)^t} = 0, i = 1,2,\dots, n$ $y = \text{χρονικός ορίζοντας (σε έτη)}$
V_i	Σύνολο μεταβλητών που επηρεάζουν τις χρηματοροές της εναλλακτικής i	$V_i \subseteq M$, ένα σύνολο για κάθε εναλλακτική: $i = 1,2,3,\dots, n$
M	Ένωση συνόλων μεταβλητών	$M = V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup \dots \cup V_n$
Π_j	Κατανομές πιθανότητας των μεταβλητών που ανήκουν στην ένωση των συνόλων M	$j = 1,2,3,\dots, m$
p	Πιθανότητα	
$IRR_i^{p_z}$	Η τιμή του δείκτη IRR_i της εναλλακτικής i για συγκεκριμένη πιθανότητα p_z	
IRR_i^μ	Αναμενόμενη τιμή του IRR_i	(υπολογίζεται $\forall i = 1,2,3,\dots, n$)
IRR_i^μ	$= \frac{IRR_i^{p_1}(p_1) + IRR_i^{p_2}(p_2) + IRR_i^{p_3}(p_3) + \dots + IRR_i^{p_z}(p_z)}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_z}$	

(7) **Βήμα 7:** Εκτέλεση της προσομοίωσης Μόντε Κάρλο. Περαιτέρω, χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων και υπολογισμός των αναμενόμενων συντελεστών εσωτερικής απόδοσης για κάθε μία εναλλακτική: $i = 1,2,3,\dots, n$, με τη χρήση της σχέσης (4.2) (Karmperis et al., 2012a):

$$IRR_i^{\mu} = \frac{IRR_i^{p_1}(p_1) + IRR_i^{p_2}(p_2) + IRR_i^{p_3}(p_3) + \dots + IRR_i^{p_z}(p_z)}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_z} \quad (4.2)$$

όπου το IRR_i^{μ} συμβολίζει την αναμενόμενη τιμή του δείκτη IRR της εναλλακτικής i , και το $IRR_i^{p_z}$ είναι η τιμή του δείκτη IRR_i της εναλλακτικής i σε μία συγκεκριμένη τιμή πιθανότητας p_z .

- (8) *Βήμα 8*: Επιλογή της εναλλακτικής, στην οποία ο δείκτης IRR λαμβάνει τη μεγαλύτερη αναμενόμενη τιμή, π.χ. η εναλλακτική 2:

$$IRR_2^{\mu} > IRR_3^{\mu} > IRR_n^{\mu} > \dots > IRR_1^{\mu}$$

4.1.3 Περιπτωσιολογική μελέτη εφαρμογής του αλγορίθμου σε έργο διαχείρισης στερεών αποβλήτων

Προκειμένου να τεκμηριωθεί η χρήση του προτεινόμενου αλγορίθμου ως υποστηρικτικό εργαλείο απόφασης, παρουσιάζεται μία περιπτωσιολογική μελέτη εφαρμογής του, σε ένα συγκεκριμένο έργο διαχείρισης αποβλήτων, σύμφωνα με τεχνικά στοιχεία που περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία (Emery et al., 2007).

Η εξεταζόμενη επενδυτική περίπτωση αφορά σε ένα έργο διαχείρισης στερεών αποβλήτων που περιλαμβάνει την υγειονομική ταφή σε συνδυασμό με συστήματα παραγωγής ενέργειας. Το συγκεκριμένο έργο εξετάζεται να υλοποιηθεί μέσω σύμβασης τύπου Build-Operate-Transfer (BOT), σύμφωνα με την οποία ο ιδιωτικός φορέας είναι υπεύθυνος για τη χρηματοδότηση του επενδύμενου κεφαλαίου καθώς και για τη λειτουργία των υποδομών, ενώ θα λαμβάνει αμοιβή υπηρεσιών για έκαστο τόνο αποβλήτων που θα συγκεντρώνεται. Επιπλέον, είναι στην ευχέρειά του να αναπτύξει και να λειτουργεί συστήματα παραγωγής ενέργειας. Αρχικά, υφίστανται τέσσερις διαφορετικές εναλλακτικές υλοποίησης που έχουν αναγνωρισθεί που παρουσιάζουν διαφορετικά στοιχεία παραγωγής ενέργειας και διαφορετικές ανάγκες εργατικού δυναμικού, π.χ. η πρώτη εναλλακτική απαιτεί 50 άτομα ανειδίκευτο και 30 άτομα ειδικευμένο προσωπικό, η δεύτερη απαιτεί 60 και 20, η τρίτη 70 και 30, και η τέταρτη 50 και 15, αντίστοιχα. Προκειμένου να αξιολογηθούν οι συγκεκριμένες εναλλακτικές, εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο υποστήριξης απόφασης όπως παρακάτω:

- (1) *Βήμα 1*: Αναπτύσσουμε ένα σύνολο N που περιέχει τις αναγνωρισθέντες μεταβλητές:
 $N = \{1, 2, 3, 4\}$.
- (2) *Βήμα 2*: Ο χρονικός ορίζοντας που επιλέγεται να υλοποιηθεί η ανάλυση είναι τα 11 έτη (το 1^ο έτος είναι η φάση της κατασκευής και τα λοιπά 2^ο έως και 11^ο έτη η φάση λειτουργίας του έργου), τα οποία είναι ίσα με τη χρονική περίοδο που περιλαμβάνεται στη σύμβαση BOT.
- (3) *Βήμα 3*: Αναγνωρίζονται τα 4 σύνολα των μεταβλητών: V_1, V_2, V_3, V_4 , τα οποία

Πίνακας 14. Κατανομές πιθανότητας των μεταβλητών του έργου

<i>j</i>	Μεταβλητή	Μεταβλητές <i>j</i> = 1,2,3,...,20 που επιδρούν στις εναλλακτικές: <i>i</i> = 1,2,3,4		Μονάδες	Κατανομή πιθανότητας	Τιμές			Τυπική απόκλιση
		v_i^j	Π_i^j			Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση	
<i>j</i> = 1	Πληθωρισμός	$v_1^1 = v_2^1 = v_3^1 = v_4^1 = v^1$	%	Λογαριθμική	-	-	2.5	1.0	
<i>j</i> = 2	Αμοιβή υπηρεσιών / ton	$v_1^2 = v_2^2 = v_3^2 = v_4^2 = v^2$	€/τον	Τριγωνική	85.0	130.0	100.0	-	
<i>j</i> = 3	Ζήτηση / έτος	$v_1^3 = v_2^3 = v_3^3 = v_4^3 = v^3$	€/έτος	Λογαριθμική	-	-	150,000.0	35,000.0	
<i>j</i> = 4	Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας	$v_1^4 = v_2^4 = v_3^4 = v_4^4 = v^4$	€/MWh	Τριγωνική	22.5	32.5	25.0	-	
<i>j</i> = 5	Κόστος συλλογής και διάθεσης	$v_1^5 = v_2^5 = v_3^5 = v_4^5 = v^5$	€/τον	PERT	4.5	7.5	5.0	-	
<i>j</i> = 6	Σύστημα καύσης	$v_1^6 = v_2^6 = v_3^6 = v_4^6 = v^6$	€/τον	Κανονική	-	-	39.0	10.0	
<i>j</i> = 7	Ανειδίκευτη εργασία	$v_1^7 = v_2^7 = v_3^7 = v_4^7 = v^7$	€/άτομο/έτος	Ομοιόμορφη	14,400.0	15,500.0	-	-	
<i>j</i> = 8	Ειδικευμένη εργασία	$v_1^8 = v_2^8 = v_3^8 = v_4^8 = v^8$	€/άτομο/έτος	Ομοιόμορφη	21,000.0	22,500.0	-	-	
<i>j</i> = 9	Παραγωγή ηλεκτρισμού (1)	v_1^9	MWh/τον	PERT	0.62	0.66	0.70	-	
<i>j</i> = 10	Λειτουργικό κόστος (1)	v_1^{10}	€/άτομο/έτος	Κανονική	-	-	22.0	5.0	

Πίνακας 14. (Συνέχεια)

Μεταβλητή	Μεταβλητές $j = 1,2,3,\dots,20$ που επιδρούν στις εναλλακτικές: $i = 1,2,3,4$		Μονάδες	Κατανομή πιθανότητας	Τιμές			Τυπική απόκλιση
	j	v_i^j			Π_i^j	Ελάχιστη	Μέγιστη	
$j = 11$	Επενδύσιμο κόστος (1)	v_1^{11}	€	Τριγωνική	37×10^6	48×10^6	40×10^6	-
$j = 12$	Παραγωγή ηλεκτρισμού (2)	v_2^{12}	MWh/τον	PERT	0.42	0.47	0.44	-
$j = 13$	Λειτουργικό κόστος (2)	v_2^{13}	€/άτομο/έτος	Κανονική	-	-	15.0	5.5
$j = 14$	Επενδύσιμο κόστος (2)	v_2^{14}	€	Τριγωνική	42×10^6	50×10^6	45×10^6	-
$j = 15$	Παραγωγή ηλεκτρισμού (3)	v_3^{15}	MWh/τον	PERT	0.47	0.57	0.50	-
$j = 16$	Λειτουργικό κόστος (3)	v_3^{16}	€/άτομο/έτος	Κανονική	-	-	16.0	2.0
$j = 17$	Επενδύσιμο κόστος (3)	v_3^{17}	€	Τριγωνική	46×10^6	51×10^6	48×10^6	-
$j = 18$	Παραγωγή ηλεκτρισμού (4)	v_4^{18}	MWh/τον	PERT	0.25	0.40	0.35	-
$j = 19$	Λειτουργικό κόστος (4)	v_4^{19}	€/άτομο/έτος	Κανονική	-	-	19.9	2.8
$j = 20$	Επενδύσιμο κόστος (4)	v_4^{20}	€	Τριγωνική	36×10^6	41×10^6	40×10^6	-

επηρεάζουν τις ταμειακές ροές των εναλλακτικών,
 $CF_1^t(V_1), CF_2^t(V_2), CF_3^t(V_3), CF_4^t(V_4)$, αντίστοιχα:

- $CF_1^t(V_1)$, όπου: $V_1 = \{v_1^1, v_1^2, v_1^3, v_1^4, v_1^5, v_1^6, v_1^7, v_1^8, v_1^9, v_1^{10}, v_1^{11}\}$,
- $CF_2^t(V_2)$, όπου: $V_2 = \{v_2^1, v_2^2, v_2^3, v_2^4, v_2^5, v_2^6, v_2^7, v_2^8, v_2^{12}, v_2^{13}, v_2^{14}\}$,
- $CF_3^t(V_3)$, όπου: $V_3 = \{v_3^1, v_3^2, v_3^3, v_3^4, v_3^5, v_3^6, v_3^7, v_3^8, v_3^{15}, v_3^{16}, v_3^{17}\}$,
- $CF_4^t(V_4)$, όπου: $V_4 = \{v_4^1, v_4^2, v_4^3, v_4^4, v_4^5, v_4^6, v_4^7, v_4^8, v_4^{18}, v_4^{19}, v_4^{20}\}$,

Οι μεταβλητές αυτές παρουσιάζονται αναλυτικά στον παραπάνω Πίνακα 14.

Ειδικότερα, οι συγκεκριμένες μεταβλητές επηρεάζουν τις ταμειακές ροές CFs των εναλλακτικών, σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις (4.3) έως και (4.6):

$$CF_1^t = -v_1^{11}, CF_1^t = ((v_1^9 v_1^4 + v_1^2 - v_1^5 - v_1^6 - v_1^{10})(v_1^3) - 50v_1^7 - 30v_1^8)(1 + v_1^1)^{t-2}, t = 2, 3, \dots, 11 \quad (4.3)$$

$$CF_2^t = -v_2^{14}, CF_2^t = ((v_2^{12} v_2^4 + v_2^2 - v_2^5 - v_2^6 - v_2^{13})(v_2^3) - 60v_2^7 - 20v_2^8)(1 + v_2^1)^{t-2}, t = 2, 3, \dots, 11 \quad (4.4)$$

$$CF_3^t = -v_3^{17}, CF_3^t = ((v_3^{15} v_3^4 + v_3^2 - v_3^5 - v_3^6 - v_3^{16})(v_3^3) - 70v_3^7 - 30v_3^8)(1 + v_3^1)^{t-2}, t = 2, 3, \dots, 11 \quad (4.5)$$

$$CF_4^t = -v_4^{20}, CF_4^t = ((v_4^{18} v_4^4 + v_4^2 - v_4^5 - v_4^6 - v_4^{19})(v_4^3) - 50v_4^7 - 15v_4^8)(1 + v_4^1)^{t-2}, t = 2, 3, \dots, 11 \quad (4.6)$$

(4) Βήμα 4: Χρησιμοποιούμε τη σχέση (4.1) $\forall i \in N$, δηλ. $i = 1, 2, 3, 4$, και ορίζουμε τις αντίστοιχες 4 σχέσεις υπολογισμού των δεικτών IRR των τεσσάρων εναλλακτικών, που είναι οι σχέσεις (4.7), (4.8), (4.9) και (4.10), για τον υπολογισμό των $IRR_1, IRR_2, IRR_3, IRR_4$, αντίστοιχα:

$$\frac{-v_1^{11}}{(1 + IRR_1)} + \sum_{t=2}^{11} \frac{((v_1^9 v_1^4 + v_1^2 - v_1^5 - v_1^6 - v_1^{10})(v_1^3) - 50v_1^7 - 30v_1^8)(1 + v_1^1)^{t-2}}{(1 + IRR_1)^t} = 0 \quad (4.7)$$

$$\frac{-v_2^{14}}{(1 + IRR_2)} + \sum_{t=2}^{11} \frac{((v_2^{12} v_2^4 + v_2^2 - v_2^5 - v_2^6 - v_2^{13})(v_2^3) - 60v_2^7 - 20v_2^8)(1 + v_2^1)^{t-2}}{(1 + IRR_2)^t} = 0 \quad (4.8)$$

$$\frac{-v_3^{17}}{(1+IRR_3)} + \sum_{t=2}^{11} \frac{((v_3^{15}v_3^4 + v_3^2 - v_3^5 - v_3^6 - v_3^{16})(v_3^3) - 70v_3^7 - 30v_3^8)(1+v_3^1)^{t-2}}{(1+IRR_3)^t} = 0 \quad (4.9)$$

$$\frac{-v_4^{20}}{(1+IRR_4)} + \sum_{t=2}^{11} \frac{((v_4^{18}v_4^4 + v_4^2 - v_4^5 - v_4^6 - v_4^{19})(v_4^3) - 50v_4^7 - 15v_4^8)(1+v_4^1)^{t-2}}{(1+IRR_4)^t} = 0 \quad (4.10)$$

- (5) Βήμα 5: Αναπτύσσουμε το μεγάλο-σύνολο των μεταβλητών M το οποίο περικλείει μοναδική εγγραφή για έκαστη μεταβλητή: $M = V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup V_4$. Συγκεκριμένα, εξαιτίας του ότι:

$$\begin{aligned} v_1^1 &= v_2^1 = v_3^1 = v_4^1 = v^1; v_1^2 = v_2^2 = v_3^2 = v_4^2 = v^2; v_1^3 = v_2^3 = v_3^3 = v_4^3 = v^3; \\ v_1^4 &= v_2^4 = v_3^4 = v_4^4 = v^4; v_1^5 = v_2^5 = v_3^5 = v_4^5 = v^5; v_1^6 = v_2^6 = v_3^6 = v_4^6 = v^6; \\ v_1^7 &= v_2^7 = v_3^7 = v_4^7 = v^7; v_1^8 = v_2^8 = v_3^8 = v_4^8 = v^8, \end{aligned}$$

οι συγκεκριμένες μεταβλητές που είναι κοινές, εγγράφονται μία φορά στο μεγάλο-σύνολο:

$$M = V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup V_n \Leftrightarrow$$

$$M = \{v^1, v^2, v^3, v^4, v^5, v^6, v^7, v^8, v_1^9, v_1^{10}, v_1^{11}, v_2^{12}, v_2^{13}, v_2^{14}, v_3^{15}, v_3^{16}, v_3^{17}, v_4^{18}, v_4^{19}, v_4^{20}\}$$

- (6) Βήμα 6: Εγγράφουμε μία συγκεκριμένη κατανομή πιθανότητας Π_j σε κάθε μία από τις 20 μεταβλητές που περιλαμβάνονται στο μεγάλο-σύνολο M . Αυτές οι κατανομές παρουσιάζονται στον Πίνακα 14. Στη συνέχεια, αυτές ορίζονται ως εισερχόμενα, ενώ οι δείκτες IRRs των εναλλακτικών, δηλ. οι IRR1, IRR2, IRR3, και IRR4, της 1ης, 2ης, 3ης, και 4ης εναλλακτικής, αντίστοιχα, ορίζονται ως εξερχόμενα.

- (7) Βήμα 7: Εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους της εξεταζόμενης επένδυσης, η προσομοίωση Μόντε Κάρλο εκτελείται με 5,000 επαναλήψεις (Rezaie et al., 2007). Τα αποτελέσματα των σωρευτικών κατανομών πιθανότητας CDFs των δεικτών IRRs για τις τέσσερις εναλλακτικές, απεικονίζονται στο Σχήμα 32.

Στη συνέχεια, οι σωρευτικές κατανομές CDFs αναλύονται, και υπολογίζουμε τις αναμενόμενες τιμές των δεικτών IRR_i^μ για κάθε μία εναλλακτική:

$$i = 1, 2, 3, 4, \text{ σύμφωνα με τη σχέση (4.2):}$$

$$IRR_i^\mu = \frac{IRR_i^{p_1}(p_1) + IRR_i^{p_2}(p_2) + IRR_i^{p_3}(p_3) + \dots + IRR_i^{p_z}(p_z)}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_z} \quad (4.2)$$

στην οποία με $IRR_i^{P_z}$ συμβολίζεται η τιμή του δείκτη IRR_i της εναλλακτικής i σε μία συγκεκριμένη τιμή πιθανότητας p_z .

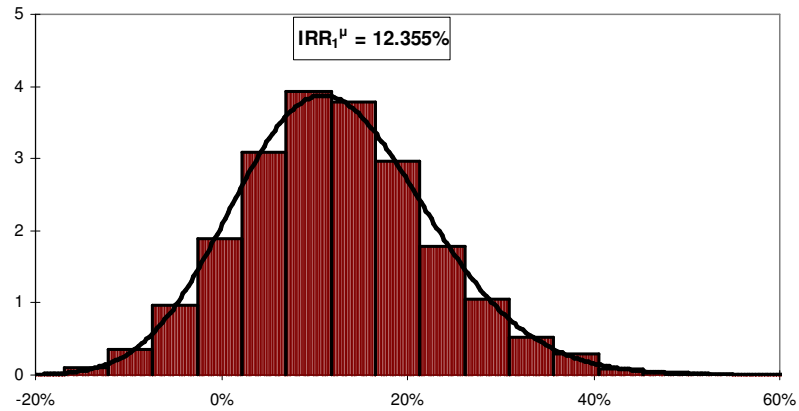
- (8) Βήμα 8: Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω, σύμφωνα με τα οποία η 1η εναλλακτική μέθοδος υλοποίησης της εξεταζόμενης επένδυσης θα πρέπει να προτιμηθεί έναντι των υπολοίπων, καθώς ο δείκτης IRR αυτής έχει τη μεγαλύτερη τιμή, σε σύγκριση με τους αντίστοιχους δείκτες των λοιπών εναλλακτικών:

$$IRR_1^u = 12.355\% > IRR_4^u = 11.649\% > IRR_1^u = 10.984\% > IRR_3^u = 8.871\%$$

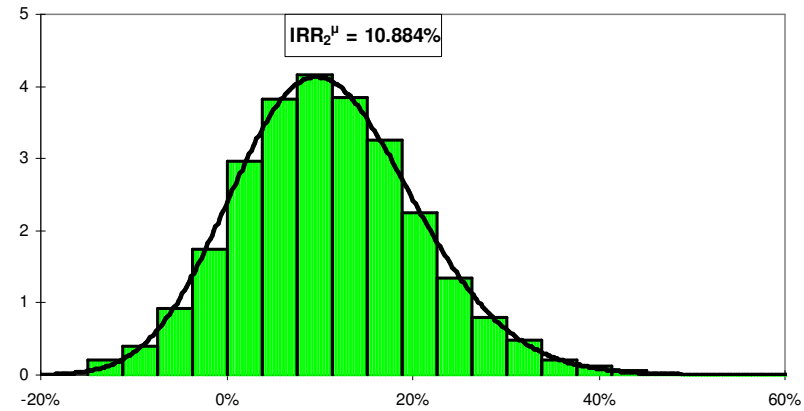
Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να τονιστεί ότι ένας βασικός περιορισμός του προτεινόμενου αλγόριθμου είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη τυχόν συνδεσιμότητα μεταξύ των εισερχομένων μεταβλητών. Ωστόσο, το μοντέλο προσομοίωσης Μόντε Κάρλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω για την εξέταση της συνδεσιμότητας μεταξύ των μεταβλητών που περιλαμβάνονται στο μεγάλο-σύνολο M και των δεικτών IRRs των εναλλακτικών. Συγκεκριμένα, το Σχήμα 33 παρουσιάζει τα γραφήματα τύπου «ανεμοστρόβιλος» των δεικτών IRR των 4 εναλλακτικών. Όπως φαίνεται, όσο υψηλότερη τιμή λαμβάνει (είτε θετική ή αρνητική) ο συντελεστής μίας μεταβλητής, τόσο μεγαλύτερη επίδραση έχει η μεταβλητή στον υπολογισμό της τιμής του δείκτη IRR (Al-Mansour and Kožuh, 2007; Salling and Leleur, 2011).

Όπως φαίνεται στα παραπάνω γραφήματα, οι μεταβλητές που έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στους δείκτες IRR των εναλλακτικών, είναι η ζήτηση / έτος, το σύστημα καύσης και η αμοιβή υπηρεσιών / τόνο.

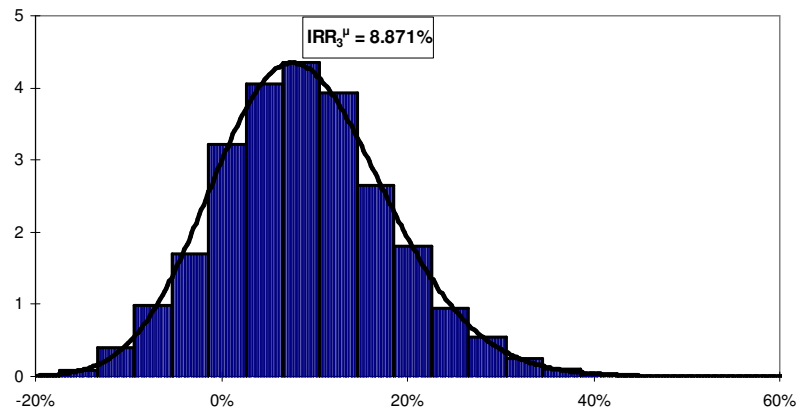
Σωρευτική Κατανομή Πιθανότητας του Δείκτη IRR₁



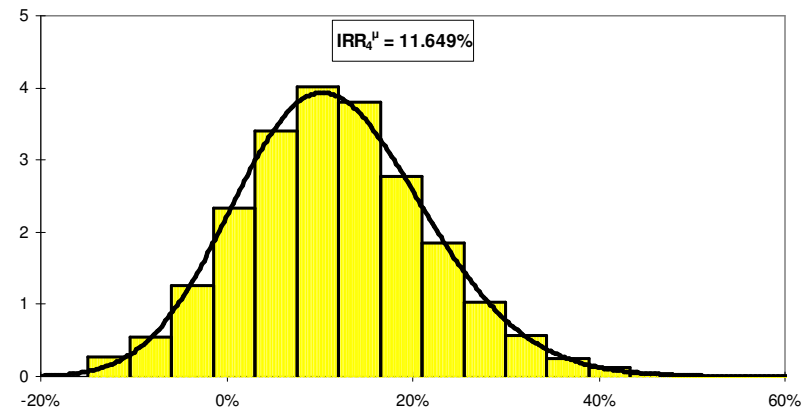
Σωρευτική Κατανομή Πιθανότητας του Δείκτη IRR₂



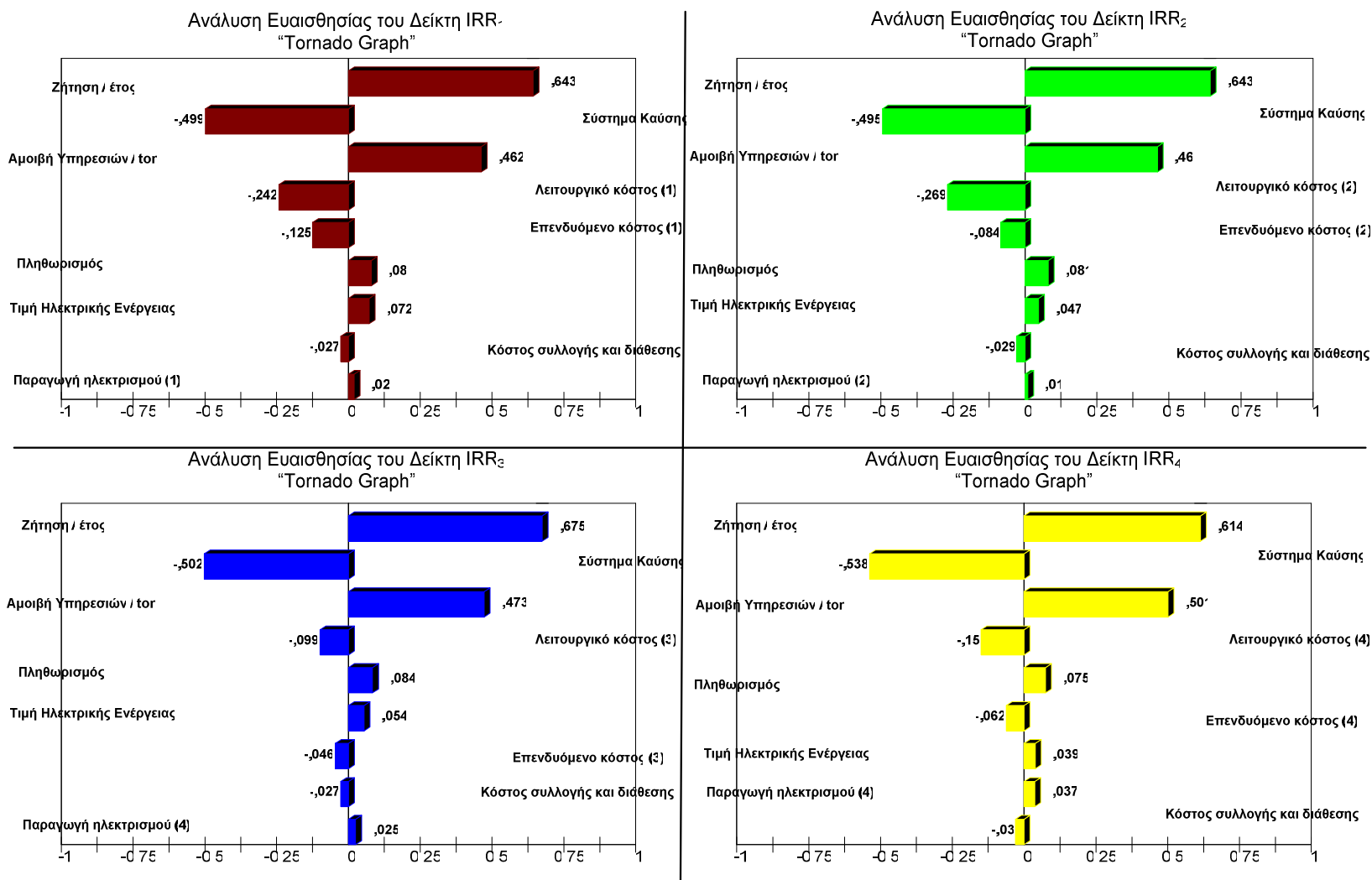
Σωρευτική Κατανομή Πιθανότητας του Δείκτη IRR₃



Σωρευτική Κατανομή Πιθανότητας του Δείκτη IRR₄



Σχήμα 32. Σωρευτικές κατανομές πιθανότητας των δεικτών Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (IRR) των εναλλακτικών



Σχήμα 33. Ανάλυση ευαισθησίας των δεικτών Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (IRR) των εναλλακτικών

4.1.4 Συμπεράσματα

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, μία περιβαλλοντική επένδυση παρουσιάζει διάφορες εναλλακτικές υλοποίησης, οι οποίες ικανοποιούν τους αντικειμενικούς στόχους που έχουν τεθεί, πλην όμως παρουσιάζουν διαφορές στις μεθόδους υλοποίησης, με αποτέλεσμα να υφίστανται σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των χρηματοοικονομικών τους μεγεθών. Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάστηκε ένας υπολογιστικός αλγόριθμος, ο οποίος χρησιμοποιώντας τη μέθοδο προσομοίωσης Μόντε Κάρλο, περιλαμβάνει τα βήματα που δύναται να ακολουθήσει ένας λήπτης αποφάσεων, προκειμένου να αξιολογήσει τις εναλλακτικές υλοποίησης μίας περιβαλλοντικής επένδυσης και να επιλέξει αυτήν με τη μεγαλύτερη αναμενόμενη κερδοφορία.

Συμπερασματικά, ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο υποστήριξης απόφασης για λήπτες αποφάσεων που έχουν ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του κινδύνου (δηλ. λαμβάνουν υπόψη μόνο το κριτήριο της αναμενόμενης απόδοσης όταν λαμβάνουν επενδυτικές αποφάσεις, βλ. Karmpiris et al., 2012a).

Επιπλέον, το μοντέλο προσομοίωσης Μόντε Κάρλο που περιλαμβάνεται στο πλαίσιο ανάπτυξης του αλγορίθμου, δεν λαμβάνει υπόψη τη συνδεσιμότητα μεταξύ των εισερχομένων μεταβλητών και των δεικτών αξιολόγησης των αναγνωρισθέντων εναλλακτικών. Εντούτοις, μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω για την εξέταση της συγκεκριμένης συνδεσιμότητας.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος χρησιμοποιεί τη παραδοχή ότι ο δείκτης IRR έκαστης εναλλακτικής λαμβάνει μόνο μία αναμενόμενη τιμή. Ένα προτεινόμενο θέμα μελλοντικής έρευνας είναι να μη ληφθεί υπόψη η συγκεκριμένη παραδοχή, δηλ. να εξεταστεί η περίπτωση όπου υφίστανται πολλαπλές αναμενόμενες τιμές των δεικτών IRRs των εναλλακτικών (βλ. παρ. 2.3.3 της Διατριβής, καθώς και Nordic Council of Ministers, 2007; Ley, 2007; EC, 2008). Επιπλέον, έτερο θέμα διερεύνησης αποτελεί η επέκταση του συγκεκριμένου αλγορίθμου σε καταστάσεις όπου οι λήπτες απόφασης έχουν διαφορετική συμπεριφορά έναντι του κινδύνου, δηλ. είναι είτε κινδυνόφοβοι ή φιλικοί ως προς τους κινδύνους.

4.2 2^ο εργαλείο υποστήριξης απόφασης: αξιολόγηση επένδυσης με το κριτήριο του διαστήματος εμπιστοσύνης

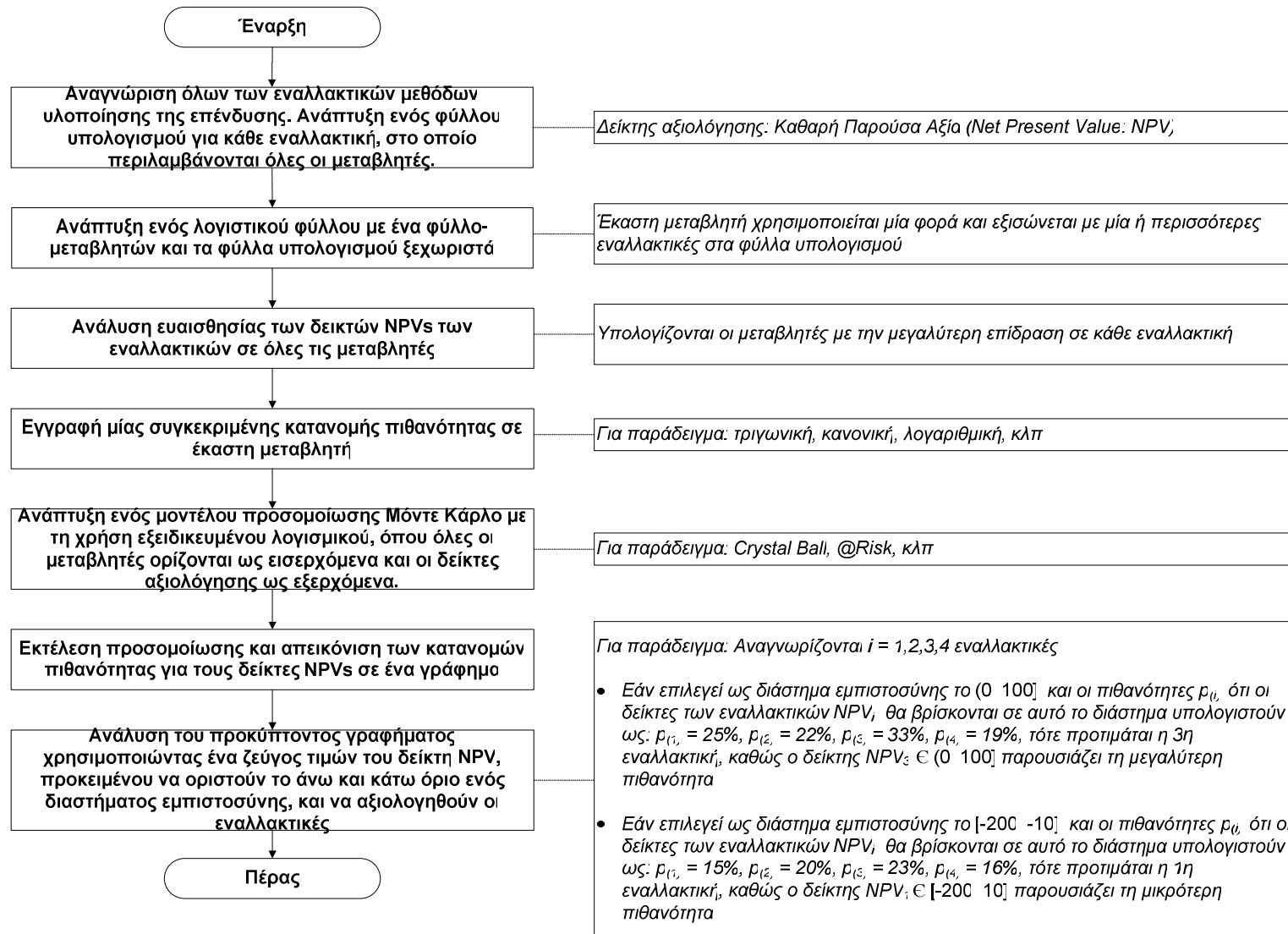
4.2.1 Σύνοψη, Δομή και πλαίσιο

Όπως αναλύθηκε εκτενώς και στο Κεφάλαιο της βιβλιογραφικής επισκόπησης, η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) αποτελεί μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο για την αξιολόγηση των επενδυτικών έργων και σχεδίων. Ειδικότερα για τις επενδύσεις, οι οποίες συνήθως έχουν μεγάλο μέγεθος, τόσο σε χρονικό ορίζοντα υλοποίησης και λειτουργίας όσο και στο επενδύσιμο κεφάλαιο, η αρχική αξιολόγησή τους αποτελεί ένα ιδιαίτερος κρίσιμο στάδιο.

4.2.2 Αλγόριθμος υποστήριξης απόφασης με το κριτήριο του διαστήματος εμπιστοσύνης

Ένας νέος αλγόριθμος που δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο υποστήριξης απόφασης για την αξιολόγηση επενδυτικών έργων παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα 34. Αποτελείται από επτά βασικά βήματα, όπου οι μεταβλητές των αναγνωρισθέντων εναλλακτικών μεθόδων υλοποίησης ενός επενδυτικού έργου χρησιμοποιούνται σε ένα λογιστικό φύλλο, το οποίο περιλαμβάνει τους υπολογισμούς των δεικτών Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value: NPVs) σε ξεχωριστά φύλλα υπολογισμού. Στη συνέχεια, με τη χρήση ενός εξειδικευμένου λογισμικού, αναπτύσσεται ένα μοντέλο προσομοίωσης Μόντε Κάρλο (MCS), όπου οι μεταβλητές ορίζονται ως εισερχόμενα και οι δείκτες αξιολόγησης ως εξερχόμενα. Μέσω της προσομοίωσης, οι κατανομές πιθανότητας για τους δείκτες NPVs των εναλλακτικών απεικονίζονται σε ένα γράφημα. Σε αυτό το γράφημα, οι λήπτες απόφασης επιλέγουν ένα ζεύγος τιμών του δείκτη NPV, προκειμένου να ορίσουν το άνω και κάτω όριο ενός συγκεκριμένου διαστήματος εμπιστοσύνης. Στη συνέχεια, υπολογίζουν τη πιθανότητα $p_{(i)}$ για το δείκτη NPV_i έκαστης εναλλακτικής $i = 1,2,3,\dots,m$ να λάβει τιμές εντός του επελεγμένου διαστήματος εμπιστοσύνης, προκειμένου να αξιολογήσουν τις εναλλακτικές. Επισημαίνεται ότι οι τιμές του δείκτη NPV που θα επιλεγούν ως τα όρια εμπιστοσύνης, θα πρέπει να είναι αμφότερες είτε θετικές είτε αρνητικές, όπως παρακάτω:

- Εάν αμφότερες οι τιμές του δείκτη NPV που συνιστούν το διάστημα εμπιστοσύνης είναι αρνητικές, τότε η επιλεγείσα εναλλακτική είναι αυτή που ο δείκτης NPV αυτής έχει τη μικρότερη πιθανότητα να λάβει τιμές εντός του διαστήματος.
- Εάν αμφότερες οι τιμές του δείκτη NPV που συνιστούν το διάστημα εμπιστοσύνης είναι θετικές, τότε η επιλεγείσα εναλλακτική είναι αυτή που ο δείκτης NPV αυτής έχει τη μεγαλύτερη πιθανότητα να λάβει τιμές εντός του διαστήματος.



Σχήμα 34. Αλγόριθμος υποστήριξης απόφασης για την αξιολόγηση επενδυτικών έργων (κριτήριο διαστήματος εμπιστοσύνης)

4.2.3 Περιπτώσιολογική μελέτη εφαρμογής του αλγόριθμου σε επένδυση στον τομέα αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων

Θεωρούμε ένα επενδυτικό σενάριο στον τομέα της αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας. Αρχικά, υφίστανται πέντε εναλλακτικές υλοποίησης της εξεταζόμενης επένδυσης, οι οποίες βασίζονται σε διαφορετικές τεχνικές λύσεις, όπως π.χ. ο κύκλος ατμού και η ανάκτηση ενέργειας, π.χ. ηλεκτρική ενέργεια ή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Κατά συνέπεια, έκαστη εναλλακτική έχει διαφορετική απόδοση, ενώ υπάρχουν και διαφορετικά έσοδα για τους επενδυτές, όπως παρουσιάζονται στο παρακάτω Πίνακα 15.

Πίνακας 15. Υπολογισμός εσόδων των εναλλακτικών μεθόδων υλοποίησης της επένδυσης

Εναλλακτικές	Έσοδα (Ηλεκτρ.) €/ton	Έσοδα (Θερ/τα) €/ton	Έσοδα (Υπηρεσίες) €/ton	Ζήτηση ton/έτος	Σύνολο εσόδων (€ / έτος)
1 ^η : Σύστημα καύσης ξηρό, με υγρό & καταλυτικό καθαρισμό σωληνώσεων – Κύκλος ατμού συνδεδεμένος με εγκατάσταση παραγωγ. ηλεκτρισμού	16.50	-	130.00	200,000	29,300,000
2 ^η : Σύστημα καύσης ξηρό, με υγρό & καταλυτικό καθαρισμό σωληνώσεων και παραγωγή ηλεκτρισμού	11.00	-	130.00	200,000	28,200,000
3 ^η : Σύστημα καύσης ξηρό, με υγρό & καταλυτικό καθαρισμό σωληνώσεων και παραγωγή ηλεκτρισμού & θερμότητας (CHP)	5.50	11.88	130.00	200,000	29,476,000
4 ^η : Σύστημα καύσης με ηλεκτροστατική πτώση, ενεργοποιημένο απορροφητή άνθρακα και καταλυτική εγκατάσταση παραγωγ. ηλεκτρισμού	11.00	-	130.00	200,000	28,200,000
5 ^η : Σύστημα καύσης με υγρό & καταλυτικό καθαρισμό σωληνώσεων, ενεργοποιημένο απορροφητή άνθρακα και καταλυτική εγκατάσταση παραγωγ. ηλεκτρισμού	11.00	-	130.00	200,000	28,200,000

Επιπλέον, έκαστη εναλλακτική απαιτεί διαφορετικό αρχικό επενδύσιμο κεφάλαιο καθώς και διαφορετικά λειτουργικά έξοδα κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης, η οποία λογίζεται σε 1 έτος για τη κατασκευή των απαραίτητων υποδομών και σε 15 έτη για τη λειτουργική φάση. Επισημαίνεται ότι οι τιμές που χρησιμοποιούνται στη περιπτώσιολογική

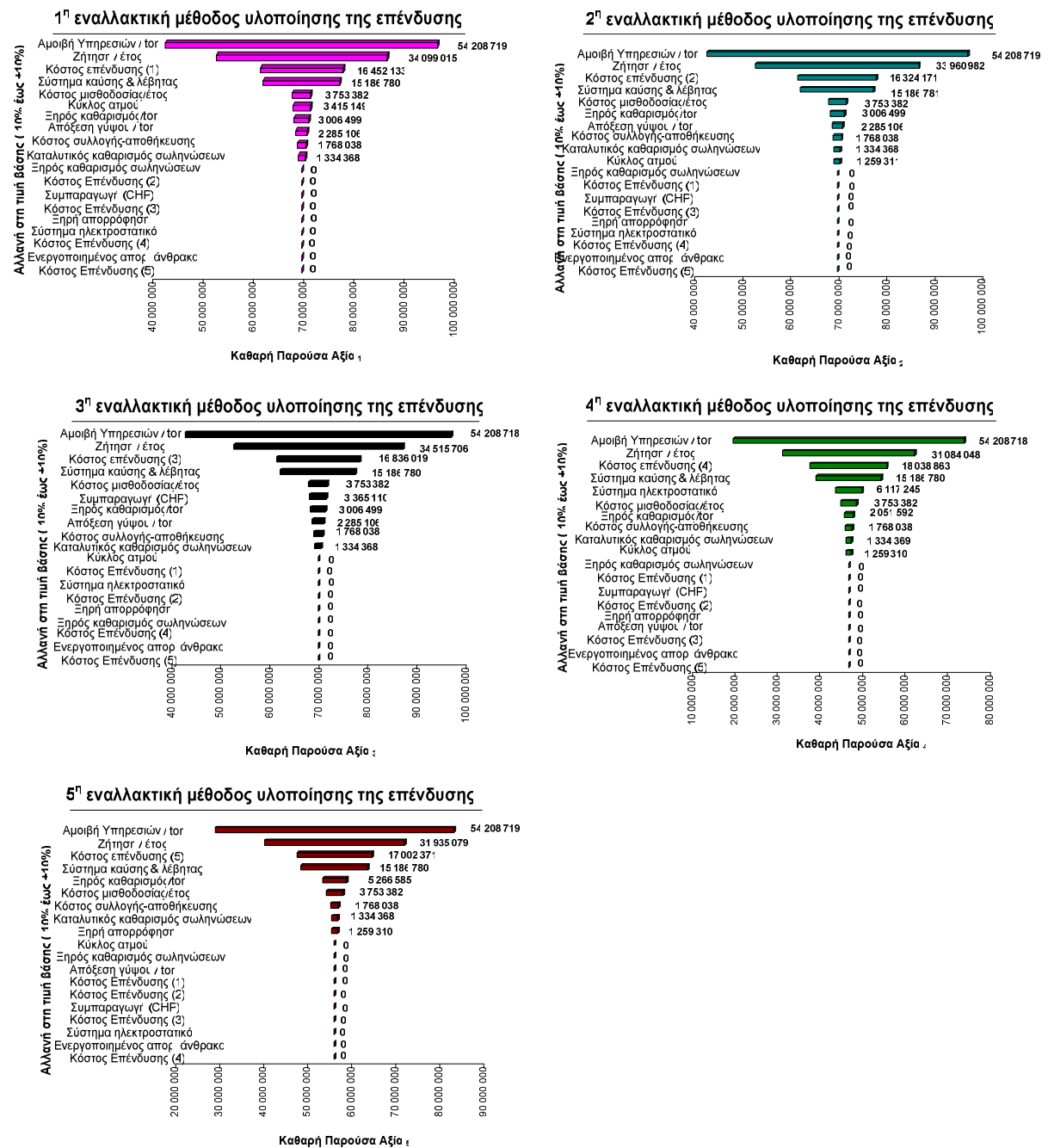
μελέτη είναι όμοιες με τις τιμές στο Αυστριακό οδηγό (Stubenvoll et al., 2002), ενώ το προεξοφλητικό επιτόκιο λαμβάνεται 5.5% (EC, 2008) και ο πληθωρισμός 1.5% (Tolis et al., 2010c). Σύμφωνα με τον παραπάνω αλγόριθμο, οι αναλυτές της επένδυσης αναγνωρίζουν όλες τις μεταβλητές που επιδρούν στους δείκτες NPVs των αναγνωρισθέντων εναλλακτικών. Οι κοινές μεταβλητές που επηρεάζουν όλες τις μεταβλητές είναι η ζήτηση (τον / έτος), το κόστος μισθοδοσίας (€ / έτος), και η τιμή αμοιβή υπηρεσιών, το κόστος συλλογής και μεταφοράς με οχήματα, το σύστημα καύσης και ο καταλυτικός καθαρισμός σωληνώσεων (€ / έτος).

Αυτές οι μεταβλητές χρησιμοποιούνται μία φορά στο φύλλο-μεταβλητών και συνδέονται με εξισώσεις με τις αντίστοιχες μεταβλητές στα πέντε υπολογιστικά φύλλα των δεικτών NPVs των εναλλακτικών. Ωστόσο, εξαιτίας του ότι έκαστη εναλλακτική έχει διαφορετικές τεχνικές διεργασίες, υπάρχουν άλλες μεταβλητές που επιδρούν σε μία ή παραπάνω ενώ δεν έχουν καμία επίδραση σε άλλες εναλλακτικές. Αυτές είναι τα κόστη αρχικής επένδυσης καθώς και τα λειτουργικά κόστη, που λαμβάνουν διαφορετικές μέσες τιμές (μ), όπως φαίνεται στο παρακάτω Πίνακα 16.

Πίνακας 16. Κανονικές κατανομές πιθανότητας για τις μεταβλητές των εναλλακτικών

Φύλλο – μεταβλητών	Επιδρά σε	Μονάδες	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)
Αμοιβή υπηρεσιών	1 st to 5 th	(€ / ton)	130.00	35.00
Ζήτηση	1 st to 5 th	(ton / year)	200,000.00	25,000.00
Κόστος συλλογής-μεταφοράς	1 st to 5 th	(€ / ton)	4.24	0.50
Σύστημα καύσης & λέβητας	1 st to 5 th	(€ / ton)	36.42	10.00
Καταλυτικός καθαρισμός σωληνών	1 st to 5 th	(€ / ton)	3.20	0.40
Κόστος μισθοδοσίας	1 st to 5 th	(€ / year)	1,800,000.00	150,000.00
Κύκλος ατμού συνδεόμενος με εγκατάσταση παραγωγ. ηλεκτρισμού	1 st	(€ / ton)	8.19	0.70
Ξηρός καθαρισμός σωληνών	1 st , 2 nd , 3 rd	(€ / ton)	7.21	1.60
Αποξεστής γύψου	1 st , 2 nd , 3 rd	(€ / ton)	5.48	1.00
Κόστος επένδυσης ₁	1 st	(€)	86,785,000.00	5,000,000.00
Κύκλος ατμού (50 bar, 400 °C)	2 nd , 4 th , 5 th	(€ / ton)	3.02	0.35
Κόστος επένδυσης ₂	2 nd	(€)	86,110,000.00	4,000,000.00
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού- θερμότητας (50 bar , 400 °C)	3 rd	(€ / ton)	8.07	2.00
Κόστος επένδυσης ₃	3 rd	(€)	88,810,000.00	7,500,000.00
Σύστημα ηλεκτροστατικής πτώσης	4 th	(€ / ton)	14.67	7.50
Ενεργοποιημένος απορροφητή άνθρακα	4 th , 5 th	(€ / ton)	4.92	2.80
Κόστος επένδυσης ₄	4 th	(€)	95,155,000.00	9,000,000.00
Ξηρή απορρόφηση	5 th	(€ / ton)	12.63	6.00
Κόστος επένδυσης ₅	5 th	(€)	89,687,500	7,000,000.00

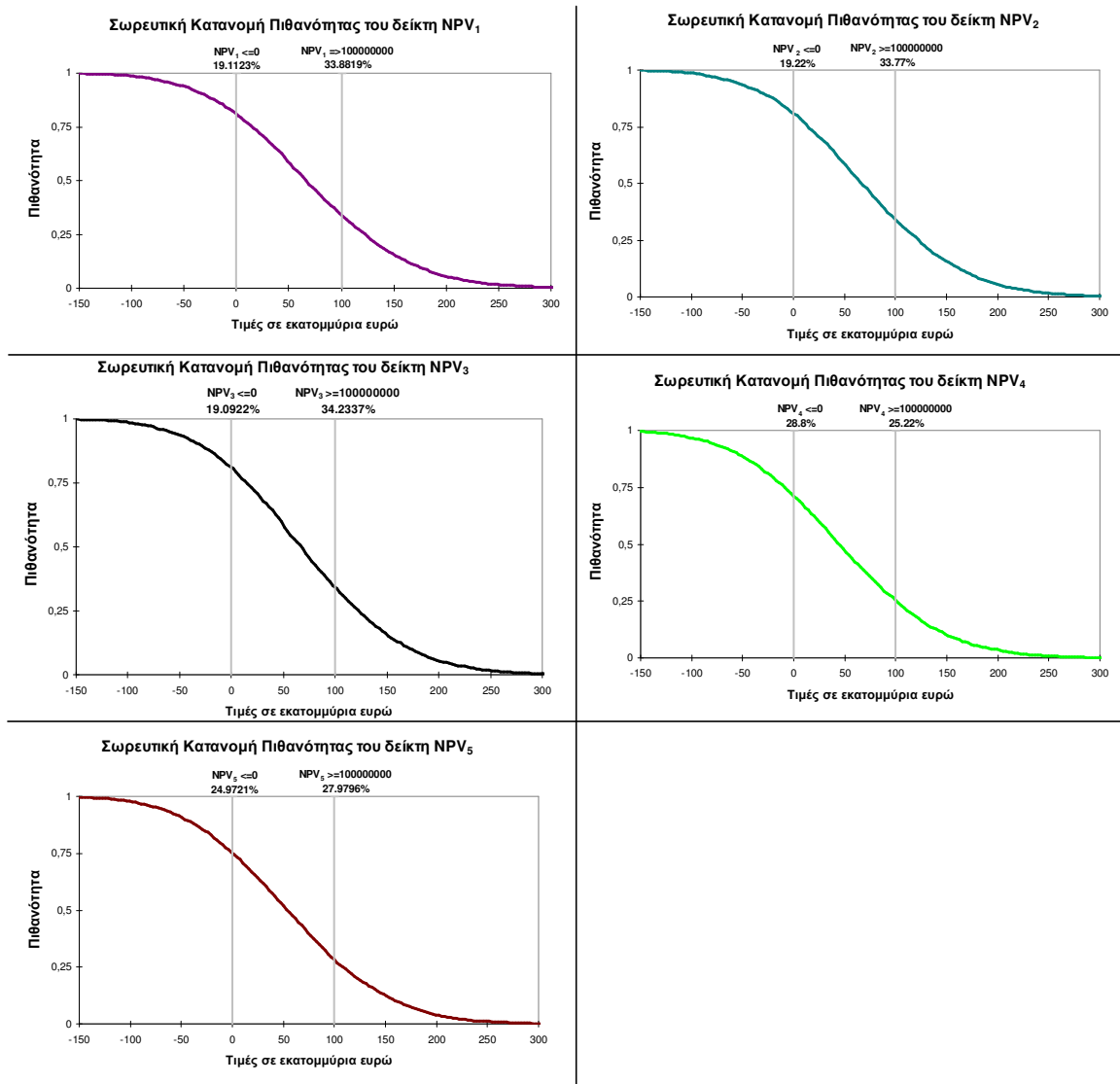
Τα επόμενα βήματα του αλγορίθμου περιλαμβάνουν τις αναλύσεις ευαισθησίας των δεικτών NPVs των εναλλακτικών, καθώς και την εγγραφή κατανομών πιθανότητας στις μεταβλητές, όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 35 και στον Πίνακα 16, αντίστοιχα. Για την ανάπτυξη του μοντέλου προσομοίωσης Μόντε Κάρλο στη παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε



Σχήμα 35. Διαγράμματα ανάλυσης ευαισθησίας των δεικτών Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV_i) των εναλλακτικών μεθόδων υλοποίησης επένδυσης

το λογισμικό @Risk, όπου όλες οι μεταβλητές που περιλαμβάνονται στο φύλλο-μεταβλητών ορίστηκαν ως εισερχόμενα ακολουθώντας κανονικές κατανομές πιθανότητας, ενώ δείκτες αξιολόγησης της 1^{ης}, 2^{ης}, ..., και 5^{ης} εναλλακτικής, δηλ. οι NPV₁, NPV₂, ..., και NPV₅, αντίστοιχα, ορίστηκαν ως εξερχόμενα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από 5000 προσομοιώσεις του μοντέλου, απεικονίζονται στο επόμενο Σχήμα 36.

Όπως φαίνεται, υπάρχουν πέντε διαφορετικές κατανομές πιθανότητας που απεικονίζονται σε ένα γράφημα, δηλ. μία για κάθε εξεταζόμενη εναλλακτική. Σύμφωνα με τις προκύπτουσες τιμές, οι αναλυτές της επένδυσης δύναται να επιλέξουν συγκεκριμένα κριτήρια, προκειμένου να αξιολογήσουν τις εναλλακτικές και να ξεχωρίσουν την εναλλακτική



Σχήμα 36. Κατανομές πιθανότητας των δεικτών Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV_i) των εναλλακτικών υλοποίησης επένδυσης

με τη μεγαλύτερη κερδοφορία. Ειδικότερα, μπορούν να ορίσουν συγκεκριμένα διαστήματα εμπιστοσύνης, επιλέγοντας είτε ένα ζεύγος θετικών είτε ένα ζεύγος αρνητικών τιμών για το δείκτη NPV, τα οποία αντιπροσωπεύουν τα όρια εμπιστοσύνης. Στη πρώτη περίπτωση, εφόσον οι επιλεγείσες τιμές είναι αρνητικές, τότε θα πρέπει να προτιμηθεί η εναλλακτική της οποίας ο δείκτης NPV παρουσιάζει τη μικρότερη πιθανότητα να λάβει τιμές στο οριζόμενο διάστημα εμπιστοσύνης. Στη δεύτερη περίπτωση, εφόσον επιλεγούν θετικές τιμές ως όρια εμπιστοσύνης για το δείκτη NPV, τότε θα πρέπει να προτιμηθεί η εναλλακτική εκείνη που ο δείκτης αξιολόγησής της παρουσιάζει τη μεγαλύτερη πιθανότητα να λάβει τιμές στο επιλεγμένο διάστημα. Στη παρούσα μελέτη, οι συναρτήσεις των κατανομών πιθανότητας των δεικτών αξιολόγησης των εναλλακτικών ($i = 1,2,3,4,5$) αναλύονται δύο φορές, χρησιμοποιώντας ένα θετικό και ένα αρνητικό διάστημα εμπιστοσύνης, που είναι το $(0, 100,000,000]$ και $[-150,000,000, 0)$, με τα αποτελέσματά τους να απεικονίζονται στους Πίνακες 17 και 18, αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, σύμφωνα με το πρώτο διάστημα εμπιστοσύνης (με επιλεγμένα θετικά όρια), θα πρέπει να προτιμηθεί η 5^η εναλλακτική,

Πίνακας 17. Ανάλυση των κατανομών για τους δείκτες NPV των εναλλακτικών σε διάστημα εμπιστοσύνης με θετικά όρια

Εναλλακτική		Πιθανότητα για		Διάστημα εμπιστοσύνης
		$NPV_i \leq 0$	$NPV_i > 100,000,000$	Πιθανότητα για $NPV_i \in (0, 100,000,000]$
1 ^η	$i = 1$	19.11%	33.88%	47.01%
2 ^η	$i = 2$	19.22%	33.77%	47.01%
3 ^η	$i = 3$	19.09%	34.23%	46.68%
4 ^η	$i = 4$	28.88%	25.52%	45.60%
5 ^η	$i = 5$	24.97%	27.97%	47.06%

Πίνακας 18. Ανάλυση των κατανομών για τους δείκτες NPV των εναλλακτικών σε διάστημα εμπιστοσύνης με αρνητικά όρια

Εναλλακτική		Πιθανότητα για		Διάστημα εμπιστοσύνης
		$NPV_i \leq -150,000,000$	$NPV_i > 0$	Πιθανότητα για $NPV_i \in [-150,000,000, 0)$
1 ^η	$i = 1$	0.12%	80.89%	18.99%
2 ^η	$i = 2$	0.14%	80.78%	19.08%
3 ^η	$i = 3$	0.15%	80.91%	18.94%
4 ^η	$i = 4$	0.60%	71.20%	28.20%
5 ^η	$i = 5$	0.44%	75.03%	24.53%

καθώς: $p_{(5)} = 47.06\% > p_{(1)} = p_{(2)} = 47.01\% > p_{(3)} = 46.68\% > p_{(4)} = 45.60\%$. Στο δεύτερο διάστημα εμπιστοσύνης (με τα αρνητικά όρια), θα πρέπει να προτιμηθεί η 3^η εναλλακτική, καθώς: $p_{(3)} = 18.94\% < p_{(1)} = 18.99\% < p_{(2)} = 19.08\% < p_{(5)} = 24.53\% < p_{(4)} = 28.20\%$.

4.2.4 Συμπεράσματα

Όπως αναλύθηκε παραπάνω, η διάκριση της περισσότερο κερδοφόρας εναλλακτικής σύμφωνα με τον προτεινόμενο αλγόριθμο, εξαρτάται από τα διαστήματα εμπιστοσύνης που επιλέγουν οι αναλυτές της επένδυσης, καθώς διαφορετικοί αναλυτές πιθανόν να επιλέξουν διαφορετικά διαστήματα και να επιλέξουν τελικά διαφορετική εναλλακτική ως την περισσότερο κερδοφόρα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η αξιολόγηση των επενδυτικών έργων είναι μία αρκετά περίπλοκη κατάσταση, καθώς υφίστανται διάφορα θέματα που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως η ικανότητα έκαστης εναλλακτικής μεθόδου υλοποίησης της επένδυσης να επιτύχει τους αντικειμενικούς σκοπούς καθώς και η χρηματοοικονομική απόδοση προς όφελος του επενδυτή. Η μέθοδος αξιολόγησης που παρουσιάστηκε σε αυτή την ενότητα περιορίζεται στην αξιολόγηση του χρηματοοικονομικού κινδύνου, και συγκεκριμένα στη χρήση του κριτηρίου του διαστήματος εμπιστοσύνης, δηλ. έτεροι νομικοί ή ρυθμιστικοί περιορισμοί δεν λαμβάνονται υπόψη. Ωστόσο, τα διαστήματα εμπιστοσύνης που επιλέγονται από τον εκάστοτε ληπτή απόφασης είναι άμεσα συνδεδεμένα με τη συμπεριφορά αυτού έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου. Συγκεκριμένα, τα αρνητικά όρια στα διαστήματα εμπιστοσύνης επιλέγονται από τους κινδυνόφοβους λήπτες αποφάσεων, οι οποίοι προτιμούν μία επένδυση με σίγουρη απόδοση από μία επένδυση με

αβέβαιη απόδοση υψηλότερη της πρώτης (Gan et al., 2004). Στον αντίποδα, τα θετικά όρια στα διαστήματα εμπιστοσύνης επιλέγονται από τους κινδυνόφιλους λήπτες απόφασης, οι οποίοι είναι πρόθυμοι να αναλάβουν μεγάλους κινδύνους, προκειμένου να μεγιστοποιήσουν την ενδεχόμενη απόδοση από μία επένδυση. Επισημαίνεται, ότι όσο μεγαλύτερο είναι το διάστημα εμπιστοσύνης που επιλέγεται, τόσο περισσότερο κινδυνόφιλος ή κινδυνόφοβος αντίστοιχα είναι ένας λήπτης απόφασης.

Συμπερασματικά, η προτεινόμενη μέθοδος δύναται να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο υποστήριξης απόφασης κατά την αρχική αξιολόγηση μίας επένδυσης, καθώς βοηθά τους λήπτες απόφασης να επιλέξουν τη βέλτιστη εναλλακτική χρησιμοποιώντας κριτήρια που αντιπροσωπεύουν τις προτιμήσεις τους έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου.

4.3 3^ο εργαλείο υποστήριξης απόφασης: πολυκριτήρια μέθοδος αξιολόγησης επένδυσης (*Risk-Based Multi-Criteria Assessment : RBMCA*)

4.3.1 Σύνοψη, Δομή και πλαίσιο

Αυτή η παράγραφος επικεντρώνει στην αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων υλοποίησης ενός επενδυτικού έργου από πολλαπλούς λήπτες απόφασης με χρήση της μεθόδου ποσοτικής ανάλυσης των κινδύνων. Η Ανάλυση Κόστους Οφέλους (Cost Benefit Analysis: CBA) είναι μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος, στην οποία οι επενδύσεις αξιολογούνται κυρίως μέσω του υπολογισμού των δεικτών αξιολόγησής τους, λόγος Οφέλους/Κόστους (B/C), καθώς και της ποσοτικοποίησης των χρηματοοικονομικών, τεχνικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών κινδύνων. Εδώ, παρουσιάζεται ένα καινοτόμο εργαλείο υποστήριξης απόφασης της πολυκριτήριας αξιολόγησης με ανάλυση των κινδύνων (Risk-based multi-criteria assessment: RBMCA), το οποίο δύναται να χρησιμοποιηθεί από τους λήπτες αποφάσεων, ώστε να επιλέξουν τη βέλτιστη εναλλακτική ενός επενδυτικού έργου. Ειδικότερα, οι λήπτες αποφάσεων χρησιμοποιούν πολλαπλά κριτήρια, τα οποία βασίζονται στις συναρτήσεις σωρευτικών κατανομών πιθανότητας των λόγων B/C των εναλλακτικών. Το εν λόγω εργαλείο RBMCA εφαρμόζεται στην αξιολόγηση των εναλλακτικών ενός έργου αποτέφρωσης αποβλήτων, όπου η συνδεσιμότητα μεταξύ των βαρών των κριτηρίων και της συμπεριφοράς των ληπτών αποφάσεων έναντι του κινδύνου αναλύεται και παρουσιάζονται χρήσιμα συμπεράσματα.

Η απόφαση για την υλοποίηση ή όχι μίας επένδυσης είναι ένα από τα σημαντικότερα θέματα στην αναπτυξιακή στρατηγική ενός δημόσιου ή ιδιωτικού οργανισμού. Γενικά, τα έργα που υλοποιούνται στο σύγχρονο επιχειρηματικό περιβάλλον εξετάζονται ως επενδύσεις, καθώς η πλειονότητά τους έχει υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και εξετάζεται σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, έκαστο επενδυτικό έργο έχει έναν αριθμό εναλλακτικών μεθόδων υλοποίησης, σύμφωνα με διαφορετικές τεχνικές λύσεις υλοποίησης των αντικειμενικών σκοπών, την επιλογή χώρου, κ.α. Οι εναλλακτικές του έργου αναγνωρίζονται από τους λήπτες αποφάσεων, οι οποίοι υπολογίζουν το διαφορετικό κόστος που συνεπάγεται και τα προκύπτοντα οφέλη από κάθε μία, ώστε να τις αξιολογήσουν και να επιλέξουν τη βέλτιστη εναλλακτική μέθοδο για το έργο. Εντούτοις, αυτοί οι υπολογισμοί περικλείουν έναν υψηλό βαθμό αβεβαιότητας που συνδέεται με τους συνολικούς κινδύνους του έργου. Γενικότερα, ως κίνδυνος ορίζεται η «πιθανότητα ενός γεγονότος και οι συνέπειές του» (Hull, 1990), ενώ η διεργασία λήψης απόφασης μέσω της ποσοτικής ανάλυσης κινδύνων περιλαμβάνει τη ποσοτικοποίηση των κινδύνων που περικλείονται σε ένα έργο, ώστε να εκτιμηθεί η σωρευτική επίδρασή τους στην απόδοση αυτού. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε στη βιβλιογραφική αξιολόγηση, ένα κρίσιμο στοιχείο κατά τη διεργασία λήψης απόφασης μέσω της ποσοτικής ανάλυσης κινδύνων, αποτελεί η συμπεριφορά των ληπτών αποφάσεων έναντι του κινδύνου είναι (Xie et al., 2011), δηλ. αν είναι ουδέτεροι ως προς τον κίνδυνο, κινδυνόφοβοι ή κινδυνόφιλοι. Η CBA περιλαμβάνει μία συγκεκριμένο μέθοδο για τη προσέγγιση και την αξιολόγηση επενδυτικών έργων και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως τις τελευταίες δεκαετίες. Ειδικότερα, όπως αναλύθηκε στο 2^ο Κεφάλαιο της Διατριβής, η μέθοδος CBA περιλαμβάνει κάποια βασικά βήματα, στα οποία οι εναλλακτικές μίας επένδυσης αξιολογούνται στο τρίτο βήμα σύμφωνα με οικονομικά κριτήρια. Περαιτέρω, η

ποσοτικοποίηση των κινδύνων του έργου λαμβάνεται υπόψη μόνο για την επιλεγείσα εναλλακτική στο τελευταίο βήμα. Συγκεκριμένα, όπως προτείνεται από τον οδηγό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission : EC) για τη CBA επενδυτικών έργων (EC, 2008), έκαστο επενδυτικό έργο θα πρέπει να εξετάζεται χωριστά, ενώ το κείμενο προσέγγισης θα πρέπει να δομείται σε έξι βασικά βήματα, όπως παρακάτω:

- 1) Παρουσίαση και ανάλυση του κοινωνικο-οικονομικού πλαισίου και των αντικειμενικών στόχων του έργου
- 2) Ξεκάθαρος προσδιορισμός του έργου
- 3) Ανάλυση της σκοπιμότητας και αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων υλοποίησης
- 4) Χρηματοοικονομική ανάλυση
- 5) Οικονομική ανάλυση και
- 6) Αξιολόγηση των κινδύνων

Εντούτοις, ειδικά στα μεγάλα επενδυτικά έργα, που έχουν υψηλό επενδυτικό κόστος και μεγάλο χρονικό ορίζοντα, συγκροτούνται κοινοπρακτικά σχήματα μεταξύ διαφόρων επενδυτών, ενώ υφίστανται και πολλαπλοί χρηματοοικονομικοί, τεχνικοί, περιβαλλοντικοί και κοινωνικοί κίνδυνοι που δύναται να περικλείονται στις διάφορες εναλλακτικές του. Κατά συνέπεια, η ποσοτικοποίηση αυτών των κινδύνων για το σύνολο των εναλλακτικών είναι ιδιαίτερως κρίσιμη κατά τη διεργασία λήψης απόφασης από το σύνολο των συνεργαζόμενων επενδυτών. Γενικά, η επιλογή της βέλτιστης εναλλακτικής βασίζεται στα κριτήρια αξιολόγησης που θέτουν οι λήπτες αποφάσεων και ειδικότερα στο βάρος που έχει έκαστο κριτήριο (Benedetti et al., 2008). Σύμφωνα με τα όσα γνωρίζουμε μέχρι σήμερα, η διεθνή βιβλιογραφία δεν περιλαμβάνει συγκεκριμένο εργαλείο υποστήριξης απόφασης για την αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων υλοποίησης μίας επένδυσης, στο οποίο τα κριτήρια αξιολόγησης να βασίζονται στις προτιμήσεις των ληπτών αποφάσεων έναντι των κινδύνων. Συγκεκριμένα, το πλαίσιο του υποστηρικτικού εργαλείου απόφασης που παρουσιάζεται σε αυτή τη παράγραφο, είναι το τρίτο βήμα της διεργασίας CBA, δηλ. "Η ανάλυση της σκοπιμότητας του έργου και των εναλλακτικών αυτού". Ειδικότερα, επικεντρώνουμε στην αλληλεπίδραση μεταξύ ενός δωθέντος συνόλου εναλλακτικών για ένα επενδυτικό έργο και στη ποσοτικοποίηση των κινδύνων αυτού για όλες τις αναγνωρισμένες εναλλακτικές μεθόδους υλοποίησης, προκειμένου να αξιολογηθούν. Η μέθοδος πολυκριτήριας αξιολόγησης με ανάλυση των κινδύνων (Risk - based multi - criteria assessment : RBMCA) που παρουσιάζεται στη συνέχεια, δύναται να χρησιμοποιηθεί από πολλαπλούς λήπτες αποφάσεων, ώστε να επιλέξουν τη βέλτιστη εναλλακτική μίας επένδυσης, χρησιμοποιώντας ο καθένας τα κριτήρια προτίμησής του. Με άλλα λόγια, οι λήπτες αποφάσεων επιλέγουν τα κριτήρια αξιολόγησης σύμφωνα με τη ποσοτική ανάλυση των κινδύνων (Risk Analysis : RA) καθώς και τα βάρη αυτών σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου. Στις επόμενες παραγράφους, παρουσιάζεται η μέθοδος RBMCA η οποία και εφαρμόζεται σε μία περιπτωσιολογική μελέτη έργου αποτέφρωσης αποβλήτων, ενώ τα προκύπτοντα αποτελέσματα αναλύονται εκτενώς επισημαίνοντας χρήσιμα συμπεράσματα. Το σύνολο των χρησιμοποιούμενων συμβολισμών στο εργαλείο υποστήριξης απόφασης RBMCA, παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 19.

Πίνακας 19. Κατάλογος συμβολισμών για το εργαλείο υποστήριξης απόφασης μέσω της πολυκριτήριας αξιολόγηση με ανάλυση των κινδύνων

Εξωτερικότητες (αρνητικές ή θετικές)	<p>Συνέπειες από τη λειτουργία του έργου, που έχουν ως αποτέλεσμα το κόστος (αρνητικές εξωτερικότητες) ή το κέρδος (θετικές εξωτερικότητες) στην ευημερία μη σχετιζομένων τρίτων</p> <p>Άθροισμα του συνολικού όφελους (έσοδα συν θετικές εξωτερικότητες) για κάθε εναλλακτική (a), από το έργο</p>
Εισροές: υπολογίζονται ανά έτος = t	<p>$Inflows_{(a)}^t$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Παραδείγματα εσόδων σε έργα: από τη πώληση προϊόντων, από τη παροχή υπηρεσιών • Παραδείγματα θετικών εξωτερικοτήτων: αποφυγή ασθενειών, προσθήκη αξίας ανά m² άρδρευσης, προστασία υπόγειων υδάτων, περιορισμός εκπομπών CO₂
Εκροές: υπολογίζονται ανά έτος = t	<p>$Outflows_{(a)}^t$</p> <p>Άθροισμα του συνολικού κόστους (έξοδα συν αρνητικές εξωτερικότητες) για κάθε εναλλακτική (a), από το έργο</p> <ul style="list-style-type: none"> • Παραδείγματα εξόδων σε επενδυτικά έργα: Κόστος Αρχικής επένδυσης, λειτουργικά κόστη • Παραδείγματα αρνητικών εξωτερικοτήτων: η μόλυνση των υδάτων και του αέρα
Ανάλυση Προεξοφλημένων Ταμειακών Χρηματοροών	<p>DCFA</p> <p>Μετατροπή της μέλλουσας αξίας των εισροών και εκροών του έργου σε Παρούσα Αξία (PV) με τη χρήση προεξοφλητικού επιτοκίου, μέσω του πολλαπλασιασμού αυτών με έναν μειούμενο με τον χρόνο συντελεστή</p>
Μεταβλητές έργου: i=1,2,3,..., etc	<p>V_i</p> <p>Όλες οι παράμετροι του έργου, που περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς των $Inflows_t$ και $Outflows_t$ και αναμένεται οι τιμές τους να έχουν διακυμάνσεις κατά τον χρονικό ορίζοντα εξέτασης του έργου</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ένα παράδειγμα είναι ο πληθωρισμός, που μεταβάλλεται κατά τον χρόνο ζωής • Άλλο παράδειγμα είναι το κόστος αρχικής επένδυσης: μπορεί να είναι διάφορο του προυπολογιζόμενου

		<p>Όλες οι παράμετροι του έργου, που περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς των $Inflows_t$ και $Outflows_t$ και αναμένεται οι τιμές τους να είναι σταθερές κατά τον χρονικό ορίζοντα εξέτασης του έργου</p>
Σταθερές παράμετροι έργου: $j=1,2,3,\dots,etc$	F_j	<ul style="list-style-type: none"> Ένα παράδειγμα είναι το κοινωνικό περοεξοφλητικό επιτόκιο Άλλο παράδειγμα είναι η παραγωγή ενέργειας: MWh / ton αποβλήτων που αποτεφρώνονται
Κοινωνικό προεξοφλητικό επιτόκιο	SDR	<p>Αντικατοπτρίζει τη κοινωνική διάσταση για το πώς θα πρέπει οι καθαρές μελλοντικές ροές να αποτιμώνται σε παρούσα αξία</p> <ul style="list-style-type: none"> Σε αυτή τη δημοσίευση: $SDR = 5.5\%$, (βλ. EC, 2008)
Παρούσα Αξία Εισροών	$PV_{Inflows(a)}$	$PV_{Inflows(a)} = \sum_{t=1}^r \frac{Inflows_{(a)}^t}{(1 + SDR\%)^t}$ <p>r = χρονικός ορίζοντας, t = έτη , για κάθε εναλλακτική (a) του έργου</p>
Παρούσα Αξία Εκροών	$PV_{Outflows(a)}$	$PV_{Outflows(a)} = \sum_{t=1}^r \frac{Outflows_{(a)}^t}{(1 + SDR\%)^t}$ <p>r = χρονικός ορίζοντας, t = έτη , για κάθε εναλλακτική (a) του έργου</p>
Προσομοίωση Μόντε Κάρλο	MCS	<p>Μία αναλυτική μέθοδος υπολογισμού της κατανομής πιθανότητας των τιμών για τα επιλεγμένα εξερχόμενα, τα οποία συνδέονται μέσω συναρτήσεων με τα επιλεγμένα εισερχόμενα. Υλοποιείται μέσω συνεχών επαναλήψεων προσθήκης τυχαίων τιμών στα εισερχόμενα. Στο RBMCA, οι μεταβλητές V_i ορίζονται ως εισερχόμενα στο μοντέλο MCS γράφοντας κατανομές πιθανότητας σε κάθε μία, ενώ οι δείκτες B/C των εναλλακτικών ως εξερχόμενα</p>
Συνάρτηση Σωρευτικής Κατανομής Πιθανότητας	CPDF	<p>Μία συνάρτηση που δείχνει τη πιθανότητα ότι μία τυχαία μεταβλητή θα έχει τιμή μικρότερη ή ίση από τις τιμές που η μεταβλητή αυτή πιθανώς να λάβει. Στη μέθοδο RBMCA όλοι οι δείκτες B/C των εναλλακτικών ορίζονται ως εξερχόμενα, οπότε υπάρχει μία CPDF για έκαστο B/C μίας εναλλακτικής, υπολογιζόμενο μέσω της MCS. Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι ένας δείκτης B/C ratio (εξερχόμενο) που υπολογίζεται μέσω της σχέσης $V_1 + V_2 = B/C$, όπου οι</p>

μεταβλητές V_1, V_2 (εισερχόμενα), ακολουθούν τριγωνικές κατανομές όπως στον πίνακα:

Μεταβλητή	Ελάχιστη τιμή	Καλύτερη πρόβλεψη	Μέγιστη τιμή
V_1	0.5	0.75	1.0
V_2	0.2	0.80	1.2

Σε κάθε επανάληψη (προσομοίωση) υπάρχει μία στοχαστική τιμή που λαμβάνει έκαστη μεταβλητή V_1, V_2 μέσα στο οριζόμενο εύρος τους bounds (0.5 έως 1.0 και 0.2 έως 1.2

αντίστοιχα), π.χ.:

- επανάληψη 1: $V_1 = 0.51, V_2 = 0.88 \rightarrow B/C = 1.39$
- επανάληψη 2: $V_1 = 0.95, V_2 = 0.25 \rightarrow B/C = 1.20$
-
- επανάληψη 5,000: $V_1 = 0.50, V_2 = 0.30 \rightarrow B/C = 0.80$

Μέσω των 5,000 επαναλήψεων, η CPDF του δείκτη B/C που θα σχηματιστεί, θα έχει ως κατώτερο όριο του δείκτη B/C τη τιμή $B/C = 0.5 + 0.2 = 0.7$ και ως ανώτατο όριο τη τιμή $B/C = 1.0 + 1.2 = 2.2$, ενώ οι περισσότερες τιμές θα είναι πλησίον των τιμών καλύτερης πρόβλεψης των μεταβλητών: $B/C = 0.75 + 0.8 = 1.55$

Εναλλακτικές έργου	$a = 1,2,\dots,n$	
Δείκτης Οφέλους Κόστους (B/C) εναλλακτικής $a = 1,2,3,\dots, n$	B/C_a	Ο λόγος της Παρούσας Αξίας (PV) των εισροών του έργου προς τη PV των αντίστοιχων εκροών $B/C_a = PV_{Inflows(a)} / PV_{Outflows(a)}$
Κριτήρια αξιολόγησης	$c = 1,2,\dots,k$	$c = 1$: EVs των δεικτών B/C των εναλλακτικών $c = 2,3,4,\dots,k$: πιθανότητα για $B/C > 1$, πιθανότητα $B/C > 1.2, \dots$, κλπ.

<p>Αναμενόμενη τιμή του δείκτη B/C για τις εναλλακτικές του έργου $a = 1, 2, 3, \dots, n$</p>	EV_a	<p>Το σταθμισμένο άθροισμα όλων των πιθανών τιμών που δύναται να λάβει ο δείκτης B/C. Υπολογίζεται μέσω του αθροίσματος του συνόλου των πιθανών τιμών του δείκτη, όπου έκαστη τιμή πολλαπλασιάζεται με τη πιθανότητα να επέλθει. Για παράδειγμα, αν ένας δείκτης B/C μπορεί να λάβει τιμή B/C1 με πιθανότητα p_1, τιμή B/C2 με πιθανότητα p_2, ..., τιμή B/C_m με πιθανότητα p_m, όπου : $p_1 + p_2 + \dots + p_m = 100\%$, τότε, η αναμενόμενη τιμή EV του δείκτη B/C είναι ένας σταθερός αριθμός που δίνεται από τη σχέση: $EV = \sum_{r=1}^m B/C_r (p_r)$</p> <p>$EV_{Highest}$: Η μέγιστη τιμή ανάμεσα στις αναμενομενες τιμές EVs των εναλλακτικών</p> <p>Για κάθε εναλλακτική $a = 1, 2, 3, \dots, n$, υφίσταται:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μία συγκεκριμένη CPDF του δείκτη B/C • Μία συγκεκριμένη EV_a του δείκτη B/C της εναλλακτικής, που υπολογίζεται μέσω της CPDF
<p>Βάρη των κριτηρίων $c = 1, 2, 3, \dots, k$</p>	$weight^c$	$0 \leq weight^c \leq 100$ and $\sum_{c=1}^k weight^c = 100$
<p>Πιθανότητα των δεικτών B/C των εναλλακτικών για μεγαλύτερες τιμές από τις τιμές των κριτηρίων</p>	p_a^c	<p>Παράδειγμα: Στο κριτήριο $c = 3$ (πιθανότητα B/C > 1.5), η πιθανότητα για τον δείκτη B/C της εναλλακτικής $a = 4th$ να έχει υψηλότερη τιμή από το 1.5, υπολογίζεται μέσω της ανάλυσης της CPDF σε 26%. Τότε, είναι $p_4^3 = 26\%$</p>
<p>Βαθμολογία εναλλακτικών στο 1ο κριτήριο $c = 1$: (EVs των δεικτών των εναλλακτικών)</p>	$score_a^1$	$score_a^1 = EV_a (weight^1) / EV_{Highest}$, για κάθε μία εναλλακτική $a = 1, 2, 3, \dots, n$
<p>Βαθμολογία εναλλακτικών στα $c=2, 3, \dots, k$</p>	$score_a^c$	$score_a^c = p_a^c (weight^c)$, για κάθε μία εναλλακτική $a = 1, 2, 3, \dots, n$, σε κάθε ένα κριτήριο αξιολόγησης $c = 2, 3, 4, \dots, k$
<p>Συνολική βαθμολογία εναλλακτικών</p>	$total\ score_a$	$total\ score_a = \sum_{c=1}^k score_a^c$, για κάθε μία εναλλακτική $a = 1, 2, 3, \dots, n$

4.3.2 Τα βασικά στάδια της μεθόδου RBMCA

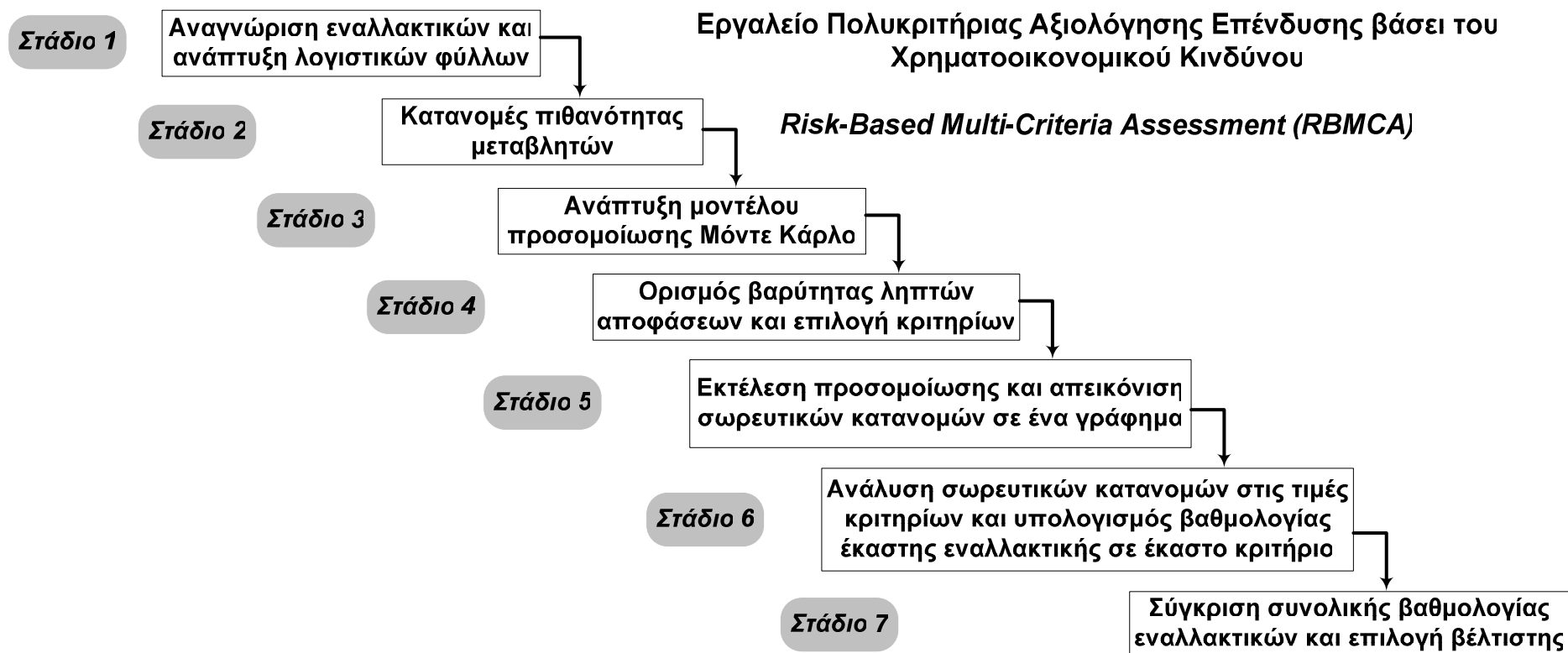
Θεωρούμε το σενάριο, όπου μία συγκεκριμένη επένδυση αξιολογείται σύμφωνα με τη μέθοδο ΑΚΟ. Αυτό το έργο έχει $a = 1,2,3,\dots,n$ εναλλακτικές, που διασφαλίζουν την επίτευξη των επιθυμητών στόχων και βασίζονται σε διαφορετικές μεθόδους διαχείρισης, για π.χ. στον τομέα διαχείρισης αποβλήτων είναι η ταφή, η κομποστοποίηση, η αποτέφρωση ή συνδυασμός αυτών. Συνεπώς, έκαστη εναλλακτική έχει διαφορετικό κόστος αρχικής επένδυσης, διαφορετικές ενεργειακές απαιτήσεις, λειτουργικό κόστος και έσοδα, ενώ υφίστανται διαφορετικά οφέλη και κόστη από κάθε μία. Σε αυτή τη παραγράφο, παρουσιάζεται ένα υποστηρικτικό εργαλείο απόφασης, το οποίο χρησιμοποιώντας τη ποσοτική ανάλυση κινδύνων, δύναται να χρησιμοποιηθεί από πολλαπλούς λήπτες αποφάσεων που θα αξιολογήσουν αυτές τις εναλλακτικές και θα επιλέξουν τη βέλτιστη λύση σύμφωνα με πολλαπλά κριτήρια, τα οποία βασίζονται στις προτιμήσεις τους έναντι του κινδύνου. Το προτεινόμενο εργαλείο εφαρμόζεται στις περιπτώσεις που οι αναγνωρισθέντες εναλλακτικές μέθοδοι υλοποίησης ενός έργου ικανοποιούν τους αντικειμενικούς στόχους της επένδυσης και έκαστη έχει διαφορετικά χρηματοοικονομικά, περιβαλλοντικά ή κοινωνικά οφέλη και κόστη. Η μέθοδος RBMCA παρουσιάζει τα απαραίτητα στάδια που πρέπει να ακολουθήσουν οι λήπτες αποφάσεων, ώστε να αξιολογήσουν τις εναλλακτικές ενός έργου σύμφωνα με τα $c = 1,2,3,\dots,k$ κριτήρια αξιολόγησης που βασίζονται στις κατανομές CPDFs των δεικτών B/C των εναλλακτικών. Είναι ξεκάθαρο ότι δεν υφίσταται κανένας περιορισμός στον αριθμό των εναλλακτικών ή στον αριθμό των κριτηρίων αξιολόγησης που δύναται να χρησιμοποιήσουν οι λήπτες αποφάσεων. Το προτεινόμενο εργαλείο υποστήριξης απόφασης αποτελείται από 7 βασικά στάδια που παρουσιάζονται στο επόμενο Σχήμα 37.

4.3.2.1 Στάδιο 1: Αναγνώριση εναλλακτικών και δημιουργία υπολογιστικού φύλλου

Στο πρώτο στάδιο, οι λήπτες αποφάσεων αναγνωρίζουν το σύνολο των εναλλακτικών μεθόδων υλοποίησης του έργου, τα οποία προσδίδουν το επιθυμητό αποτέλεσμα ικανοποιώντας τους αντικειμενικούς σκοπούς της επένδυσης. Σε αυτό το σημείο, αναπτύσσεται ένα λογιστικό φύλλο για τον υπολογισμό των δεικτών B/C. Το υπόψη λογιστικό φύλλο περιλαμβάνει όλες τις αναγκαίες παραμέτρους (μεταβλητές ή σταθερές), όπου έκαστη εγγράφεται μία φορά και συνδέεται με εξισώσεις με τους δείκτες B/C των εναλλακτικών (βλ. παράδειγμα στον Πίνακα 19).

4.3.2.2 Στάδιο 2: Κατανομές πιθανοτήτων των μεταβλητών

Σύμφωνα με το δεύτερο στάδιο του συστήματος, οι λήπτες αποφάσεων εγγράφουν τις απαραίτητες κατανομές πιθανοτήτων σε όλες τις μεταβλητές του έργου, μέσω της επιλογής των κατανομών καθώς και του εύρους διακύμανσης των τιμών τους γύρω από τη τιμή βάσης.



Σχήμα 37. Διάγραμμα ροής του εργαλείου υποστήριξης απόφασης μέσω της πολυκριτήριας αξιολόγησης με ανάλυση των κινδύνων (RBMCA)

4.3.2.3 Στάδιο 3: Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης Μόντε Κάρλο (MCS)

Στο τρίτο στάδιο, αναπτύσσεται ένα μοντέλο MCS, όπου οι ορισμένες κατανομές πιθανοτήτων των μεταβλητών αποτελούν τα εισερχόμενα και οι δείκτες B/C των εναλλακτικών $a = 1, 2, 3, \dots, n$ του έργου, δηλ. οι $B/C_1, B/C_2, B/C_3, \dots, B/C_n$, αντίστοιχα, ορίζονται ως εξερχόμενα.

4.3.2.4 Στάδιο 4: Ορισμός κριτηρίων και επιλογή βαρών

Στο τέταρτο στάδιο, οι λήπτες αποφάσεων ορίζουν τα κριτήρια αξιολόγησης $c = 1, 2, 3, \dots, k$ και επιλέγουν το βάρος έκαστου κριτηρίου (weight c) (βλ. Πίνακας 19). Έκαστος λήπτης απόφασης έχει ένα συγκεκριμένο βάρος, π.χ. οι μέτοχοι μίας εταιρίας σύμφωνα με το ποσοστό μετοχών που ο καθένας έχει, ενώ δύναται να επιλεγούν παραπάνω από ένα κριτήρια από ένα λήπτη απόφασης, ο οποίος θα πρέπει να καταναίμει το βάρος που του αντιστοιχεί σε έκαστο κριτήριο. Οι περιορισμοί που ισχύουν, παρουσιάζονται στις επόμενες σχέσεις:

- Τα βάρη ικανοποιούν τις συνθήκες:

$$0 \leq \text{weight}^c \leq 100 \text{ και } \sum_{c=1}^k \text{weight}^c = 100 \quad (4.11)$$

- $c = 1$: Αναμενόμενες τιμές (EVs) των δεικτών B/C των εναλλακτικών

$$c = 1 \rightarrow \text{weight}^1 \quad (4.12)$$

- $c = 2, 3, \dots, k$: Πιθανότητα p για τους δείκτες B/C των εναλλακτικών να έχουν μεγαλύτερες τιμές από συγκεκριμένες τιμές-στόχους:

$$B/C > 1, B/C > 1.2, \dots, B/C > 2.3 \rightarrow \text{weight}^2, \text{weight}^3, \dots, \text{weight}^k \quad (4.13)$$

4.3.2.5 Στάδιο 5: Προσομοίωση και απεικόνιση σωρευτικών κατανομών σε ένα γράφημα

Σύμφωνα με το πέμπτο στάδιο, οι λήπτες αποφάσεων υλοποιούν τη προσομοίωση MCS, έτσι ώστε οι σωρευτικές κατανομές πιθανότητας CPDFs των δεικτών B/C των εναλλακτικών, να απεικονίζονται σε ένα μοναδικό διάγραμμα.

4.3.2.6 Στάδιο 6: Ανάλυση των συναρτήσεων σωρευτικών κατανομών πιθανότητας και υπολογισμός της βαθμολογίας έκαστης εναλλακτικής σε έκαστο κριτήριο

Στο έκτο στάδιο του συστήματος, οι EVs των δεικτών B/C των εναλλακτικών υπολογίζονται και οι CPDFs τους αναλύονται περαιτέρω στις τιμές B/C των επιλεγμένων κριτηρίων, ώστε να υπολογιστεί για κάθε μία η πιθανότητα p_a να λάβει μεγαλύτερες τιμές από

αυτές. Σε αυτό το σημείο, η βαθμολογία για έκαστη εναλλακτική $a = 1, 2, 3, \dots, n$ σε κάθε ένα κριτήριο $c = 2, 3, 4, \dots, k$ υπολογίζεται:

$$\text{score}_a^c = p_a^c (\text{weight}^c) \quad (4.14)$$

Ειδικά για το κριτήριο $c = 1$, δηλ. οι EVs των δεικτών B/C των εναλλακτικών συγκρίνονται και η μέγιστη εξ αυτών επιλέγεται (EV_{Highest}), π.χ.

$$EV_4 > EV_3 > EV_a > \dots > EV_2 \quad (4.15)$$

Σε αυτή τη περίπτωση, $EV_{\text{Highest}} = EV_4$ και η βαθμολογία score_a^1 για έκαστη εναλλακτική $a = 1, 2, \dots, n$ δίνεται:

$$\text{score}_a^1 = EV_a (\text{weight}^1) / EV_{\text{Highest}} \Rightarrow \text{score}_a^1 = EV_a (\text{weight}^1) / EV_4 \quad (4.16)$$

Στη συνέχεια, οι λήπτες αποφάσεων αθροίζουν για κάθε μία εναλλακτική, τη βαθμολογία που έχει σε έκαστο κριτήριο $c = 1, 2, 3, \dots, k$, και υπολογίζουν τη συνολική βαθμολογία για έκαστη εναλλακτική $a = 1, 2, \dots, n$:

$$\text{total score}_a = \text{score}_a^1 + \text{score}_a^2 + \dots + \text{score}_a^k = \sum_{c=1}^k \text{score}_a^c \quad (4.17)$$

4.3.2.7 Στάδιο 7: Σύγκριση βαθμολογιών εναλλακτικών και επιλογή βέλτιστης

Στο έβδομο στάδιο του συστήματος, οι συνολικές βαθμολογίες για το σύνολο των εναλλακτικών συγκρίνονται και επιλέγεται αυτή που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη βαθμολογία, π.χ. η 3^η εναλλακτική:

$$\text{total score}_3 > \text{total score}_1 > \text{total score}_2 > \dots > \text{total score}_n$$

4.3.3 Περιπτώσιολογική μελέτη: Αξιολόγηση εναλλακτικών έργου αποτέφρωσης αποβλήτων με τη μέθοδο RBMCA

Σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάζεται μία ενδεικτική περιπτώσιολογική μελέτη εφαρμογής, στην οποία αναλύεται ο τρόπος υλοποίησης της προτεινόμενης μεθόδου RBMCA. Εξετάζεται ένα έργο αποτέφρωσης αποβλήτων, το οποίο πρόκειται να υλοποιηθεί στη Νοτιοανατολική Ευρώπη και περιλαμβάνει τη κατασκευή και λειτουργία ενός νέου εργοστασίου αποτέφρωσης αποβλήτων. Η χωρητικότητα σχεδιασμού είναι σταθερή και η μονάδα αποτέφρωσης θα έχει μία αποδοχή της τάξης των 200,000 ton αστικών αποβλήτων σε ετήσια βάση. Αρχικά, υπάρχουν τέσσερις εναλλακτικές του έργου αποτέφρωσης που αναγνωρίζονται, δηλ. $a = 1, 2, 3, 4$, οι οποίες βασίζονται σε διαφορετικές τεχνικές λύσεις,

όπως ο κύκλος ατμοποίησης και η ανάκτηση ενέργειας, δηλ. παραγωγής ηλεκτρισμού ή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP) (Damgaard et al., 2010).

Οι βασικές παραδοχές της συγκεκριμένης περιπτώσιολογικής μελέτης είναι οι:

- Υποθέτουμε ότι οι λοιπές εναλλακτικές διαχείρισης, π.χ. ταφή, εναπόθεση, κλπ, έχουν ήδη εξεταστεί και κρίθηκε ότι δεν ικανοποιούν τους αντικειμενικούς στόχους του έργου. Υπάρχουν όμως τέσσερις εναλλακτικές μέθοδοι αποτέφρωσης, οι οποίες θα αξιολογηθούν μέσω του συστήματος RBMCA στην επόμενη υποπαράγραφο.
- Οι τέσσερις εναλλακτικές εξετάζονται στον ίδιο χρονικό ορίζοντα, όπου το πρώτο έτος αποτελεί τη φάση κατασκευής και τα επόμενα δεκαπέντε έτη τη λειτουργική φάση του έργου.
- Το κοινωνικό προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιείται στη παρούσα μελέτη είναι το 5.5%, ενώ ο συντελεστής μετατροπής που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των αγοραίων τιμών στις αντίστοιχες λογιστικές είναι ο σταθερός συντελεστής: 0.96, όπως προτείνεται από τον Ευρωπαϊκό οδηγό για την CBA επενδυτικών έργων (EC, 2008).
- Το κόστος του θορύβου, οι αισθητικές επιδράσεις και οι επιδράσεις στο έδαφος λαμβάνονται ως αρνητικές εξωτερικότητες, οι οποίες επηρεάζουν τη τιμή μίσθωσης ακινήτων στη περιοχή λειτουργίας του εργοστασίου αποτέφρωσης. Η διαφορά μεταξύ της αγοραίας τιμής μίσθωσης χωρίς το εργοστάσιο και η αντίστοιχη με τη λειτουργία του εργοστασίου, εκτιμάται σε € 950,000.00 κατά το 1^ο έτος λειτουργίας και είναι ίση για το σύνολο των εναλλακτικών.
- Οι θετικές εξωτερικότητες είναι ίσες με τα οφέλη που προέρχονται εξαιτίας του περιορισμού εκπομπής αερίων έκλυσης (CO₂ και CH₄), τα οποία θα παράγονταν χωρίς τον αποτεφρωτήρα, μέσω της εναπόθεσης των αποβλήτων στο (βλ. Nahman, 2011). Αυτά τα οφέλη εκτιμώνται σε € 6.50 / ton που καίγεται στο εργοστάσιο και κατά συνέπεια, οι θετικές εξωτερικότητες για το 1^ο έτος λειτουργίας υπολογίζονται σε: 6.50 (€ / ton) x 200,000 (ton / year) = 1,300,000 €, οι οποίες είναι ίσες για όλες τις εναλλακτικές.
- Το κόστος μισθοδοσίας είναι ίσο για το σύνολο των τεσσάρων εναλλακτικών, ενώ η υπολλειμματική αξία και ο φόρος προστιθέμενης αξίας δεν λαμβάνονται υπόψη, όχι λόγω περιορισμού από το σύστημα, αλλά για λόγους απλοποίησης.

4.3.3.1 Στάδιο 1: Αναγνώριση εναλλακτικών και ανάπτυξη λογιστικού φύλλου

Σύμφωνα με τη προτεινόμενη μέθοδο, (βλ. Σχήμα 37), υφίστανται τέσσερις εναλλακτικές του έργου που έχουν αναγνωρισθεί, οι οποίες και παρουσιάζονται στον Πίνακα 20. Οι υπόψη εναλλακτικές έχουν την ίδια απόδοση καύσης αποβλήτων που είναι 200,000 ton/year οπότε και τα έσοδα από τη παροχή υπηρεσιών είναι ίδια. Εντούτοις, εξαιτίας του ότι έκαστη εναλλακτική πρεσβεύει μία μοναδική τεχνική λύση, η παραγόμενη ενέργεια ηλεκτρισμού και θέρμανσης, καθώς και οι συνολικά εκτιμώμενες θετικές χρηματοροές είναι διαφορετικές. Περαιτέρω, υπάρχουν συγκεκριμένες μεταβλητές, οι οποίες επηρεάζουν μία ή παραπάνω εναλλακτικές, π.χ. η τιμή πώλησης θέρμανσης επιδρά μόνο στην 3^η εναλλακτική, ενώ ο ξηρός καθαρισμός των αερίων σωλήνων επιδρά επιδρά στις 1^η, 2^η και 3^η εναλλακτικές. Ένας πλήρης κατάλογος των μεταβλητών (V_i) και των σταθερών παραμέτρων (F_j) που χρησιμοποιούνται στη παρούσα περιπτώσιολογική μελέτη, παρουσιάζεται στον Πίνακα 20. Αυτοί οι παράμετροι, $V_1, V_2, V_3, \dots, V_{22}$ οι μεταβλητές και F_1, F_2, \dots, F_5 οι σταθερές, οι οποίες έχουν διαφορετικές μονάδες (δηλ. €/MWh, MWh/ton, €/year, €/ton, ton/year και %), συνδέονται κατάλληλα σε εξισώσεις, ώστε να προκύπτουν για έκαστη εναλλακτική οι εισροές

και εκροές στις ίδιες μονάδες που είναι το (€ / year), για το πρώτο ($t = 1$) και το δεύτερο έτος ($t = 2$) του χρονικού ορίζοντα του έργου. Αυτές είναι οι $Inflows_{(1)}^t$ και $Outflows_{(1)}^t$ για τη 1^η, οι $Inflows_{(2)}^t$ και $Outflows_{(2)}^t$ για τη 2^η, $Inflows_{(3)}^t$ και $Outflows_{(3)}^t$ για τη 3^η και $Inflows_{(4)}^t$ και $Outflows_{(4)}^t$ για τη 4^η εναλλακτική. Στη συνέχεια, αναπτύσσεται ένα υπολογιστικό φύλλο για τον υπολογισμό των δεικτών B/C των εναλλακτικών. Ξεκάθαρα, υπάρχει ένας δείκτης B/C για έκαστη εναλλακτική του εξεταζόμενου έργου, που είναι ο B/C_1 για τη 1^η, ο B/C_2 για τη 2^η, ο B/C_3 για τη 3^η και ο B/C_4 για τη 4^η εναλλακτική. Κάθε ένας από τους δείκτες αυτούς είναι ένας σωρευτικός αριθμός που περιλαμβάνει τη συνδυασμένη επίδραση του συνόλου των σταθερών και μεταβλητών παραμέτρων του έργου στην εξεταζόμενη εναλλακτική. Το υπολογιστικό φύλλο απεικονίζεται στον Πίνακα 21, όπου τα κόστη των αρχικών επενδύσεων των εναλλακτικών λογίζονται στο πρώτο έτος του χρονικού ορίζοντα του έργου. Επιπλέον, οι εισροές και εκροές των εναλλακτικών (που υπολογίζονται στον Πίνακα 20), χρησιμοποιούνται στο δεύτερο έτος του ορίζοντα του έργου και αυξάνονται ετησίως σύμφωνα με τον πληθωρισμό, που λαμβάνεται σε 1.5%. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 21, για κάθε μία εναλλακτική υπολογίζεται η Παρούσα Αξία των εισροών και των εκροών της, π.χ. για τη 1^η εναλλακτική:

$$PV_{inflows(1)} = \sum_{t=1}^{16} \frac{Inflows_{(1)}^t}{(1+5.5\%)^t} = 0 + \sum_{t=2}^{16} \frac{(V_1(V_2 + F_{1(1)}(V_4)) + V_3)(1+V_{22})^{t-2}}{(1+5.5\%)^t} \quad (4.18)$$

Αυτές οι εισροές ορίζουν τον αριθμητή ενώ οι αντίστοιχες εκροές:

$$PV_{outflows(1)} = \sum_{t=1}^{16} \frac{Outflows_{(1)}^t}{(1+5.5\%)^t} = \frac{V_{18}}{1+5.5\%} + \sum_{t=2}^{16} \frac{(V_1(V_7 + V_8 + V_9 + V_{11} + V_{12} + V_{13}) + V_6 + V_{10})(1+V_{22})^{t-2}}{(1+5.5\%)^t} \quad (4.19)$$

ορίζουν τον παρανομαστή του λόγου B/C_1 που αντιστοιχεί στη 1^η εναλλακτική:

$$B/C_1 = \frac{PV_{Inflows(1)} \quad (8)}{PV_{Outflows(1)} \quad (9)} = \frac{\sum_{t=2}^{16} \frac{(V_1(V_2 + F_{1(1)}(V_4)) + V_3)(1+V_{22})^{t-2}}{(1+5.5\%)^t}}{\frac{V_{18}}{1+5.5\%} + \sum_{t=2}^{16} \frac{(V_1(V_7 + V_8 + V_9 + V_{11} + V_{12} + V_{13}) + V_6 + V_{10})(1+V_{22})^{t-2}}{(1+5.5\%)^t}} \quad (4.20)$$

Πίνακας 20. Αναμενόμενες εισροές (Inflows(a)t) και εκροές (Outflows(a)t) των εναλλακτικών: a = 1,2,3,4 στο 1ο (t = 1) και 2ο έτος (t = 2) του χρονικού ορίζοντα του έργου

Έτη	Μεταβλητές / Εξισώσεις	Περιγραφή	Μονάδες	1 ^η εναλλακτ. (a = 1)	2 ^η εναλλακτ. (a = 2)	3 ^η εναλλακτ. (a = 3)	4 ^η εναλλακτ. (a = 4)	
				Σύστημα καύσης ξηρό, με υγρό & καταλυτικό καθαρισμό σωληνώσεων – Κύκλος ατμού συνδεδεμένος με εγκατάσταση παραγωγ. ηλεκτρισμού	Σύστημα καύσης ξηρό, με υγρό & καταλυτικό καθαρισμό σωληνώσεων και παραγωγή ηλεκτρισμού (παράμετροι 50 bar, 400 °C)	Σύστημα καύσης ξηρό, με υγρό & καταλυτικό καθαρισμό σωληνώσεων και παραγωγή ηλεκτρισμού & θερμότητας (CHP) (παράμετροι: 50 bar, 400 °C)	Σύστημα καύσης με ηλεκτροστατική πτώση, ενεργοποιημένο απορροφητή άνθρακα και καταλυτική παραγωγ. ηλεκτρισμού (50 bar, 400 °C)	
1 ^ο Έτος t = 1	Στο 1 ^ο έτος, η μονάδα είναι υπό κατασκευή, δεν υπάρχουν εισροές, ενώ ως εκροές λαμβάνεται το κόστος αρχικής επένδυσης			(€/year)	Inflows₍₁₎¹ = 0	Inflows₍₂₎¹ = 0	Inflows₍₃₎¹ = 0	Inflows₍₄₎¹ = 0
	V18	Κόστος αρχ. επένδυσης ⁽¹⁾	(€/year)	Outflows₍₁₎¹ = 86,785,000.00	-	-	-	
	V19	Κόστος αρχ. επένδυσης ⁽²⁾	(€/year)	-	Outflows₍₂₎¹ = 86,110,000.00	-	-	
	V20	Κόστος αρχ. επένδυσης ⁽³⁾	(€/year)	-	-	Outflows₍₃₎¹ = 88,810,000.00	-	
	V21	Κόστος αρχ. επένδυσης ⁽⁴⁾	(€/year)	-	-	-	Outflows₍₄₎¹ = 81,000,000.00	

2 ^ο έτος Εισροές t = 2	V1	Ζήτηση (ton/year)	200,000.00	200,000.00	200,000.00	200,000.00
	V2	Παροχή υπηρεσιών (€/ton)	130.00	130.00	130.00	130.00
	V ₁ x V ₂	Έσοδα (υπηρεσίες) (€/year)	26,000,000.00	26,000,000.00	26,000,000.00	26,000,000.00
	V3	Θετικές εξωτερικότητες (€/year)	1,300,000.00	1,300,000.00	1,300,000.00	1,300,000.00
	F _a	Παραγωγή ηλεκτ. ενέργειας (MWh/ton)	F ₁ = 0.66	F ₂ = 0.44	F ₃ = 0.22	F ₄ = 0.44
	V4	Πώληση ηλεκτ. Ενέργειας (€/MWh)	22.50	22.50	22.50	22.50
	F ₅	Παραγωγή θερμότητας MWh/ton	-	-	1.98	-
	V5	Πώληση θερμότητας €/MWh	-	-	6.00	-
V1 x V2 + V3 + V1 x F1 x V4			€/year	Inflows₍₁₎² = 30,270,000.00	-	-
V1 x V2 + V3 + V1 x F2 x V4			(€/year)	-	Inflows₍₂₎² = 29,280,000.00	-
V1 x V2 + V3 + V1 x F3 x V4 + V1 x F5 x V5			(€/year)	-	-	Inflows₍₃₎² = 30,666,000.00
V1 x V2 + V3 + V1 x F4 x V4			(€/year)	-	-	Inflows₍₄₎² = 29,280,000.00

2 ^ο έτος Εκροές t = 2	V6	Αρνητικές εξωτερικότητες (€/year)	950,000.00	950,000.00	950,000.00	950,000.00
	V7	Κόστος συλλογής και εναπόθεσης (€/ton)	4.24	4.24	4.24	4.24
	V8	Σύστημα καύσης & λέβητας (€/ton)	36.42	36.42	36.42	36.42
	V9	Καταλυτικ καθαρ. σωλήνων (€/ton)	3.20	3.20	3.20	3.20
	V10	Μισοδοσία (€/year)	1,800,000.00	1,800,000.00	1,800,000.00	1,800,000.00
	V11	Ξηρός καθαρ. σωλήνων (€/ton)	7.21	7.21	7.21	-
	V12	Αποξεστής γύψου (€/ton)	5.48	5.48	5.48	-
	V13	Στρόβιλος εξαγωγής ατμού (θερμική παραγ. ενέργειας) (€/ton)	8.19	-	-	-
	V14	Στρόβιλος εξαγωγής ατμού (50 bar και 400 °C) (€/ton)	-	3.02	-	3.02
	V15	Παραγωγή ηλεκτρισμού & θερμότητας (CHP) με ατμό(50 bar, 400 °C) (€/ton)	-	-	8.07	-
	F ₅	Παρ. θερμότητας (MWh/ton)	-	-	1.98	-

V5	Πώληση θερμότητας	(€/MWh)	-	-	6.00	-
$V_1 \times V_2 + V_3 + V_1 \times F_1 \times V_4$		(€/year)	Inflows₍₁₎² =		-	-
			30,270,000.00			
$V_1 \times V_2 + V_3 + V_1 \times F_2 \times V_4$		(€/year)	-	Inflows₍₂₎² =		-
				29,280,000.00		
$V_1 \times V_2 + V_3 + V_1 \times F_3 \times V_4$ + $V_1 \times F_5 \times V_5$		(€/year)	-	-	Inflows₍₃₎² =	
					30,666,000.00	
$V_1 \times V_2 + V_3 + V_1 \times$ $F_4 \times V_4$		(€/year)	-	-	-	Inflows₍₄₎² =
						29,280,000.00
V16	Ηλεκτροστατικός απορροφητής με απορρόφηση	(€/ton)	-	-	-	12.00
V17	Ενεργοπ. απορροφητής	(€/ton)	-	-	-	4.92
V22	Πληθωρισμός	(%)	1.50	1.50	1.50	1.50
$V_1 \times (V_7 + V_8 + V_9 + V_{11} + V_{12} +$ $V_{13}) + V_6 + V_{10}$		(€/year)	Outflows₍₁₎² =		-	-
			15,698,000.00			
$V_1 \times (V_7 + V_8 + V_9 + V_{11} + V_{12} +$ $V_{14}) + V_6 + V_{10}$		(€/year)	-	Outflows₍₂₎² =		-
				14,664,000.00		
$V_1 \times (V_7 + V_8 + V_9 + V_{11} + V_{12} +$ $V_{15}) + V_6 + V_{10}$		(€/year)	-	-	Outflows₍₃₎² =	
					15,674,000.00	
$V_1 \times (V_7 + V_8 + V_9 + V_{14} + V_{16} +$ $V_{17}) + V_6 + V_{10}$		(€/year)	-	-	-	Outflows₍₄₎² =
						15,510,000.00

Πίνακας 21. Υπολογιστικό φύλλο των δεικτών B/C των εναλλακτικών του έργου (τιμές βάσης των μεταβλητών) (x 1,000.00 € / έτος)

		Υπολογισμός των εισρών σε Παρούσα Αξία για τις εναλλακτικές (PV _{Inflows})															
Μεταβλητές / Συναρτήσεις	Περιγραφή	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 5	t = 6	t = 7	t = 8	t = 9	t = 10	t = 11	t = 12	t = 13	t = 14	t = 15	t = 16
t = 2,3,4,...,16																	
$V_1 \times V_2 \times (1 + V_{22})^{t-2}$	Έσοδα (υπηρεσίες)	0	26,00	26,39	26,78	27,18	27,59	28,00	28,42	28,85	29,28	29,72	30,17	30,62	31,08	31,55	32,025
$V_3 \times (1 + V_{22})^{t-2}$	Θετικές εξωτερικότητ	0	1,30	1,31	1,33	1,35	1,37	1,40	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50	1,53	1,55	1,57	1,601
$V_1 \times F_1 \times V_4 \times (1 + V_{22})^t$	Έσοδα από πώληση ηλεκτ ενέργειας ₍₁₎ ^t	0	2,97	3,01	3,05	3,10	3,15	3,19	3,24	3,29	3,34	3,39	3,44	3,49	3,55	3,60	3,658
$V_1 \times F_2 \times V_4 \times (1 + V_{22})^{t-2}$	Έσοδα από πώληση ηλεκτ ενέργειας ₍₂₎ ^t	0	1,98	2,00	2,03	2,07	2,10	2,13	2,16	2,19	2,23	2,26	2,29	2,33	2,36	2,40	2,438
$(V_1 \times F_3 \times V_4 + V_1 \times F_5 \times V_5) \times (1 + V_{22})^{t-2}$	Έσοδα από ηλεκτ/ θερμ .ενέργεια ₍₃₎ ^t	0	3,36	3,41	3,46	3,51	3,57	3,62	3,68	3,73	3,79	3,84	3,90	3,96	4,02	4,08	4,146
$V_1 \times F_4 \times V_4 \times (1 + V_{22})^{t-2}$	Έσοδα από πώληση ηλεκτ ενέργειας ₍₄₎ ^t	0	1,98	2,00	2,03	2,07	2,10	2,13	2,16	2,19	2,23	2,26	2,29	2,33	2,36	2,40	2,438
$(V_1 \times V_2 + V_3 + V_1 \times F_1 \times V_4) \times (1 + V_{22})^{t-2}$	Inflows₍₁₎^t	0	30,27	30,72	31,18	31,65	32,12	32,60	33,09	33,59	34,09	34,61	35,12	35,65	36,19	36,73	37,285

$(V_1 \times V_2 + V_3 + V_1 \times F_2 \times V_4) \times (1 + V_{22})^{t-2}$	Inflows₍₂₎^t	0	29,28	29,71	30,16	30,61	31,07	31,54	32,01	32,49	32,98	33,47	33,98	34,49	35,00	35,53	36,065
$(V_1 \times V_2 + V_3 + V_1 \times F_3 \times V_4 + V_1 \times F_5 \times V_5) \times (1 + V_{22})^{t-2}$	Inflows₍₃₎^t	0	30,66	31,12	31,59	32,06	32,54	33,03	33,53	34,03	34,54	35,06	35,58	36,12	36,66	37,21	37,773
$(V_1 \times V_2 + V_3 + V_1 \times F_4 \times V_4) \times (1 + V_{22})^{t-2}$	Inflows₍₄₎^t	0	29,28	29,71	30,16	30,61	31,07	31,54	32,01	32,49	32,98	33,47	33,98	34,49	35,00	35,53	36,065

$$PV_{inflows(1)} = \sum_{t=1}^{16} \frac{Inflows_{(1)}^t}{(1 + 5.5\%)^t} = 0 + \sum_{t=2}^{16} \frac{(V_1(V_2 + F_1(V_4)) + V_3)(1 + V_{22})^{t-2}}{(1 + 5.5\%)^t} = 315,596,842$$

$$PV_{inflows(2)} = \sum_{t=1}^{16} \frac{Inflows_{(2)}^t}{(1 + 5.5\%)^t} = 0 + \sum_{t=2}^{16} \frac{(V_1(V_2 + F_2(V_4)) + V_3)(1 + V_{22})^{t-2}}{(1 + 5.5\%)^t} = 305,275,042$$

$$PV_{inflows(3)} = \sum_{t=1}^{16} \frac{Inflows_{(3)}^t}{(1 + 5.5\%)^t} = 0 + \sum_{t=2}^{16} \frac{(V_1(V_2 + F_3(V_4) + F_5(V_5)) + V_3)(1 + V_{22})^{t-2}}{(1 + 5.5\%)^t} = 319,725,061$$

$$PV_{inflows(4)} = \sum_{t=1}^{16} \frac{Inflows_{(4)}^t}{(1 + 5.5\%)^t} = 0 + \sum_{t=2}^{16} \frac{(V_1(V_2 + F_4(V_4)) + V_3)(1 + V_{22})^{t-2}}{(1 + 5.5\%)^t} = 305,275,042$$

Υπολογισμός των εκροών σε Παρούσα Αξία για τις εναλλακτικές (PV_{Outflows})

Μεταβλητές	Περιγραφή	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 5	t = 6	t = 7	t = 8	t = 9	t = 10	t = 11	t = 12	t = 13	t = 14	t = 15	t = 16
t = 1																	
V18	Κόστος αρχικής επένδυσης (1)	86,78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V19	Κόστος αρχικής επένδυσης (2)	86,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V20	Κόστος αρχικής επένδυσης (3)	88,81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V21	Κόστος αρχικής επένδυσης (4)	81,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t = 2,3,4,...,16																	
$V_6 \times (1+V_{22})^{t-2}$	Αρνητικές εξωτερικότητες	0	950	964	978	993	1,00	1,02	1,03	1,05	1,07	1,08	1,10	1,11	1,13	1,15	1,170

Υπολογισμός των εκροών σε Παρούσα Αξία για τις εναλλακτικές (PV_{Outflows})

Μεταβλητές / Συναρτήσεις	Περιγραφή	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 5	t = 6	t = 7	t = 8	t = 9	t = 10	t = 11	t = 12	t = 13	t = 14	t = 15	t = 16
t = 1																	
$V_7 \times V_1 \times (1+V_{22})^{t-2}$	Κόστος συλλογής – εναπόθεσης	0	848	860	873	886	900	913	927	941	955	969	984	998	1,01	1,02	1,044

$V_8 \times V_1 \times (1+V_{22})^{t-2}$	καύση-λέβητας	0	7,28	7,39	7,50	7,61	7,73	7,84	7,96	8,08	8,20	8,32	8,45	8,58	8,70	8,83	8,972
$V_9 \times V_1 \times (1+V_{22})^{t-2}$	Καταλυτ. καθ. σωλήνων	0	640	649	659	669	679	689	699	710	720	731	742	753	765	776	788
$V_{10} \times (1+V_{22})^{t-2}$	Μισθοδοσία	0	1,80	1,82	1,85	1,88	1,91	1,93	1,96	1,99	2,02	2,05	2,08	2,12	2,15	2,18	2,217
$V_{11} \times V_1 \times (1+V_{22})^{t-2}$	Ξηρός καθ. σωλήνων	0	1,44	1,46	1,48	1,50	1,53	1,55	1,57	1,60	1,62	1,64	1,67	1,69	1,72	1,74	1,776
$V_{12} \times V_1 \times (1+V_{22})^{t-2}$	Αποξεστής γύψου	0	1,09	1,12	1,12	1,14	1,16	1,18	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27	1,29	1,31	1,33	1,350
$V_{13} \times V_1 \times (1+V_{22})^{t-2}$	Steam extraction turbine (thermal power plant)	0	1,63	1,66	1,68	1,71	1,73	1,76	1,79	1,81	1,84	1,87	1,90	1,92	1,95	1,98	2,017
$V_{14} \times V_1 \times (1+V_{22})^{t-2}$	Στρόβιλος εξαγωγής ατμού (50 bar και 400 °C)	0	604	613	622	631	641	650	660	670	680	690	700	711	722	732	743
$V_{15} \times V_1 \times (1+V_{22})^{t-2}$	Παραγωγή ηλεκτρισμού & θερμότητας (CHP) με ατμό (50 bar και 400 °C)	0	1,61	1,63	1,66	1,68	1,71	1,73	1,76	1,79	1,81	1,84	1,87	1,90	1,92	1,95	1,988
$V_{16} \times V_1 \times (1+V_{22})^{t-2}$	Ηλεκτροστατικός απορροφητής-αποξεστής με αναρρόφηση	0	2,40	2,43	2,47	2,50	2,54	2,58	2,62	2,66	2,70	2,74	2,78	2,82	2,86	2,91	2,956
$V_{17} \times V_1 \times (1+V_{22})^{t-2}$	Ενεργοποιημένος απορροφητής	0	984	998	1,01	1,02	1,04	1,06	1,07	1,09	1,10	1,12	1,14	1,15	1,17	1,19	1,212

$\frac{(V_1 \times (V_7 + V_8 + V_9 + V_{11} + V_{12} + V_{13}) + V_6 + V_{10}) \times}{(1+V_{22})^{t-2}}$	Outflows₍₁₎^t	86,78	15,69	15,93	16,17	16,41	16,66	16,91	17,16	17,42	17,68	17,94	18,21	18,49	18,76	19,05	19,336
$\frac{(V_1 \times (V_7 + V_8 + V_9 + V_{11} + V_{12} + V_{14}) + V_6 + V_{10}) \times}{(1+V_{22})^{t-2}}$	Outflows₍₂₎^t	86,11	14,66	14,88	15,10	15,33	15,56	15,79	16,03	16,27	16,51	16,76	17,01	17,27	17,53	17,79	18,062
$\frac{(V_1 \times (V_7 + V_8 + V_9 + V_{11} + V_{12} + V_{15}) + V_6 + V_{10}) \times}{(1+V_{22})^{t-2}}$	Outflows₍₃₎^t	88,81	15,67	15,90	16,14	16,38	16,63	16,88	17,13	17,39	17,65	17,92	18,19	18,46	18,74	19,02	19,306
$\frac{(V_1 \times (V_7 + V_8 + V_9 + V_{14} + V_{16} + V_{17}) + V_6 + V_{10}) \times}{(1+V_{22})^{t-2}}$	Outflows₍₄₎^t	81,00	15,51	15,74	15,97	16,21	16,46	16,70	16,95	17,21	17,47	17,73	17,99	18,26	18,54	18,82	19,104

$$PV_{outflows(1)} = \sum_{t=1}^{16} \frac{Outflows_{(1)}^t}{(1 + 5.5\%)^t} = \frac{V_{18}}{1 + 5.5\%} + \sum_{t=2}^{16} \frac{(V_1(V_7 + V_8 + V_9 + V_{11} + V_{12} + V_{13}) + V_6 + V_{10})(1 + V_{22})^{t-2}}{(1 + 5.5\%)^t} = 245,928,956$$

$$PV_{outflows(2)} = \sum_{t=1}^{16} \frac{Outflows_{(2)}^t}{(1 + 5.5\%)^t} = \frac{V_{19}}{1 + 5.5\%} + \sum_{t=2}^{16} \frac{(V_1(V_7 + V_8 + V_9 + V_{11} + V_{12} + V_{14}) + V_6 + V_{10})(1 + V_{22})^{t-2}}{(1 + 5.5\%)^t} = 234,508,600$$

$$PV_{outflows(3)} = \sum_{t=1}^{16} \frac{Outflows_{(3)}^t}{(1 + 5.5\%)^t} = \frac{V_{20}}{1 + 5.5\%} + \sum_{t=2}^{16} \frac{(V_1(V_7 + V_8 + V_9 + V_{11} + V_{12} + V_{15}) + V_6 + V_{10})(1 + V_{22})^{t-2}}{(1 + 5.5\%)^t} = 247,598,162$$

$$PV_{outflows(4)} = \sum_{t=1}^{16} \frac{Outflows_{(4)}^t}{(1 + 5.5\%)^t} = \frac{V_{21}}{1 + 5.5\%} + \sum_{t=2}^{16} \frac{(V_1(V_7 + V_8 + V_9 + V_{14} + V_{16} + V_{17}) + V_6 + V_{10})(1 + V_{22})^{t-2}}{(1 + 5.5\%)^t} = 238,485,445$$

Υπολογισμός των δεικτών B/C για τις εναλλακτικές

$$B/C_1 = \frac{PV_{\text{Inflows (1)}}}{PV_{\text{Outflows (1)}}} = \frac{315,596,842}{245,928,956} = 1.2833$$

$$B/C_2 = \frac{PV_{\text{Inflows (2)}}}{PV_{\text{Outflows (2)}}} = \frac{305,275,042}{234,508,600} = 1.3018$$

$$B/C_3 = \frac{PV_{\text{Inflows (3)}}}{PV_{\text{Outflows (3)}}} = \frac{319,725,061}{247,598,162} = 1.2913$$

$$B/C_4 = \frac{PV_{\text{Inflows (4)}}}{PV_{\text{Outflows (4)}}} = \frac{305,275,042}{238,485,445} = 1.2801$$

4.3.3.2 Στάδιο 2: Κατανομές πιθανότητας μεταβλητών

Σύμφωνα με το δεύτερο στάδιο, οι λήπτες αποφάσεων εγγράφουν τις κατανομές πιθανότητας στις μεταβλητές. Λαμβάνεται υπόψη ότι στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν στοιχεία παρελθούσης συμπεριφοράς των μεταβλητών, η κατανομή που προτιμάται είναι η τριγωνική κατανομή (ADB, 2002; EC, 2008; PMI, 2008). Η τριγωνική κατανομή υλοποιείται μέσω της εκτίμησης τριών σημείων, δηλ. την εισαγωγή τριών τιμών προβλέψεων σε έκαστη μεταβλητή, τη μέγιστη τιμή, την ελάχιστη τιμή και τη τιμή καλύτερης πρόβλεψης (Salling and Leleur, 2011). Στη παρούσα περιπτώσιολογική μελέτη, οι τιμές βάσης καθώς και οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές για κάθε μεταβλητή που περιλαμβάνεται στο υπολογιστικό φύλλο, παρουσιάζονται στον Πίνακα 22.

4.3.3.3 Στάδιο 3: Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης MCS

Στο τρίτο στάδιο του συστήματος, αναπτύσσεται ένα μοντέλο προσομοίωσης MCS, στο οποίο οι μεταβλητές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 22 και ακολουθούν συγκεκριμένες κατανομές πιθανότητας ορίζονται ως εισερχόμενα και οι δείκτες B/C των εναλλακτικών, B/C_1 , B/C_2 , B/C_3 , και B/C_4 , ορίζονται αντίστοιχα ως εξερχόμενα.

4.3.3.4 Στάδιο 4: Ορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης και των βαρών τους

Στο τέταρτο στάδιο, οι λήπτες αποφάσεων ορίζουν τα κριτήρια αξιολόγησης καθώς και τα βάρη αυτών, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 23. Όπως φαίνεται, χρησιμοποιούνται πέντε κριτήρια, όπου το πρώτο κριτήριο ($c = 1$) είναι οι EVs των δεικτών B/C των εναλλακτικών, που υπολογίζονται μέσω των CPDF τους. Ειδικότερα, όσο μεγαλύτερη η EV του δείκτη B/C μίας εναλλακτικής, ανάλογα μεγαλύτερη θα είναι και η βαθμολογία της εναλλακτικής στο πρώτο κριτήριο ($c = 1$). Επιπλέον, τα άλλα τέσσερα κριτήρια που χρησιμοποιούνται είναι η πιθανότητα των δεικτών B/C των εναλλακτικών να λάβουν τιμές μεγαλύτερες από αντίστοιχες τιμές B/C των κριτηρίων: $B/C_a > 1$ ($c = 2$); $B/C_a > 1.15$ ($c = 3$); $B/C_a > 1.25$ ($c = 4$) και $B/C_a > 1.35$ ($c = 5$). Επισημαίνεται ότι η πιθανότητα p_a^c υπολογίζεται για κάθε μία από τους δείκτες B/C των εναλλακτικών (B/C_a): $a = 1,2,3,4$ σε κάθε ένα από τα τέσσερα κριτήρια: $c = 2,3,4,5$. Προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα για το δείκτη B/C μίας εναλλακτικής να λάβει μεγαλύτερη τιμή από τη τιμή του εκάστοτε κριτηρίου, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η βαθμολογία της εναλλακτικής στο συγκεκριμένο κριτήριο. Τα βάρη που χρησιμοποιούνται είναι:

$weight^1 = 30$; $weight^2 = 35$; $weight^3 = 15$; $weight^4 = 15$; $weight^5 = 5$ για το 1ο, 2ο, 3ο, 4ο και 5ο κριτήρια, αντίστοιχα. Οι EVs των δεικτών B/C καθώς και οι πιθανότητες για το δείκτη B/C κάθε εναλλακτικής υπολογίζονται στα επόμενα στάδια μέσω της προσομοίωσης MCS και της CPDF για το δείκτη B/C κάθε εναλλακτικής.

4.3.3.5 Στάδιο 5: Απεικόνιση των συναρτήσεων σωρευτικής κατανομής πιθανότητας

Σύμφωνα με το πέμπτο στάδιο, η προσομοίωση MCS εκτελείται με μεγάλο αριθμό επαναλήψεων (10,000), προκειμένου να διασφαλιστεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Οι CPDFs B/C_1 , B/C_2 , B/C_3 , και B/C_4 , απεικονίζονται στο Σχήμα 38, όπου οι αναμενόμενες τιμές τους EV_1 , EV_2 , EV_3 , και EV_4 , υπολογίζονται από την εξίσωση (2.18) και εν συνεχεία συγκρίνονται:

$$EV_2 = 1.2271 > EV_3 = 1.2269 > EV_4 = 1.2208 > EV_1 = 1.2185 \Rightarrow EV_{\text{Highest}} = EV_2 \quad (4.21)$$

4.3.3.6 Στάδιο 6: Ανάλυση των συναρτήσεων σωρευτικών κατανομών πιθανότητας και υπολογισμός της βαθμολογίας έκαστης εναλλακτικής σε έκαστο κριτήριο

Σύμφωνα με το έκτο στάδιο, οι CPDFs των εναλλακτικών, οι οποίες παρουσιάζονται σε τέσσερα διαφορετικά διαγράμματα στο Σχήμα 38, συντίθεται σε ένα μοναδικό διάγραμμα, το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 39 (διάγραμμα 6). Σε αυτό το διάγραμμα, το σύνολο των πιθανών τιμών για όλους τους δείκτες B/C των εναλλακτικών απεικονίζονται στον άξονα των X. Εντούτοις, το διάγραμμα (6) αναλύεται στις τιμές των κριτηρίων αξιολόγησης ($B/C = 1; 1.15; 1.25; 1.35$), ώστε να υπολογιστεί με ακρίβεια η πιθανότητα p_a^c για τους δείκτες B/C των εναλλακτικών να έχουν μεγαλύτερες τιμές από αυτές. Ειδικότερα, όπως φαίνεται στα μεγενθυμένα υπο-διαγράμματα (6a) και (6b) του Σχήματος 39, οι CPDFs των δεικτών B/C των εναλλακτικών αναλύονται στις τιμές:

- $c = 2 : B/C_a \leq 1$ και $c = 3 : B/C_a \leq 1.15$ στο (6a)
- $c = 4 : B/C_a \leq 1.25$ και $c = 5 : B/C_a \leq 1.35$ στο (6b)

Όπως φαίνεται, τα σημεία τομής των CPDFs με τους κάθετους άξονες παρουσιάζουν τη πιθανότητα των δεικτών B/C να έχουν τιμές μικρότερες από αυτές στον άξονα των X. Για παράδειγμα, ο δείκτης B/C_1 , που αντιπροσωπεύει τον δείκτη B/C της 1^{ης} εναλλακτικής και η συνάρτησή του απεικονίζεται με μαύρο χρώμα, έχει 0.51% πιθανότητα για $B/C_1 \leq 1$, δηλ. η πιθανότητα για $B/C_1 > 1$, είναι $p_1^2 = 100 - 0.51 = 99.49\%$. Επιπλέον, οι αντίστοιχες πιθανότητες για $B/C_1 \leq 1.15$, $B/C_1 \leq 1.25$ και $B/C_1 \leq 1.35$, υπολογίζεται σε 23.10%, 61.48% και 93.79%, οπότε προκύπτει: $p_1^3 = 100 - 23.10 = 76.90\%$, $p_1^4 = 100 - 61.48 = 38.52\%$ και

$p_1^5 = 100 - 93.79 = 6.21\%$. Τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις των CPDFs των δεικτών B/C των εναλλακτικών παρουσιάζονται στον Πίνακα 24. Περαιτέρω, οι λήπτες αποφάσεων υπολογίζουν τη βαθμολογία για έκαστη εναλλακτική σε έκαστο κριτήριο αξιολόγησης, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 25. Εξαιτίας του ότι: $EV_{\text{Highest}} = EV_2$, οι βαθμολογίες των εναλλακτικών στο πρώτο κριτήριο ($c = 1$: EVs των δεικτών B/C των εναλλακτικών), υπολογίζονται για κάθε $a = 1,2,3,4$ με την εξίσωση (4.16):

$$\text{score}_a^1 = EV_a(\text{weight}^1) / EV_2 \quad (4.22)$$

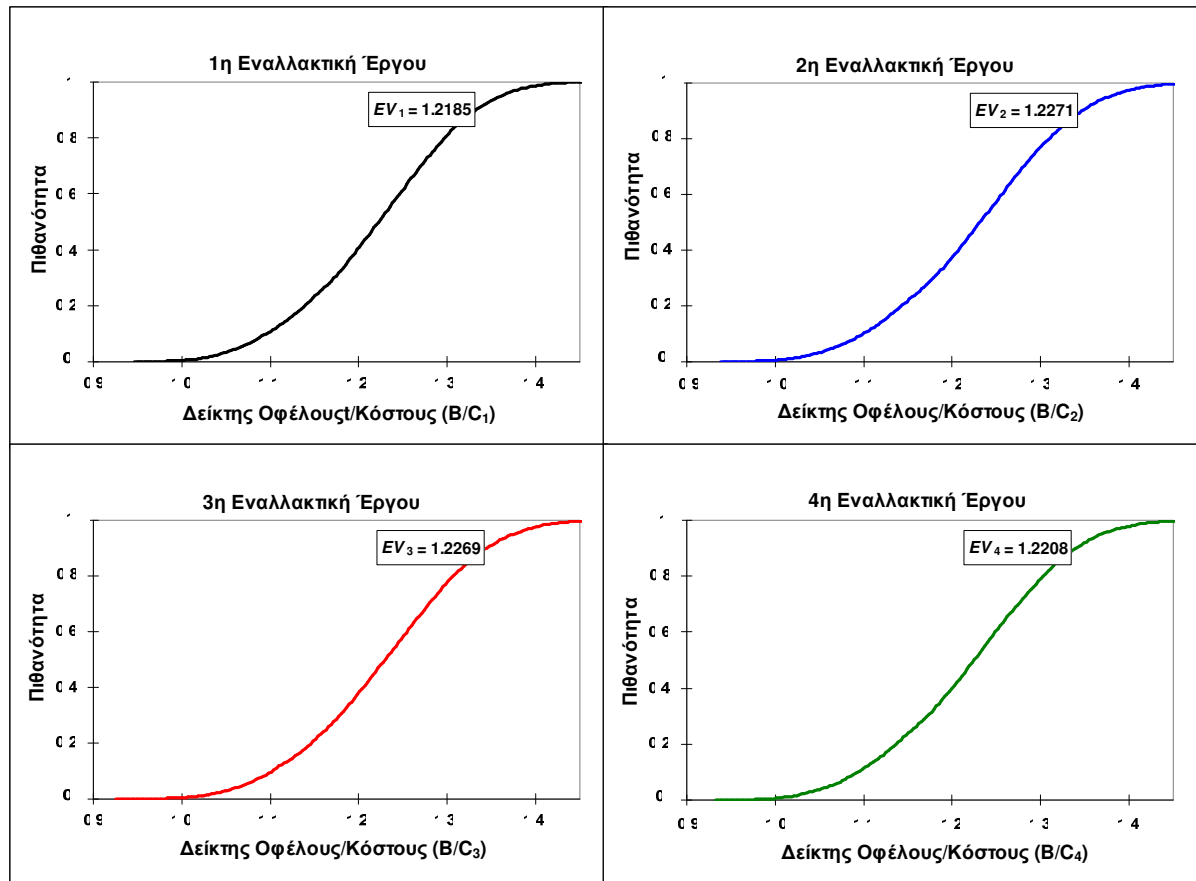
Ενώ η βαθμολογία των εναλλακτικών στα υπόλοιπα κριτήρια, δηλ.: $c = 2,3,4,5$ υπολογίζονται για έκαστη εναλλακτική $a = 1,2,3,4$ με την εξίσωση (4.14):

Πίνακας 22. Μεταβλητές των τεσσάρων εναλλακτικών του έργου αποτέφρωσης αποβλήτων σε τριγωνικές κατανομές

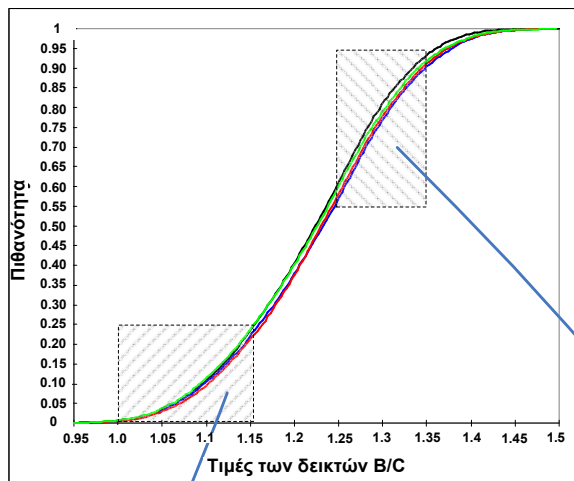
	Μεταβλητή	Περιγραφή	Επίδραση στη	Μονάδες	Τριγωνικές κατανομές πιθανότητας			
					Ελάχιστη τιμή	Τιμή βάσης	Μέγιστη τιμή	
Μεταβλητές που επιδρούν σε όλες τις εναλλακτικές	V22	Πληθωρισμός	1 st to 4 th	(%)	1.00	1.50	1.50	
	V4	Τιμη πώλησης ηλεκτ ενέργειας	1 st to 4 th	(€ / MWh)	20.00	22.50	27.00	
	V2	Έσοδα από παροχή υπηρεσιών	1 st to 4 th	(€ / ton)	100.00	130.00	145.00	
	V1	Ζήτηση	1 st to 4 th	(ton / year)	165,000.00	200,000.00	210,000.00	
	V ₇	Κόστος συλλογής & εναπόθεσης	1 st to 4 th	(€ / ton)	4.00	4.24	5.00	
	V ₈	Σύστημα καύσης και λέβητας	1 st to 4 th	(€ / ton)	32.00	36.42	40.00	
	V ₉	Καταλυτικός καθαρισμός αερίων σωλήνων	1 st to 4 th	(€ / ton)	3.00	3.20	4.00	
	V ₁₀	Μισθοδοσία	1 st to 4 th	(€ / year)	1,750,000.00	1,800,000.00	1,900,000.00	
	V ₃	Θετικές εξωτερικότητες	1 st to 4 th	(€ / year)	1,200,000.00	1,300,000.00	1,400,000.00	
	V ₆	Αρνητικές εξωτερικότητες	1 st to 4 th	(€ / year)	900,000.00	950,000.00	1,000,000.00	
Μεταβλητές μή επιδρούσες σε όλες τις εναλλακτικές	1 ^η	V ₁₃	Στρόβιλος εξαγωγής ατμού (θερμική παραγ. ενέργειας)	1 st	(€ / ton)	8.00	8.19	8.40
		V ₁₁	Ξηρός καθαρ. σωλήνων	1 st , 2 nd , 3 rd	(€ / ton)	6.00	7.21	8.00
		V ₁₂	Αποξεστής γύψου	1 st , 2 nd , 3 rd	(€ / ton)	4.00	5.48	7.00
		V18	Κόστος αρχικής επένδυσης ⁽¹⁾	1 st	(€)	83,000,000.00	86,785,000.00	92,000,000.00
	2 ^η	V ₁₄	Στρόβιλος εξαγωγής ατμού (50 bar και 400 °C)	2 nd , 4 th	(€ / ton)	2.00	3.02	4.00
		V19	Κόστος αρχικής επένδυσης ⁽²⁾	2 nd	(€)	82,000,000.00	86,110,000.00	95,000,000.00
	3 ^η	V ₁₅	Παραγωγή ηλεκτρισμού & θερμότητας ατμό, 50 bar, 400 °C)	3 rd	(€ / ton)	6.00	8.07	10.50
		V5	Τιμη πώλησης θερμ. ενέργειας	3 rd	(€ / MWh)	5.00	6.00	9.00
		V20	Κόστος αρχικής επένδυσης ⁽³⁾	3 rd	(€)	82,500,000.00	88,810,000.00	100,000,000.00
	4 ^η	V ₁₆	Ηλεκτροστατικός απορροφητής και αποξεστής με αναρρόφηση	4 th	(€ / ton)	9.50	12.00	16.00
V ₁₇		Ενεργοποιημένος απορροφητής	4 th	(€ / ton)	3.30	4.92	5.70	
V21		Κόστος αρχικής επένδυσης ⁽⁴⁾	4 th	(€)	70,000,000.00	81,000,000.00	87,000,000.00	

Πίνακας 23. Ορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης και επιλογή του βάρους σε έκαστο κριτήριο

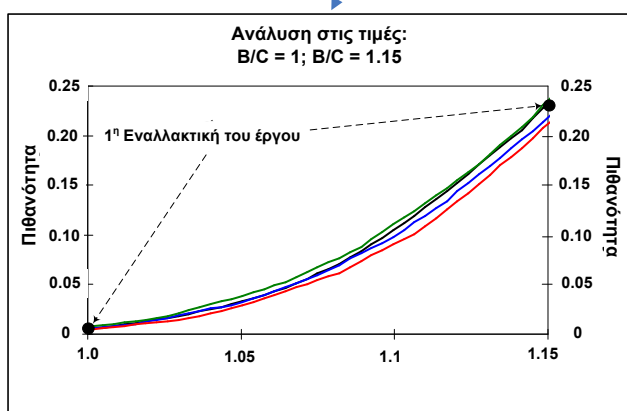
Κριτήριο	Περιγραφή	Βάρος	Υπολογισμός βαθμολογίας εναλλακτικών
c		$weight^c$	$a = [1,2,3,4]$
$c = 1$	EVs των δεικτών B/C των εναλλακτικών	$weight^1 = 30$	$score_a^1 = EV_a(weight^1) / EV_{Highest}$
$c = 2$	Πιθανότητα p_a^2 δεικτών B/C των εναλλακτικών B/C > 1.00	$weight^2 = 35$	$score_a^2 = p_a^2(weight^2)$
$c = 3$	Πιθανότητα p_a^3 δεικτών B/C των εναλλακτικών B/C > 1.15	$weight^3 = 15$	$score_a^3 = p_a^3(weight^3)$
$c = 4$	Πιθανότητα p_a^4 δεικτών B/C των εναλλακτικών B/C > 1.25	$weight^4 = 15$	$score_a^4 = p_a^4(weight^4)$
$c = 5$	Πιθανότητα p_a^5 δεικτών B/C των εναλλακτικών B/C > 1.35	$weight^5 = 5$	$score_a^5 = p_a^5(weight^5)$
		$\sum_{c=1}^5 weight^c = 100$	



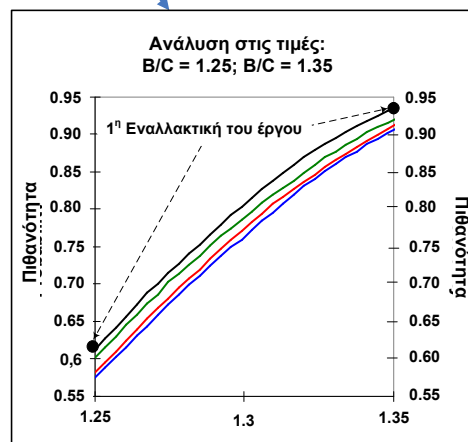
Σχήμα 38. Συναρτήσεις σωρευτικής κατανομής πιθανότητας των δεικτών Οφέλους / Κόστους (B/C) των εναλλακτικών



(39)



(39α)



(39β)

Σχήμα 39. Ανάλυση των σωρευτικών κατανομών πιθανότητας (CPDF) των δεικτών Οφέλους / Κόστους (B/C) στις τιμές των κριτηρίων αξιολόγησης

Πίνακας 24. Ανάλυση των CPDFs των δεικτών B/C των εναλλακτικών

Κριτή- ριο <i>c</i>	Περιγραφή	Ανάλυση CPDFs των δεικτών B/C	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η
			εναλλακτική <i>a = 1</i>	εναλλακτική <i>a = 2</i>	εναλλακτική <i>a = 3</i>	εναλλακτική <i>a = 4</i>
c = 1	EVs των δεικτών των εναλλακτικών	EV_a	$EV_1 = 1.2185$	$EV_2 = 1.2271$	$EV_3 = 1.2269$	$EV_4 = 1.2208$
	Πιθανότητα B/C ≤ 1.00		0.51%	0.54%	0.42%	0.71%
c = 2	Πιθανότητα B/C > 1.00	p_a^2	$p_1^2 = 99.49\%$	$p_2^2 = 99.46\%$	$p_3^2 = 99.58\%$	$p_4^2 = 99.29\%$
	Πιθανότητα B/C ≤ 1.15		23.10%	21.85%	21.09%	22.97%
c = 3	Πιθανότητα B/C > 1.15	p_a^3	$p_1^3 = 76.90\%$	$p_2^3 = 78.15\%$	$p_3^3 = 78.91\%$	$p_4^3 = 77.03\%$
	Πιθανότητα B/C ≤ 1.25		61.48%	57.90%	58.15%	60.57%
c = 4	Πιθανότητα B/C > 1.25	p_a^4	$p_1^4 = 38.52\%$	$p_2^4 = 42.10\%$	$p_3^4 = 41.85\%$	$p_4^4 = 39.43\%$
	Πιθανότητα B/C ≤ 1.35		93.79%	90.92%	91.51%	92.08%
c = 5	Πιθανότητα B/C > 1.35	p_a^5	$p_1^5 = 6.21\%$	$p_2^5 = 9.08\%$	$p_3^5 = 8.49\%$	$p_4^5 = 7.92\%$

Πίνακας 25. Πολυκριτήρια προσέγγιση αξιολόγησης με ανάλυση των κινδύνων (RBMCA)

Κριτήρια	Βάρη κριτηρίων	Υπολογισμός βαθμολόγησης σε έκαστο κριτήριο	1 ^η εναλλακτική	2 ^η εναλλακτική	3 ^η εναλλακτική	4 ^η εναλλακτική
c	weight ^c	score _a ^c	a = 1	a = 2	a = 3	a = 4
c = 1	weight ¹ = 30	score _a ¹ = $\frac{EV_a}{EV_2}$ weight ¹	score ₁ ¹ = $\frac{1.2185}{1.2271} 30 = 29.79$	score ₂ ¹ = $\frac{1.2271}{1.2271} 30 = 30.00$	score ₃ ¹ = $\frac{1.2269}{1.2271} 30 = 29.99$	score ₄ ¹ = $\frac{1.2208}{1.2271} 30 = 29.84$
c = 2	weight ² = 35	score _a ² = $p_a^2(\text{weight}^2)$	score ₁ ² = 99.49%(35) = 34.82	score ₂ ² = 99.46%(35) = 34.81	score ₃ ² = 99.58%(35) = 34.85	score ₄ ² = 99.29%(35) = 34.75
c = 3	weight ³ = 15	score _a ³ = $p_a^3(\text{weight}^3)$	score ₁ ³ = 76.90%(15) = 11.53	score ₂ ³ = 78.90%(15) = 11.77	score ₃ ³ = 78.91%(15) = 11.84	score ₄ ³ = 77.03%(15) = 11.55
c = 4	weight ⁴ = 15	score _a ⁴ = $p_a^4(\text{weight}^4)$	score ₁ ⁴ = 38.52%(15) = 5.78	score ₂ ⁴ = 42.10%(15) = 6.31	score ₃ ⁴ = 41.85%(15) = 6.28	score ₄ ⁴ = 39.43%(15) = 5.91
c = 5	weight ⁵ = 5	score _a ⁵ = $p_a^5(\text{weight}^5)$	score ₁ ⁵ = 6.21%(5) = 0.31	score ₂ ⁵ = 9.08%(5) = 0.45	score ₃ ⁵ = 8.49%(5) = 0.42	score ₄ ⁵ = 7.92%(5) = 0.39
total score _a = $\sum_{c=1}^5 \text{score}_c^a$			total score ₁ = 82.23	total score ₂ = 83.29	total score ₃ = 83.38	total score ₄ = 82.44

$$\text{score}_a^c = p_a^c (\text{weight}^c) \quad (4.23)$$

Αυτοί οι υπολογισμοί παρουσιάζονται στον Πίνακα 25, στον οποίο η συνολική βαθμολογία για έκαστη εναλλακτική, δηλ. $a = 1,2,3,4$, υπολογίζεται με τη σχέση (4.24):

$$\text{total score}_a = \text{score}_a^1 + \text{score}_a^2 + \dots + \text{score}_a^k = \sum_{c=1}^k \text{score}_a^c \quad (4.24)$$

4.3.3.7 Στάδιο 7: επιλογή της βέλτιστης εναλλακτικής με τη μέθοδο RBMCA

Στο έβδομο στάδιο του συστήματος, οι λήπτες αποφάσεων συγκρίνουν τη συνολική βαθμολογία όλων των εναλλακτικών και επιλέγουν αυτήν με τη μεγαλύτερη βαθμολογία. Σύμφωνα με αυτούς τους υπολογισμούς, οι οποίοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 25, είναι:

$$\text{total score}_3 = 83.38 > \text{total score}_2 = 83.29 > \text{total score}_4 = 82.44 > \text{total score}_1 = 82.23$$

Κατά συνέπεια, επιλέγεται η 3^η εναλλακτική, δηλ. η μονάδα αποτέφρωσης που αποτελείται από σύστημα καύσης με μεταφορά δια οχημάτων, ξηρό, υγρό και καταλυτικό καθαρισμό σωληνώσεων με παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP).

4.3.4 Ανάλυση

Η επιλογή της 3^{ης} εναλλακτικής στη συγκεκριμένη περιπτώσιολογική μελέτη, βασίζεται στα συγκεκριμένα κριτήρια καθώς και στα συγκεκριμένα βάρη των κριτηρίων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι έτεροι λήπτες αποφάσεων πιθανώς να χρησιμοποιούσαν διαφορετικά βάρη κριτηρίων, εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

(1) Η διεργασία πολυ-κριτηριακής ανάλυσης θα πρέπει να προτιμάται έναντι της αξιολόγησης σε ένα μοναδικό κριτήριο. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 24, ασχέτως του αν είναι υψηλό ή χαμηλό το βάρος ενός κριτηρίου, υπάρχουν διαφορετικές εναλλακτικές που επιλέγονται μέσω της σύγκρισης των τεσσάρων εναλλακτικών σε ένα κριτήριο:

- Στο πρώτο κριτήριο που είναι οι EVs των δεικτών B/C των εναλλακτικών, η 2η εναλλακτική λαμβάνει την υψηλότερη βαθμολογία, καθώς:

$$EV_2 = 1.2271 > EV_3 = 1.2269 > EV_4 = 1.2208 > EV_1 = 1.2185$$

- Στο δεύτερο και τρίτο κριτήρια, που είναι η πιθανότητα ο δείκτης B/C > 1.00 και B/C > 1.15, αντίστοιχα, η 3^η εναλλακτική λαμβάνει τη μεγαλύτερη βαθμολογία:

$$p_3^2 = 99.58\% > p_1^2 = 99.49\% > p_2^2 = 99.46\% > p_4^2 = 99.29\%$$

$$p_3^3 = 78.91\% > p_2^3 = 78.15\% > p_4^3 = 77.03\% > p_1^3 = 76.90\%$$

- Στο τέταρτο και πέμπτο κριτήρια, που είναι η πιθανότητα ο δείκτης $B/C > 1.25$ και $B/C > 1.35$, αντίστοιχα, η 2^η εναλλακτική λαμβάνει την υψηλότερη βαθμολογία εξαιτίας του ότι:

$$p_2^4 = 42.10\% > p_3^4 = 41.85\% > p_4^4 = 39.43\% > p_1^4 = 38.52\% \\ p_2^5 = 9.08\% > p_3^5 = 8.49\% > p_4^5 = 7.92\% > p_1^5 = 6.21\%$$

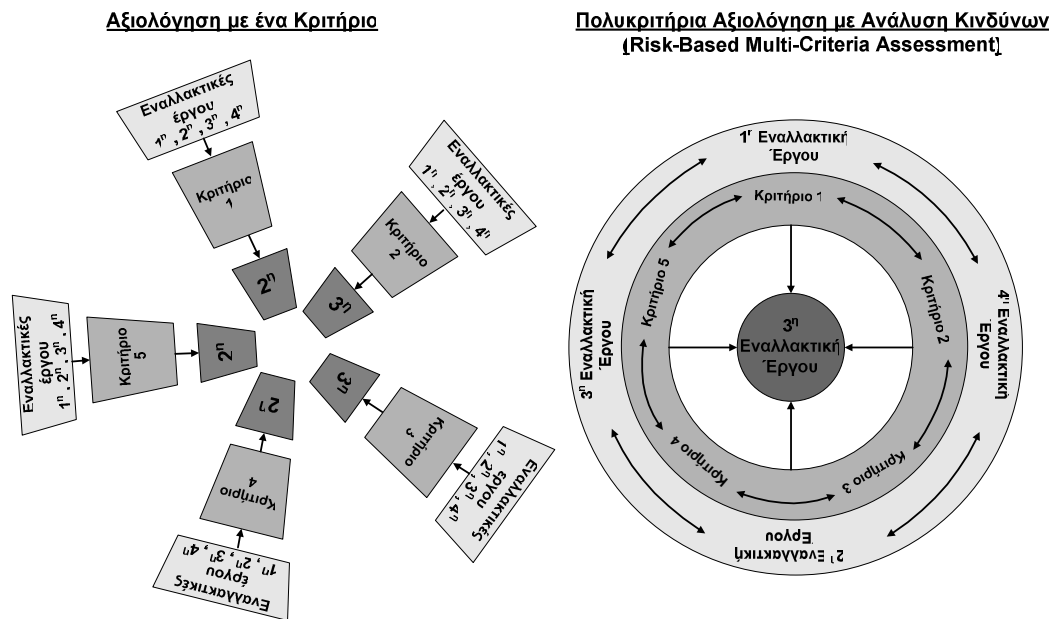
Από τα αποτελέσματα αυτά τεκμαίρεται ότι εφόσον ένας λήπτης αποφάσεων χρησιμοποιεί μόνο ένα κριτήριο για την αξιολόγηση των εναλλακτικών του συγκεκριμένου έργου, υπάρχει μία διαφορετική εναλλακτική που επιλέγεται για έκαστο κριτήριο. Οι εκάστοτε εναλλακτικές που επιλέγονται από τη χρήση ενός κριτηρίου απεικονίζονται στο επόμενο Σχήμα 40, όπου φαίνεται και η μοναδική εναλλακτική που επιλέγεται μέσω της προσέγγισης RBMCA.

- (2) Η μέθοδος RBMCA λαμβάνει υπόψη τη συμπεριφορά των ληπτών αποφάσεων έναντι του κινδύνου. Ειδικότερα, αν εξετάσουμε τα σενάρια με ένα αδιάφορο, ένα κινδυνόφοβο και ένα κινδυνόφιλο λήπτες αποφάσεων, οι οποίοι αξιολογούν τις εναλλακτικές του έργου αποτέφρωσης αποβλήτων με τη μέθοδο RBMCA. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι δείκτες B/C των εναλλακτικών περικλείουν όχι μόνο τα χρηματοοικονομικά, αλλά και τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη και κόστη (δηλ. τις θετικές και αρνητικές εξωτερικότητες), οι εν λόγω λήπτες αποφάσεων θα δώσουν διαφορετικά βάρη στα κριτήρια αξιολόγησης, όπως παρακάτω:

- Ένας αδιάφορος έναντι του κινδύνου λήπτης αποφάσεων (που αγνοεί τον κίνδυνο και λαμβάνει υπόψη μόνο την αναμενόμενη απόδοση από μία επένδυση), πιθανώς θα δώσει μεγαλύτερο βάρος στο πρώτο κριτήριο που είναι οι EVs των δεικτών B/C των εναλλακτικών.
- Ένας κινδυνόφοβος λήπτης αποφάσεων (που προτιμά μία σίγουρη απόδοση από μία αβέβαιη) πιθανώς θα δώσει μεγαλύτερο βάρος στο δεύτερο κριτήριο, που είναι η πιθανότητα για το δείκτη $B/C > 1$, ενώ
- Ένας κινδυνόφιλος λήπτης αποφάσεων (που είναι πρόθυμος να αναλάβει μεγάλους κινδύνους προκειμένου να αυξήσει την ενδεχόμενη απόδοση από μία επένδυση), πιθανώς θα δώσει μεγαλύτερο βάρος στο τρίτο, τέταρτο ή πέμπτο κριτήρια, που είναι η πιθανότητα για το δείκτη $B/C > 1.15$, $B/C > 1.25$ και $B/C > 1.35$, αντίστοιχα.

Σε συνέχεια των παραπάνω συμπερασμάτων, εξετάζεται η ευαισθησία της συνολικής βαθμολογίας των εναλλακτικών στα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης. Τα διαγράμματα ανάλυσης ευαισθησίας απεικονίζονται στο επόμενο Σχήμα 41. Όπως φαίνεται, έκαστο διάγραμμα παρουσιάζει τη συνολική βαθμολογία των εναλλακτικών, όταν το βάρος ενός κριτηρίου λαμβάνει τιμές στο διάστημα 0 έως 100 και τα υπόλοιπα κριτήρια έχουν ισόποσα βάρη. Οι συνολικές βαθμολογίες της 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης} εναλλακτικής, δηλ. οι:

$total\ score_1$, $total\ score_2$, $total\ score_3$, $total\ score_4$, υπολογίζονται μέσω των σχέσεων (4.17), (4.14) και (4.16), δηλ. για κάθε $a = 1,2,3,4$ όπως παρακάτω:



Σχήμα 40. Αξιολόγηση των εναλλακτικών του έργου με ένα κριτήριο και με τη μέθοδο RBMCA

$$(4.17): \text{totalscore}_a = \sum_{c=1}^5 \text{score}_a^c \Leftrightarrow$$

(4.14)

$$\text{totalscore}_a = \text{score}_a^1 + \text{score}_a^2 + \text{score}_a^3 + \text{score}_a^4 + \text{score}_a^5 \Leftrightarrow \quad (4.25)$$

(4.16)

$$\text{totalscore}_a = \frac{EV_a(\text{weight})}{EV_2} + p_a^2(\text{weight}^2) + p_a^3(\text{weight}^3) + p_a^4(\text{weight}^4) + p_a^5(\text{weight}^5)$$

Επισημαίνεται ότι στη παραπάνω εξίσωση (4.25), οι EVs καθώς και οι τιμές πιθανότητας p_a^c των δεικτών B/C των εναλλακτικών, οι οποίες προκύπτουν από την ανάλυση των CPDFS τους και παρουσιάζονται στον Πίνακα 24, είναι σταθερές. Έτσι, οι συνολικές βαθμολογίες των εναλλακτικών υπολογίζονται με τις παρακάτω σχέσεις (4.26), (4.27), (4.28) και (4.29) για τη 1η, 2η, 3η και 4η εναλλακτική αντίστοιχα:

$$\text{totalscore}_1 = \frac{1.2185}{1.2271} \text{weight}^1 + 99.49\%(\text{weight}^2) + 76.90\%(\text{weight}^3) + 38.52\%(\text{weight}^4) + 6.21\%(\text{weight}^5) \quad (4.26)$$

$$\text{totalscore}_2 = \frac{1.2271}{1.2271} \text{weight}^1 + 99.46\%(\text{weight}^2) + 78.15\%(\text{weight}^3) + 42.10\%(\text{weight}^4) + 9.08\%(\text{weight}^5) \quad (4.27)$$

$$\text{totalscore}_3 = \frac{1.2269}{1.2271} \text{weight}^1 + 99.58\%(\text{weight}^2) + 78.91\%(\text{weight}^3) + 41.85\%(\text{weight}^4) + 8.49\%(\text{weight}^5) \quad (4.28)$$

$$\text{totalscore}_4 = \frac{1.2208}{1.2271} \text{weight}^1 + 99.29\%(\text{weight}^2) + 77.03\%(\text{weight}^3) + 39.43\%(\text{weight}^4) + 7.92\%(\text{weight}^5) \quad (4.29)$$

- (i) Ειδικότερα, το πρώτο διάγραμμα (41α) προκύπτει από τις παραπάνω σχέσεις, όταν το weight^1 παίρνει τιμές από 0 έως 100 και τα υπόλοιπα βάρη των κριτηρίων έχουν ίσες τιμές:

$$\text{weight}^2 = \text{weight}^3 = \text{weight}^4 = \text{weight}^5 = \frac{100 - \text{weight}^1}{4} \text{ π.χ.}$$

- $\text{weight}^1 = 100 \Leftrightarrow \text{weight}^2 = \text{weight}^3 = \text{weight}^4 = \text{weight}^5 = 0$,

τότε οι σχέσεις δίνουν:

$$\text{total score}_2 = 100.7 > \text{total score}_3 = 100.6 > \text{total score}_4 = 100.1 > \text{total score}_1 = 100.0$$

, ή όταν:

- $\text{weight}^1 = 60 \Leftrightarrow \text{weight}^2 = \text{weight}^3 = \text{weight}^4 = \text{weight}^5 = 10$, οι σχέσεις δίνουν:

$$\text{total score}_2 = 83.3 > \text{total score}_3 = 83.2 > \text{total score}_4 = 82.4 > \text{total score}_1 = 82.1.$$

Εντούτοις, σύμφωνα με τον ορισμό του ουδέτερου έναντι του κινδύνου λήπτη αποφάσεων, (αυτός που αδιαφορεί για τον κίνδυνο και λαμβάνει υπόψη μόνο την αναμενόμενη απόδοση από μία επένδυση, θεωρούμε ότι όσο περισσότερο ουδέτερος έναντι του κινδύνου είναι ένας λήπτης αποφάσεων, τόσο μεγαλύτερο βάρος θα δίνει στο πρώτο κριτήριο, (EVs των δεικτών B/C των εναλλακτικών), π.χ. $40 \leq \text{weight}^1 \leq 100$. Κατά συνέπεια, σύμφωνα με το διάγραμμα (41α), προκύπτει ότι ένας λήπτης αποφάσεων που είναι ουδέτερος απέναντι στον κίνδυνο, θα επιλέξει τη 2η εναλλακτική.

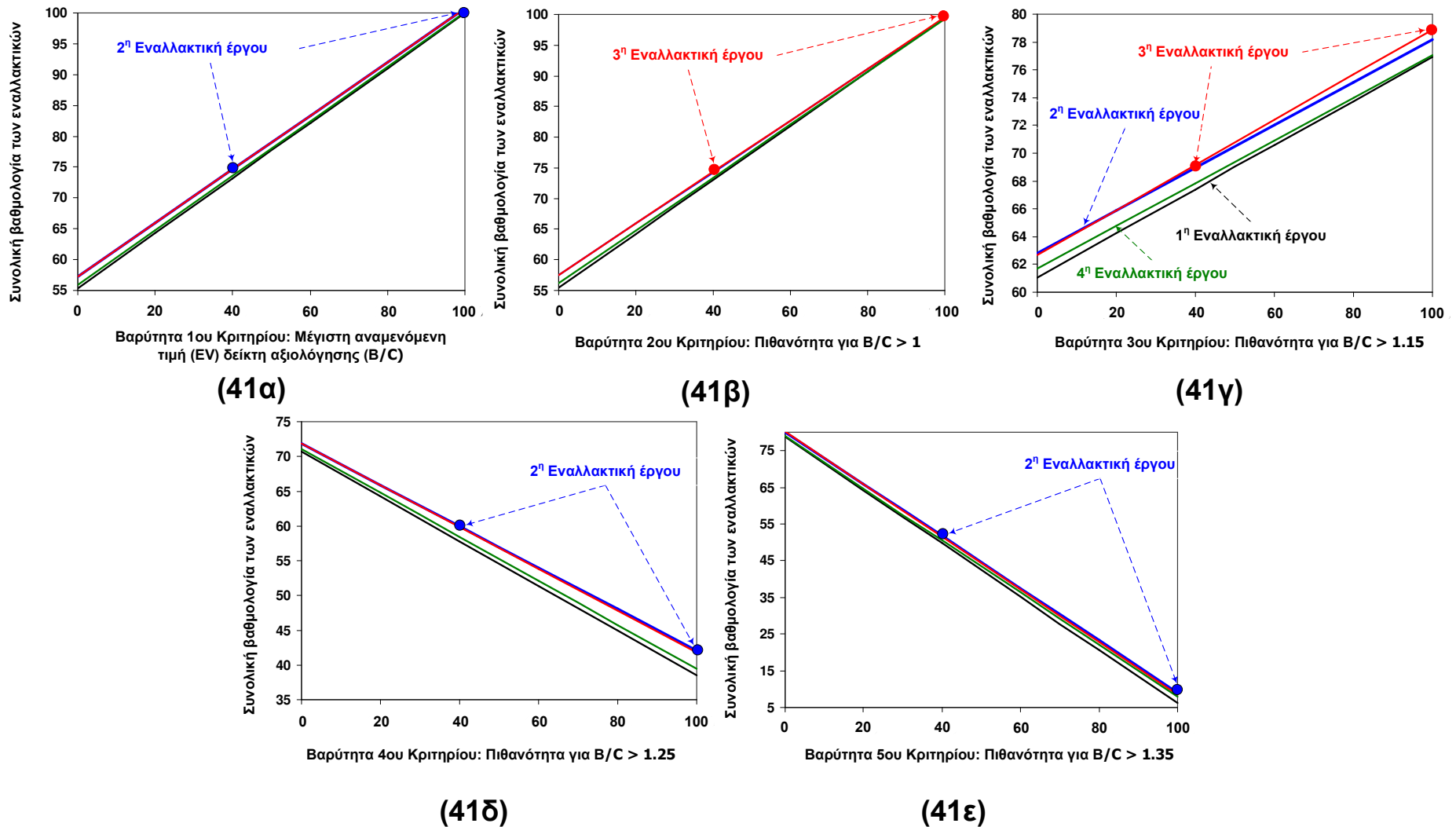
- (ii) Στο δεύτερο διάγραμμα (41β), το βάρος του δεύτερου κριτηρίου weight^2 παίρνει τιμές από 0 έως 100, ενώ τα λοιπά κριτήρια λαμβάνουν ίσα βάρη:

$$\text{weight}^1 = \text{weight}^3 = \text{weight}^4 = \text{weight}^5 = \frac{100 - \text{weight}^2}{4}. \text{ Θεωρώντας ότι}$$

όσο περισσότερο κινδυνόφοβος είναι ένας λήπτης αποφάσεων (δηλ. προτιμά ένα σίγουρο κέρδος από ένα αβέβαιο), τόσο μεγαλύτερο βάρος θα έχει το δεύτερο κριτήριο (πιθανότητα για το δείκτη B/C > 1);, π.χ. $40 \leq \text{weight}^2 \leq 100$.

Συνεπώς, όπως φαίνεται στο διάγραμμα (41β), συμπεραίνεται ότι ένας κινδυνόφοβος λήπτης αποφάσεων θα επιλέξει τη 3η εναλλακτική του έργου.

- (iii) Επιπλέον, ένας κινδυνόφιλος λήπτης αποφάσεων (που είναι διατεθειμένος να αναλάβει μεγάλους κινδύνους ποροκειμένου να μεγιστοποιήσει τα ενδεχόμενα οφέλη από μία επένδυση), προφανώς θα προσδώσει μεγαλύτερο βάρος στο τρίτο κριτήριο (πιθανότητα για το δείκτη B/C > 1.15), π.χ. $40 \leq \text{weight}^3 \leq 100$. Ειδικότερα, το διάγραμμα (41γ) παρουσιάζει τις συνολικές βαθμολογίες των εναλλακτικών που προκύπτουν από τις σχέσεις (4.26) έως και (4.29), όταν το weight^3 λαμβάνει τιμές στο διάστημα 0 έως 100 και οι τα λοιπά κριτήρια έχουν ίσα βάρη:



Σχήμα 41. Ανάλυση ευαισθησίας της συνολικής βαθμολογίας των εναλλακτικών στα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης

Πίνακας 26. Επιλεγείσες εναλλακτικές του έργου σύμφωνα με τις προτιμήσεις του λήπτη αποφάσεων έναντι του κινδύνου

Προτιμήσεις έναντι του κινδύνου	Βάρη κριτηρίων αξιολόγησης					Προτιμώμενη εναλλακτική
	weight ¹	weight ²	weight ³	weight ⁴	weight ⁵	(Μεγαλύτερη συνολική βαθμολογία)
Ουδέτερος έναντι του κινδύνου	$40 \leq \text{weight}^1 \leq 100$	$0 \leq \text{weight}^2 \leq 15$	$0 \leq \text{weight}^3 \leq 15$	$0 \leq \text{weight}^4 \leq 15$	$0 \leq \text{weight}^5 \leq 15$	2 ^η εναλλακτική
Κινδυνόφοβος	$0 \leq \text{weight}^1 \leq 15$	$40 \leq \text{weight}^2 \leq 100$	$0 \leq \text{weight}^3 \leq 15$	$0 \leq \text{weight}^4 \leq 15$	$0 \leq \text{weight}^5 \leq 15$	3 ^η εναλλακτική
Κινδυνόφιλος	$0 \leq \text{weight}^1 \leq 15$	$0 \leq \text{weight}^2 \leq 15$	$40 \leq \text{weight}^3 \leq 100$	$0 \leq \text{weight}^4 \leq 15$	$0 \leq \text{weight}^5 \leq 15$	3 ^η εναλλακτική
Κινδυνόφιλος	$0 \leq \text{weight}^1 \leq 15$	$0 \leq \text{weight}^2 \leq 15$	$0 \leq \text{weight}^3 \leq 15$	$40 \leq \text{weight}^4 \leq 100$	$0 \leq \text{weight}^5 \leq 15$	2 ^η εναλλακτική
Κινδυνόφιλος	$0 \leq \text{weight}^1 \leq 15$	$0 \leq \text{weight}^2 \leq 15$	$0 \leq \text{weight}^3 \leq 15$	$0 \leq \text{weight}^4 \leq 15$	$40 \leq \text{weight}^5 \leq 100$	2 ^η εναλλακτική

$$\text{weight}^1 = \text{weight}^2 = \text{weight}^4 = \text{weight}^5 = \frac{100 - \text{weight}^3}{4} \text{ Κατά συνέπεια,}$$

όπως φαίνεται στο (41γ) είναι η 3η εναλλακτική που θα προτιμηθεί από έναν κινδυνόφιλο λήπτη αποφάσεων.

(iv) Εντούτοις, εφόσον υποθέσουμε ότι ένας λήπτης αποφάσεων είναι κινδυνόφιλος σε μεγαλύτερο βαθμό, (επιζητά μεγαλύτερη απόδοση από το $B/C > 1.15$), τότε πιθανότατα θα προσδώσει μεγαλύτερο βάρος στο 4ο ή το 5ο κριτήριο, δηλ. στη πιθανότητα ο δείκτης $B/C > 1.25$ ή $B/C > 1.35$ αντίστοιχα, δηλ. $40 \leq \text{weight}^4 \leq 100$ ή / και $40 \leq \text{weight}^5 \leq 100$. Συνεπώς, σύμφωνα με τα διαγράμματα (41δ) και (41ε) τα οποία παρουσιάζουν τις συνολικές βαθμολογίες των εναλλακτικών όταν τα weight^4 , weight^5 λαμβάνουν τιμές στο διάστημα 0 έως και 100 και τα λοιπά κριτήρια έχουν ίσα βάρη, τότε είναι η δεύτερη εναλλακτική που θα προτιμηθεί και όχι η 3η. Η εναλλακτική του έργου που προτιμάται σύμφωνα με τις διαφορετικές προτιμήσεις ενός λήπτη αποφάσεων έναντι του κινδύνου, παρουσιάζονται στο προηγούμενο Πίνακα 26. Όπως προκύπτει, λήπτες αποφάσεων με διαφορετική συμπεριφορά έναντι του κινδύνου, πιθανότατα θα δώσουν βάρος μεγαλύτερο του 40 σε ένα εκ των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων και κατά συνέπεια θα επιλέξουν διαφορετική εναλλακτική κάθε φορά.

(v) Η προσέγγιση RBMCA λαμβάνει υπόψη το σύνολο των χρηματοοικονομικών, τεχνικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών κινδύνων που δύναται να περικλείονται στις εναλλακτικές ενός επενδυτικού έργου, μέσω των κατανομών πιθανότητας των μεταβλητών και της ποσοτικής ανάλυσης των κινδύνων των δεικτών B/C των εναλλακτικών.

Ειδικότερα, λαμβάνουμε υπόψη ότι έκαστη μεταβλητή αντιπροσωπεύει ένα διαφορετικό κίνδυνο, καθώς δύναται να έχει θετική ή αρνητική επίδραση στην απόδοση του έργου. Για παράδειγμα, εφόσον το κόστος μισθοδοσίας ή/και οι αρνητικές εξωτερικότητες λάβουν υψηλότερες τιμές από αυτές που έχουν αρχικά εκτιμηθεί, τότε η τιμή του δείκτη B/C θα ελαττωθεί, ενώ στην αντίθετη περίπτωση που λάβουν χαμηλότερες τιμές τότε ο υπόψη δείκτης θα αυξήσει τη τιμή του. Επιπλέον, εγγράφοντας τις κατανομές πιθανοτήτων σε έκαστη μεταβλητή, εκτιμάται η διακύμανση των τιμών κάθε μίας ξεχωριστά. Με τη προσέγγιση RBMCA, χρησιμοποιούμε το σύνολο των μεταβλητών ως εισερχόμενα και το σύνολο των δεικτών B/C ως εξερχόμενα στο μοντέλο προσομοίωσης MCS, ώστε να εκτιμήσουμε τη σωρευτική επίδρασή τους σε έκαστη εναλλακτική, η οποία απεικονίζεται από τη CPDF του δείκτη B/C . Κατά συνέπεια, όλοι οι χρηματοοικονομικοί, τεχνικοί, περιβαλλοντικοί και κοινωνικοί κίνδυνοι δύναται να περιληφθούν στο σύστημα RBMCA.

- Εντούτοις, η υλοποίηση της μεθόδου RBMCA προϋποθέτει τη συμμετοχή ειδικών στον τομέα διαχείρισης κινδύνων, οποίοι θα υποστηρίξουν τους λήπτες αποφάσεων στα τεχνικά θέματα του έργου και ειδικότερα στις κατανομές πιθανότητας των μεταβλητών. Συμπερασματικά, κρίσιμα στοιχεία στο προτεινόμενο εργαλείο είναι:
 - Η επιλογή των κατανομών πιθανότητας των μεταβλητών και ειδικότερα το εκτιμώμενο εύρος διακύμανσης των τιμών τους περί της τιμής βάσης τους, και
 - Η εκλογή των κριτηρίων αξιολόγησης και του βάρους έκαστου κριτηρίου

- Η περαιτέρω έρευνα δύναται να επικεντρωθεί στην εξέταση των κριτηρίων αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται στη προσέγγιση RBMCA

4.3.5 Συμπεράσματα

Η CBA είναι μία από τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες μεθόδους για την αξιολόγηση των επενδυτικών έργων, η οποία χρησιμοποιεί το δείκτη B/C, ώστε να τεκμηριώσει ότι τα οφέλη που προκύπτουν από το έργο υπερβαίνουν τα αντίστοιχα κόστη. Γενικά, η επιστημονική βιβλιογραφία περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό μεθόδων για την αξιολόγηση των εναλλακτικών ενός επενδυτικού έργου, είτε με τη μέθοδο της διεργασίας αναλυτικής ιεράρχησης (AHP), είτε με έτερες πολυκριτηριακές μεθόδους λήψης αποφάσεων. Εντούτοις, δεν υφίσταται κάποιο συγκεκριμένο σύστημα λήψης αποφάσεων για την αξιολόγηση των εναλλακτικών ενός έργου σύμφωνα με συγκεκριμένα κριτήρια που να προκύπτουν από τις CPDFs των δεικτών B/C των εναλλακτικών και τα βάρη αυτών να επιλέγονται σύμφωνα με τις προτιμήσεις των ληπτών αποφάσεων έναντι του κινδύνου. Στη παρούσα παράγραφο, παρουσιάστηκε η μέθοδος RBMCA ως μία καινοτόμος προσέγγιση που περιλαμβάνει τα στάδια που πρέπει να ακολουθήσουν οι λήπτες αποφάσεων, ώστε να αξιολογήσουν τις εναλλακτικές μεθόδους υλοποίησης ενός έργου και να επιλέξουν τη βέλτιστη. Συνοψίζοντας, επισημαίνονται τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Η προτεινόμενη μέθοδος λαμβάνει υπόψη τους χρηματοοικονομικούς, τεχνικούς, περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς κινδύνους που δύναται να περικλείονται σε διάφορες εναλλακτικές μίας επένδυσης, μέσω των κατανομών πιθανότητας όλων των μεταβλητών και τη ποσοτική ανάλυση των κινδύνων για τους δείκτες B/C αυτών.
- Στη μέθοδο RBMCA, οι λήπτες αποφάσεων ορίζουν τα κριτήρια αξιολόγησης που βασίζονται στις σωρευτικές κατανομές CPDFs των δεικτών B/C των εναλλακτικών. Ειδικότερα, οι εναλλακτικές ενός έργου αξιολογούνται σύμφωνα με:
 - (i) Το μέγεθος των EVs των δεικτών B/C των εναλλακτικών, ή/και
 - (ii) Τη πιθανότητα οι δείκτες B/C των εναλλακτικών αν λάβουν μεγαλύτερες τιμές από συγκεκριμένες τιμές κριτηρίων, οι οποίες επιλέγονται από τους λήπτες αποφάσεων.
- Τα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης επιλέγονται από τους λήπτες αποφάσεων, σύμφωνα με τις προτιμήσεις αυτών έναντι του κινδύνου, δηλ. εάν είναι κινδυνόφοβοι, ουδέτεροι έναντι του κινδύνου, ή κινδυνόφιλοι.
- Σε κάθε περίπτωση, η πολυκριτήρια αξιολόγηση θα πρέπει να προτιμάται έναντι της αξιολόγησης σε ένα κριτήριο

Η μέθοδος RBMCA χρησιμοποιείται σε μία περιπτωσιολογική μελέτη για ένα έργο αποτέφρωσης αποβλήτων, που έχει μία απόδοση σε όγκο αποβλήτων 200,000 τον / έτος. Αρχικά, υπάρχουν τέσσερις εναλλακτικές που αναγνωρίζονται, οι οποίες αντιπροσωπεύουν διαφορετικές τεχνικές λύσεις και έχουν διαφορετικά έσοδα και κόστη αρχικής επένδυσης και λειτουργίας. Μέσω του προτεινόμενου συστήματος, οι μεταβλητές των εναλλακτικών του έργου χρησιμοποιούνται ως εισερχόμενα σε ένα MCS, έτσι ώστε οι CPDFs των δεικτών B/C των εναλλακτικών απεικονίζονται σε ένα γράφημα και η βέλτιστη εναλλακτική επιλέγεται σύμφωνα με συγκεκριμένα κριτήρια αξιολόγησης που έχουν συγκεκριμένα βάρη. Επιπλέον,

εξετάζεται η ευαισθησία της συνολικής βαθμολογίας των εναλλακτικών στα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης, ενώ αναλύεται η συνδεσιμότητα μεταξύ των βαρών των κριτηρίων και των προτιμήσεων των ληπτών αποφάσεων έναντι του κινδύνου.

Συμπερασματικά, το εργαλείο υποστήριξης απόφασης που περιλαμβάνει τη μέθοδο RBMCA δύναται να είναι ιδιαίτερος χρήσιμο στους λήπτες αποφάσεων κατά το αρχικό στάδιο προσέγγισης μίας επένδυσης, δηλ. στην ανάλυση της σκοπιμότητας και την αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων, καθώς τους βοηθά να αξιολογήσουν τις εναλλακτικές μεθόδους υλοποίησης σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους έναντι του κινδύνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Υποστηρικτικά Εργαλεία Απόφασης για το Δίκαιο Επιμερισμό του Χρηματοοικονομικού Κινδύνου σε Επενδύσεις

5.1 Μέθοδος αξιολόγησης χρηματοδοτικών σχημάτων ΣΔΙΤ

5.1.1 Σύνοψη, δομή και πλαίσιο

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, στον παραδοσιακό τρόπο δημοπράτησης και υλοποίησης δημόσιων έργων και προμηθειών έχει προστεθεί η δυνατότητα σύμπραξης ενός δημόσιου φορέα μέσω κατάλληλης σύμβασης, στο πλαίσιο των ΣΔΙΤ. Σε παγκόσμιο επίπεδο, διάφορους τύποι συμβάσεων αυτής της μορφής έχουν χρησιμοποιηθεί από τις εκάστοτε κυβερνήσεις, ενώ ο αριθμός των έργων που υλοποιούνται μέσω ΣΔΙΤ αυξάνεται με σταθερό ρυθμό (Ruuska και Teigland, 2009). Σύμφωνα με τους Jacobson και Choi (2008), οι ΣΔΙΤ δεν έχουν κάποιο κοινό ορισμό μεταξύ των κρατών, ωστόσο ένα κοινό χαρακτηριστικό στους ορισμούς που δίνονται από διάφορους μελετητές, είναι ότι οι εν λόγω συμβάσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν τον κατάλληλο επιμερισμό των κινδύνων μεταξύ των συμπρατούντων (Sotirchos et al., 2011), ενώ τα έσοδα δύναται να επιμερίζονται μεταξύ αυτών. Σε αυτή τη παράγραφο εξετάζεται το στάδιο ανάλυσης σκοπιμότητας των επενδύσεων που υλοποιούνται μέσω συμπράξεων του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα (ΣΔΙΤ) και ειδικότερα η αξιολόγηση της χρηματοδότησης εκ μέρους του δημόσιου φορέα. Ειδικότερα, εξετάζονται οι επενδύσεις μέσω ΣΔΙΤ, το κεφάλαιο της αρχικής επένδυσης των οποίων δύναται να χρηματοδοτηθεί από αμφότερους τους συμμετέχοντες, δηλ. το δημόσιο και τον ιδιωτικό φορέα, ενώ τα προκύπτοντα κέρδη δύναται να διανεμηθούν μεταξύ των, μέσω ενός κατάλληλου μηχανισμού.

Γενικότερα, μεταξύ των διαφόρων μεθόδων που προτείνονται στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία (βλ. Grimsey και Lewis, 2005), η ανάλυση κόστους-οφέλους είναι η μέθοδος που διακρίνεται από τον οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (UNECE, 2008). Εντούτοις, ένα από τα κρίσιμότερα θέματα που πρέπει να εξετάζονται κατά το στάδιο αρχικής αξιολόγησης ενός έργου ΣΔΙΤ είναι η χρηματοοικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης, η οποία αποτελεί ένα από τους κρίσιμους παράγοντες επιτυχίας των ΣΔΙΤ (Zhang, 2005; Ke et al., 2008; Ke et al., 2010). Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό οδηγό για τη μέθοδο της ΑΚΟ (EC, 2008), όπως αναλύθηκε εκτενώς και στη παράγραφο 2.4 της Διατριβής, επικεντρώνεται στη χρηματοοικονομική ανάλυση (financial analysis, FA), καθώς και στην ανάλυση των κινδύνων (risk analysis, RA) της εκάστοτε εξεταζόμενης επένδυσης.

Επιπλέον, βασικό κριτήριο για τη θετική αξιολόγησης της χρηματοοικονομικής βιωσιμότητας είναι οι δείκτες χρηματοοικονομικής αξιολόγησης, δηλ. η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value, NPV) και ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (Internal Rate of Return, IRR), οι τιμές των οποίων υπολογίζονται κατά τα βήματα της FA και της RA, να λάβουν αμφότεροι θετική αξιολόγηση, προκειμένου να τεκμηριώσουν ότι το έργο αναμένεται να είναι κερδοφόρο και για το δημόσιο και για τον ιδιωτικό τομέα. Εντούτοις, εξαιτίας του ότι στις ΣΔΙΤ η αρχική επένδυση είναι αρκετά μεγάλη, ενώ δύναται να χρηματοδοτηθεί από αμφότερους τους συμπρατούντες (Takashima et al., 2010), κρίσιμα στοιχεία κατά τη χρηματοοικονομική ανάλυση και την ανάλυση των κινδύνων, είναι τα ποσοστά χρηματοδότησης του αρχικού σχήματος από το δημόσιο και τον ιδιωτικό φορέα. Περαιτέρω, λαμβάνοντας υπόψη ότι η έλλειψη δημόσιων χρηματικών πόρων είναι η βασικότερη αιτία για την υλοποίηση μίας ΣΔΙΤ (Ke et al, 2008), καθώς το δημόσιο κεφάλαιο δεν αρκεί για τη κατασκευή και λειτουργία μεγάλων υποδομών, είναι σημαντικό να επιλεγεί ένα χρηματοδοτικό σχήμα, προκειμένου το δημόσιο να μπορέσει να εξοικονομήσει πόρους που θα διατεθούν σε έτερες δημόσιες

επενδύσεις (Ng και Loosemore, 2007). Ο καθορισμός συγκεκριμένων ποσοστών χρηματοδότησης εκ μέρους των συμπρατούντων, καλείται «χρηματοδοτικό σχήμα». Σε γενικότερο πλαίσιο, η βιβλιογραφία περιλαμβάνει αρκετές δημοσιεύσεις που προτείνουν μοντέλα είτε για χρηματοοικονομικά σενάρια (Tsamboulas και Kapros, 2003; Karmperis et al., 2010), ή έτερα μοντέλα ανάλυσης κινδύνων για τον καθορισμό του κατάλληλου χρονικού ορίζοντα μίας σύμβασης ΣΔΙΤ (Ng et al., 2007a; Shen et al., 2006; Grimsey και Lewis, 2002) καθώς και των λοιπών στοιχείων αυτής (Ng et al., 2007b). Ωστόσο, οι Tang et al. (2010), οι οποίοι ανέλυσαν περισσότερες από 110 δημοσιεύσεις που αφορούν στις ΣΔΙΤ, συμπεραίνουν ότι η έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στους τρόπους που θα διασφαλίζουν ένα αμοιβαίως κερδοφόρο (win-win) σενάριο μεταξύ του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα.

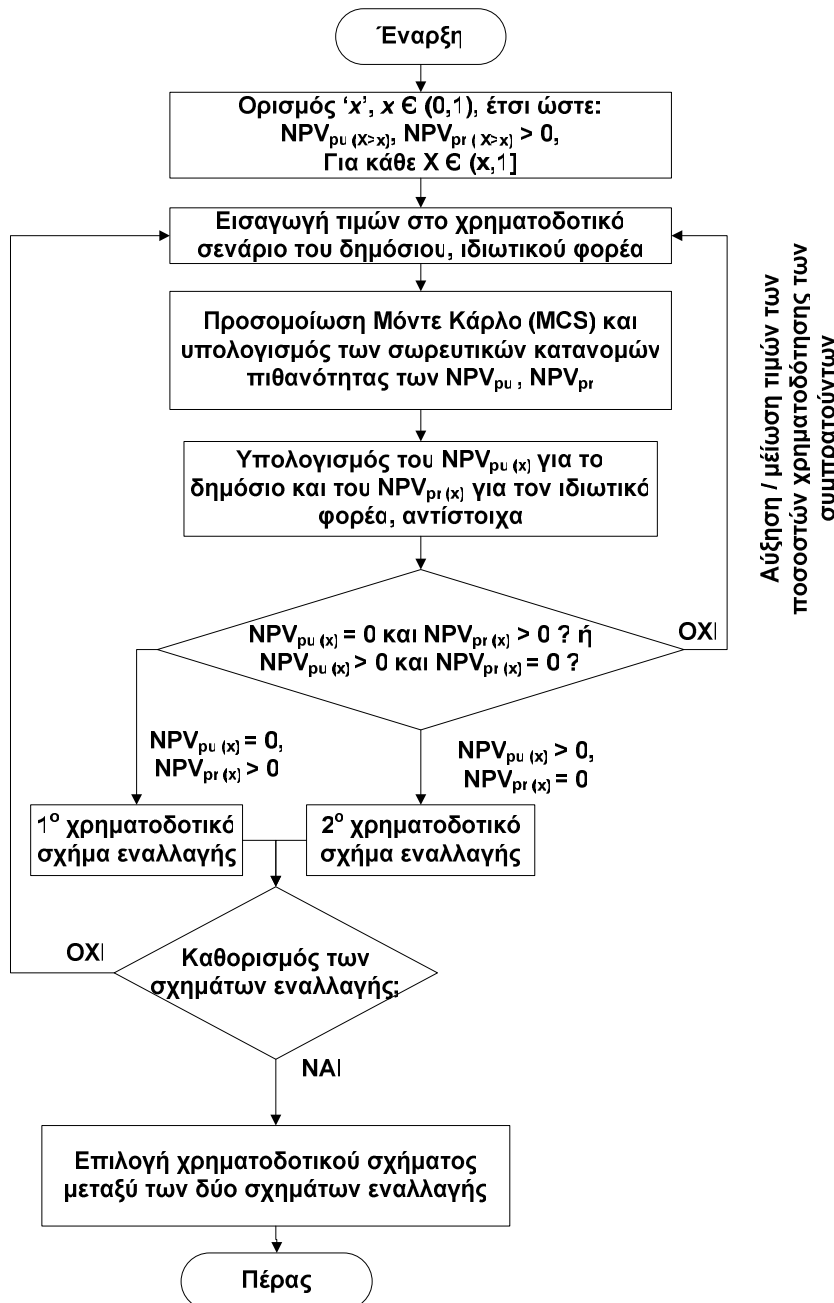
Κατά συνέπεια, ένας αλγόριθμος που δύναται να υπολογίσει το εύρος των χρηματοδοτικών ποσοστών της αρχικής επένδυσης σε μία ΣΔΙΤ και περαιτέρω το ακριβές χρηματοδοτικό σχήμα που διασφαλίζει μία ελάχιστη τιμή-στόχου για την εσωτερική απόδοση (IRR) του ιδιωτικού φορέα, θα είναι ένα χρήσιμο εργαλείο υποστήριξης απόφασης για το δημόσιο τομέα, κυρίως κατά το στάδιο ανάλυσης της σκοπιμότητας της επένδυσης. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος υποστήριξης απόφασης, ο αντικειμενικός σκοπός του οποίου είναι η αξιολόγηση του χρηματοοικονομικού κινδύνου και ο υπολογισμός του εύρους των χρηματοδοτικών ποσοστών των δύο φορέων σε ένα συγκεκριμένο διάστημα πιθανότητας, προκειμένου να διασφαλίζεται η βιωσιμότητα της σύμπραξης. Περαιτέρω, ο υπόψη αλγόριθμος εφαρμόζεται σε μία περιπτωσιολογική μελέτη, από την οποία προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα, τα οποία και αναλύονται.

5.1.2 Ο αλγόριθμος

Στο επόμενο Σχήμα 42 απεικονίζεται το διάγραμμα ροής ενός νέου αλγόριθμου, ο οποίος δύναται να χρησιμοποιηθεί από τους λήπτες αποφάσεων κατά το στάδιο αξιολόγησης της σκοπιμότητας ενός έργου ΣΔΙΤ, προκειμένου να υφίσταται προκύπτουσα ψφέλεια για αμφοτέρους τους συμπρατούντες. Το πεδίο εφαρμογής του συγκεκριμένου αλγόριθμου είναι οι συμβάσεις ΣΔΙΤ, στις οποίες τόσο τα προκύπτοντα έσοδα όσο και η αρχική επένδυση επιμερίζονται μεταξύ του δημόσιου και του ιδιωτικού φορέα, ενώ οι λειτουργικοί κίνδυνοι αναλαμβάνονται εξ'ολοκλήρου από τον ιδιωτικό.

Αρχικά, ο αλγόριθμος περιλαμβάνει ότι μετά την ολοκλήρωση της χρηματοοικονομικής ανάλυσης, οι λήπτες αποφάσεων ορίζουν ένα συγκεκριμένο ποσοστό επί τοις εκατό, το οποίο συμβολίζεται με x , $x \in (0,1)$, το οποίο θα εφαρμοστεί στη συνέχεια στις σωρευτικές κατανομές πιθανότητας των δεικτών αξιολόγησης NPV_{pu} και NPV_{pr} , για το δημόσιο (public: pu) και τον ιδιωτικό (private: pr) φορέα, αντίστοιχα. Το συγκεκριμένο ποσοστό είναι το κριτήριο ελέγχου, το οποίο αντιπροσωπεύει το διάστημα που επιθυμούν οι λήπτες αποφάσεων για τους δείκτες $NPV_{pu} (X > x)$ και $NPV_{pr} (X > x) > 0$, για κάθε $X \in (x, 1]$. Με άλλα λόγια, υφίσταται $1-x$ πιθανότητα για το δείκτη NPV του δημόσιου καθώς και του ιδιωτικού φορέα να λαβουν θετικές τιμές.

Επόμενο βήμα είναι η επιλογή ενός αρχικού χρηματοδοτικού ποσοστού για κάθε ένα από τους μετέχοντες στη σύμπραξη φορείς, καθώς και ο υπολογισμός των σωρευτικών κατανομών των NPV_{pu} και NPV_{pr} μέσω της προσομοίωσης Μόντε Κάρλο (MCS). Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι τιμές για την επιλεγείσα τιμή πιθανότητας $NPV_{pu}(x)$ και $NPV_{pr}(x)$.



Σχήμα 42. Αλγόριθμος ποσοτικής ανάλυσης κινδύνων για τη χρηματοδοτική αξιολόγηση έργων ΣΔΙΤ

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο, εκτελούνται συνεχείς επαναλήψεις της προσομοίωσης MCS εξετάζοντας διαφορετικά χρηματοδοτικά σενάρια (μέσω της βαθμιαίας μεταβολής, δηλ. αύξησης και μείωσης των ποσοστών του αρχικού χρηματοδοτικού σχήματος). Οι επαναλήψεις περατώνονται, όταν καθοριστούν και τα δύο «χρηματοδοτικά σενάρια εναλλαγής». Από τα εν λόγω σενάρια, το μεν πρώτο προκύπτει όταν $NPV_{pu}(x) = 0$ και $NPV_{pr}(x) > 0$, κα το δε δεύτερο όταν $NPV_{pu}(x) > 0$ και $NPV_{pr}(x) = 0$. Σύμφωνα με αυτά, όλα τα χρηματοδοτικά σενάρια που περικλείονται στο εύρος που ορίζουν τα σενάρια εναλλαγής, είναι χρηματοοικονομικά βιώσιμα, καθώς υφίσταται τουλάχιστον $1-x$ πιθανότητα να είναι κερδοφόρα και για το δημόσιο καθώς και για τον διιωτικό φορέα.

Επιπλέον, οι λήπτες αποφάσεων δύναται να χρησιμοποιήσουν τον προτεινόμενο

αλγόριθμο για να υπολογίσουν με ακρίβεια τα χρηματοδοτικά σχήματα που αντιστοιχούν σε μία ελάχιστη τιμή-στόχο του δείκτη IRR εκ μέρους του ιδιώτη επενδυτή. Ειδικότερα, εφόσον θέλουν να υπολογίσουν τα χρηματοδοτικά σχήματα με τα οποία ο δείκτης IRR του ιδιωτικού φορέα θα έχει τουλάχιστον $1-x$ πιθανότητες να λάβει τιμή μεγαλύτερη από το 13%, ή 15%, ή 18%, τότε θα πρέπει να ακολουθήσουν τον αλγόριθμο τρεις φορές, χρησιμοποιώντας ως προεξοφλητικό επιτόκιο το 13%, το 15%, και το 18%, αντίστοιχα. Τα χρηματοδοτικά σενάρια που θα προκύψουν έκαστη φορά, σύμφωνα με τα οποία θα υφίσταται: $NPV_{pu}(x) > 0$ και $NPV_{pr}(x) = 0$, θα είναι τα τρία χρηματοδοτικά σχήματα, τα οποία διασφαλίζουν με $1-x$ πιθανότητα ότι ο συντελεστής εσωτερικής απόδοσης του ιδιωτικού φορέα θα έχει τιμή μεγαλύτερη από 13%, 15%, και 18%, αντίστοιχα. Κατά συνέπεια, οι λήπτες αποφάσεων θα μπορέσουν να εξετάσουν εάν τα διαθέσιμα δημόσια κεφάλαια επαρκούν για την υλοποίηση της επένδυσης και εφόσον επαρκούν, είναι σε θέση να επιλέξουν ένα συγκεκριμένο χρηματοδοτικό σχήμα που θα τους επιτρέψει να απελευθερώσουν χρηματικούς πόρους τους οποίους και θα διαθέσουν σε έτερες επενδύσεις. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μία περιπτωσιολογική μελέτη, στην οποία καταδεικνύεται η εφαρμοσιμότητα και αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου αλγόριθμου.

5.1.3 Περιπτωσιολογική μελέτη εφαρμογής του αλγόριθμου

5.1.3.1 Περιγραφή προβλήματος

Η παρούσα περιπτωσιολογική μελέτη χρησιμοποιείται για να εισάγει τον αναγνώστη στον τρόπο εφαρμογής του προτεινόμενου αλγόριθμου. Η υπόθεση εργασίας αφορά σε ένα έργο που εξετάζεται να υλοποιηθεί μέσω σύμβασης Build-Operate-Transfer (BOT), που αποτελεί τον πλέον χρησιμοποιούμενο τύπο σύμβασης σε έργα ΣΔΙΤ (Zhang και Kumaraswamy, 2001; Sotirchos et al., 2011). Ο αντικειμενικός σκοπός της επένδυσης είναι η επεξεργασία υγρών αποβλήτων, προκειμένου να επαναχρησιμοποιηθούν μετά από μία τριτοβάθμια επεξεργασία καθαρισμού. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τη κατασκευή των απαραίτητων υποδομών επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, που θα εξυπηρετεί μία πόλη με πληθυσμό 190,000 κατοίκους, οι οποίοι θα αυξάνονται με ένα σταθερό ρυθμό 0.5% σε ετήσια βάση. Το κόστος κατασκευής της αρχικής επένδυσης θα χρηματοδοτηθεί από αμφοτέρους τους συμπρατούντες, δηλ. το δημόσιο και τον ιδιωτικό τομέα, ενώ η αμοιβή υπηρεσιών που θα λαμβάνει ο ιδιώτης επενδυτής από τους χρήστες θα έχει σταθερή τιμή. Κατά το στάδιο εξέτασης της σκοπιμότητας της συγκεκριμένης επένδυσης, οι τοπικές δημόσιες αρχές έχουν συγκεκριμένο διαθέσιμο κεφάλαιο, μέρος του οποίου δύναται να επενδυθεί στο υπόψη έργο.

Κατά συνέπεια, αποφασίστηκε η εξέταση εναλλακτικών χρηματοδοτικών σεναρίων από το δημόσιο και τον ιδιωτικό φορέα, ώστε να υπολογιστούν όλα τα βιώσιμα χρηματοδοτικά σενάρια. Στη συνέχεια, από το σύνολο των σεναρίων αυτών, θα μπορέσει να επιλεγεί ένα συγκεκριμένο χρηματοδοτικό σενάριο, το οποίο θα επιτρέπει την αποδέσμευση του υπολειπόμενου διαθέσιμου κεφαλαίου του δημοσίου για την επένδυσή του σε έτερα δημόσια έργα.

Σε γενικό πλαίσιο, τα έργα που ακολουθούν συμβάσεις τύπου BOT, περιλαμβάνουν αρχικά τη κατασκευή των απαραίτητων υποδομών καθώς στη συνέχεια τη λειτουργία τους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το εξεταζόμενο έργο διαιρείται σε 2 έτη ως τη φάση λειτουργίας και σε 18 έτη ως η αντίστοιχη λειτουργική φάση. Στη χρηματοοικονομική

ανάλυση που ακολουθεί, λαμβάνονται υπόψη μόνο χρηματικές εισροές και εκροές, δηλ. φόροι, απόσβεση παγίων στοιχείων και έτερα λογιστικά εργαλεία δεν προσμετρώνται, όχι λόγω αδυναμίας του προτεινόμενου αλγορίθμου, αλλά για λόγους απλούστευσης.

Το αρχικό επενδύσιμο κεφάλαιο χρηματοδοτείται από αμφοτέρους το δημόσιο και τον ιδιωτικό τομέα, ενώ το λειτουργικό κόστος στο σύνολό του καλύπτεται από τον ιδιωτικό φορέα σύμπραξης σύμφωνα με τα έσοδα που θα έχει από τη λειτουργία του έργου και τη παροχή των συγκεκριμένων υπηρεσιών. Ειδικότερα, το κόστος αρχικής επένδυσης εκτιμάται σε 30 εκατ. €, ενώ το κόστος μισθοδοσίας του 1^{ου} έτους λειτουργίας, υπολογίζεται σε €378,000 (15 εργαζόμενοι, με €25,200/άτομο/έτος). Το συνολικό λειτουργικό κόστος, εκτός της μισθοδοσίας, περιλαμβάνει τα πάγια έξοδα ύψους €100,000 σε ετήσια βάση, ενώ επιπλέον περιλαμβάνει και το αντίστοιχο κόστος προληπτικής και επισκευαστικής συντήρησης των εγκαταστάσεων και του Η/Μ εξοπλισμού, που υπολογίζεται σε €450,000 κατ'έτος. Οι τιμές αυτές είναι για το 1^ο έτος λειτουργίας, ενώ αυξάνονται κατά έτος σύμφωνα με τον πληθωρισμό, που λογίζεται σε 2.5%.

Λαμβάνεται υπόψη ότι η μέγιστη μέση ημερήσια παροχή ανά κάτοικο είναι 200 lt, τα οποία έχουν ένα συντελεστή μείωσης 0.8, εξαιτίας των διαροών στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης. Επιπλέον, η τιμή χρέωσης του επεξεργασμένου ύδατος λογίζεται σε €0.32/m³, οπότε τα αναμενόμενα έσοδα για το 1^ο έτος λειτουργίας του έργου υπολογίζονται: $(190,000)(200)(365)(0.8) / (1000)(0.32) = 3,550,720$ €. Τα συγκεκριμένα έσοδα θα ακολουθούν ετήσια αύξηση 3% (2.5% λόγω του πληθωρισμού και 0.5% από την αύξηση του πληθυσμού). Τα έσοδα αυτά θα συγκεντρώνονται από το δημόσιο φορέα με χρέωση των χρηστών, ενώ η τιμή παροχής υπηρεσιών προς τον ιδιωτικό φορέα θα είναι ανάλογη στο 80% της χρέωσης των πολιτών. Επιπλέον, μία βασική παραδοχή είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιείται στη χρηματοοικονομική ανάλυση, το οποίο λαμβάνεται σε 6.09% (HM Treasury, 2007).

5.1.3.2 Βασικό χρηματοδοτικό σχήμα

Αρχικά, εξετάζεται ένα βασικό χρηματοδοτικό σχήμα. Το συγκεκριμένο σχήμα καθορίζει ότι το ποσοστό χρηματοδότησης της αρχικής επένδυσης εκ μέρους του ιδιωτικού φορέα είναι το 80%, ενώ το υπολοίπο ποσοστό 20% πρόκειται να καλυφθεί από το δημόσιο. Αξιοσημείωτο είναι το ότι τα υπόψη ποσοστά είναι ίσα με τα αντίστοιχα σταθερά ποσοστά επιμερισμού των εσόδων μεταξύ των συμπρατούντων. Από το κεφάλαιο του δημοσίου που πρόκειται να επενδυθεί, το ήμισυ αυτού, δηλ. το 10% της συνολικής αρχικής επένδυσης, θα αποτελεί αντικείμενο συγχρηματοδότησης από την Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ το υπόλοιπο θα καλύπτεται από το διαθέσιμο τοπικό κεφάλαιο. Επιπλέον, το 10% του ιδιωτικού κεφαλαίου θα προκύψει από ίδιο κεφάλαιο (ποσοστό 8% της συνολικής αρχικής επένδυσης), ενώ το 90% του ιδιωτικού επενδύσιμου κεφαλαίου μέσω δανείου από τραπεζικό φορέα (ποσοστό 72% της συνολικής αρχικής επένδυσης). Το συγκεκριμένο δάνειο έχει επιτόκιο δανεισμού 5% και περίοδο αποπληρωμής τα 10 έτη. Η χρηματοοικονομική ανάλυση υλοποιείται με τη χρήση κατάλληλου λογιστικού φύλλου, και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 27. Όπως φαίνεται, το χρηματοδοτικό σχήμα 80%-20% για τον ιδιωτικό και το δημόσιο φορέα αντίστοιχα, αξιολογείται ως χρηματοοικονομικά επικερδές, καθώς αμφότεροι οι δείκτες NPV_{pu} και NPV_{pr} λαμβάνουν θετικές τιμές.

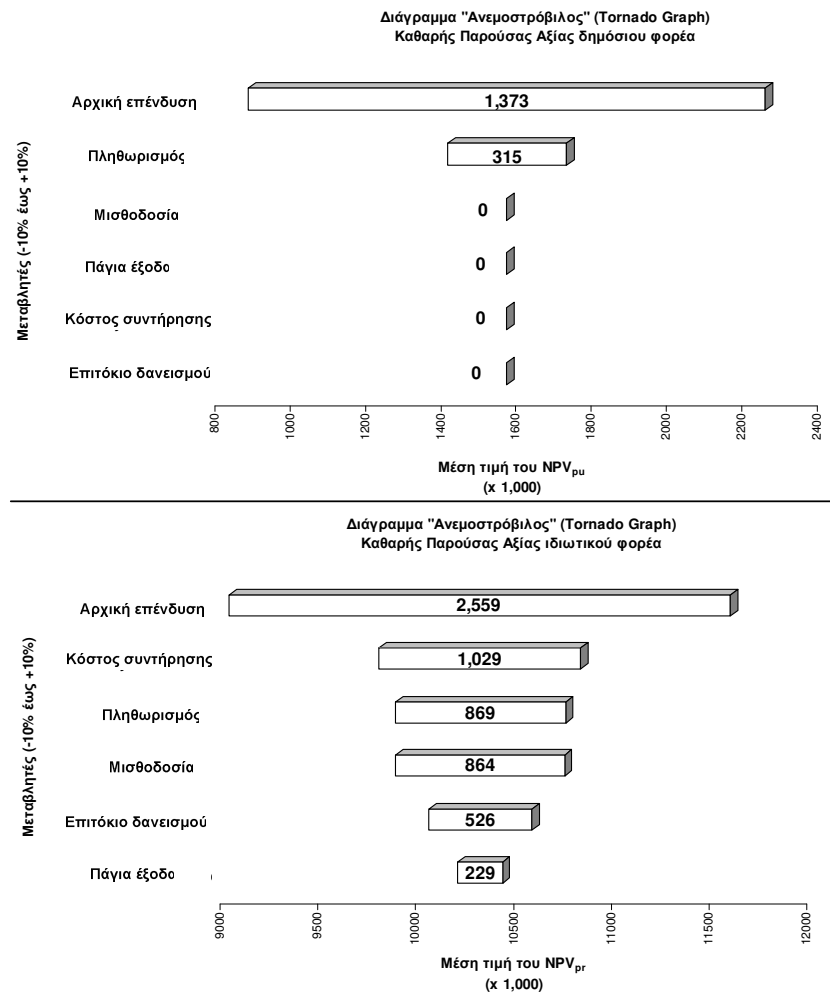
Πίνακας 27. Βασικό χρηματοδοτικό σχήμα

Δημόσια συμμετοχή		
Δημόσιο Τοπικό Κεφάλαιο	(10%)	3,000,000 €
Εθνικό Κεφάλαιο	(10%)	3,000,000 €
Σύνολο	(20%)	6,000,000 €
Ιδιωτική συμμετοχή		
Κεφάλαιο	(8%)	2,400,000 €
Δάνειο	(72%)	21,600,000 €
Σύνολο	(80%)	24,000,000 €
	NPV	IRR
Δημόσιο Τοπικό Κεφάλαιο (pu)	+5,678,450	+23.37%
Ιδιωτικό κεφάλαιο (pr)	+2,621,510	+9.04%

5.1.3.3 Ποσοτική ανάλυση κινδύνων με χρήση του αλγορίθμου

Ανάμεσα στις διάφορες μεταβλητές του έργου, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των δεικτών αξιολόγησης (NPV και IRR) των συμπρατούντων, αυτοί που έχουν αναμφισβήτητα μεγάλη επίδραση είναι το κόστος αρχικής επένδυσης, ο πληθωρισμός, το κόστος μισθοδοσίας, τα πάγια έξοδα, το κόστος συντήρησης καθώς και το επιτόκιο δανεισμού. Τα διαγράμματα ανάλυσης ευαισθησίας για τους δείκτες NPV_{pu} και NPV_{pr} σύμφωνα με το συγκεκριμένο χρηματοδοτικό σενάριο, παρουσιάζονται στο επόμενο Σχήμα 43. Σύμφωνα με αυτά τα διαγράμματα, τεκμαίρεται ότι το σύνολο των μεταβλητών αυτών έχουν μεγαλύτερη επίδραση (σε απόλυτη τιμή) στον δείκτη NPV_{pr} σε σχέση με την αντίστοιχη στο δείκτη NPV_{pu} . Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς ο ιδιωτικός φορέας σύμπραξης έχει αναλάβει μεγαλύτερο μέρος των κινδύνων (όπως άλλωστε συμβαίνει στη πλειονότητα των επενδύσεων που υλοποιούνται μέσω ΣΔΙΤ), σε σχέση με τους αντίστοιχους κινδύνους που επιμερίζονται στο δημόσιο. Για παράδειγμα, εκτός της αρχικής επένδυσης και του πληθωρισμού, οι έτερες μεταβλητές δεν επηρεάζουν διόλου την απόδοση του δημόσιου χρηματοοικονομικού κεφαλαίου. Αυτή η διαφοροποίηση που προκύπτει από την ανάλυση ευαισθησίας, οδηγεί στη περαιτέρω ανάλυση του εξεταζόμενου σεναρίου, μέσω της χρήσης του προτεινόμενου αλγορίθμου που απεικονίζεται στο Σχήμα 42.

Συγκεκριμένα, ακολουθώντας τον αλγόριθμο, το 'x' ορίζεται στο 5%, δηλ. η $1 - x = 95\%$, είναι η επιθυμητή πιθανότητα για θετικές τιμές των δεικτών NPVs και για τους δύο φορείς, δημόσιο και ιδιωτικό. Εξαιτίας το ότι το βασικό χρηματοδοτικό σχήμα έχει ήδη επιλεγεί να είναι το 80% / 20% (ιδιωτικό / δημόσιο), το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των σωρευτικών κατανομών πιθανότητας των δεικτών με τη χρήση της προσομοίωσης Μόντε Κάρλο (MCS). Κατά συνέπεια, σε κάθε μία από τις προαναφερόμενες μεταβλητές, εγγράφεται μία τριγωνική κατανομή πιθανότητας, προκειμένου να υπολογιστεί η συνολική



Σχήμα 43. Διαγράμματα ανάλυσης ευαισθησίας της ΚΠΑ του δημόσιου και Ιδιωτικού φορέα

τους επίδραση στους δείκτες. Όπως φαίνεται στο παρακάτω Πίνακα 28, με τη τριγωνική κατανομή εισάγονται τρεις τιμές σε έκαστη μεταβλητή, που είναι η ελάχιστη τιμή, η μέγιστη τιμή και η τιμή καλύτερης πρόβλεψης.

Πίνακας 28. Τριγωνικές κατανομές πιθανότητας μεταβλητών

Μεταβλητή	Ελάχιστη τιμή	Καλύτερη πρόβλεψη	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή
Πληθωρισμός (%)	1.5	2.5	4.0	2.67
Ετήσιο κόστος μισθοδοσίας	352,800	378,000	453,600	394,800
Ετήσιο λειτουργικό κόστος	90,000	100,000	150,000	113,330
Ετήσιο κόστος συντήρησης	350,000	450,000	600,000	466,670
Κόστος κατασκευής	28,500,000	30,000,000	34,500,000	31.000,000
Επιτόκιο δανεισμού (%)	2.0	5.0	6.5	4.5

Η προσομοίωση εκτελείται και προκύπτουν οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των δεικτών NPV_{pr} και NPV_{pu} , οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 44, καθώς και οι σωρευτικές κατανομές πιθανότητάς τους, οι οποίες παρουσιάζονται στο επόμενο Σχήμα 45. Από τα διαγράμματα αυτά, προκύπτει ότι ο δείκτης του δημόσιου κεφαλαίου NPV_{pu} θα λάβει τιμή μεγαλύτερη από €5,164,450 με πιθανότητα 95%, ενώ η μέση (mean ή expected) τιμή του θα είναι 5,701,231. Αντίστοιχα, η μέση τιμή για το δείκτη NPV_{pr} είναι 2,146,849, ενώ η τιμή του ποσοστού 'xth' για τον δείκτη αξιολόγησης του ιδιωτικού φορέα προκύπτει αρνητική: $NPV_{pu}(5\%) = -587,230$. Επιπλέον, η πιθανότητα για τους δείκτες αξιολόγησης να λάβουν αρνητικές τιμές είναι 0% για το NPV_{pu} και 9.69% για το NPV_{pr} . Από τα αποτελέσματα αυτά, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι το βασικό χρηματοδοτικό σχήμα της αρχικής επένδυσης, σύμφωνα με το οποίο το ποσοστό συμμετοχής του ιδιωτικού φορέα είναι 80% και το αντίστοιχο ποσοστό του δημόσιου είναι 20%, δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως χρηματοοικονομικά βιώσιμο, καθώς καθώς υφίσταται πιθανότητα 9.69% να είναι ζημιογόνα η επένδυση για ένα από τους δύο συμπρατούντες. Θα πρέπει να τονιστεί ότι ο επιλεχθέντας περιορισμός: $NPV(5\%) > 0$ είναι ορθολογικός, πλην όμως είναι καθαρά ενδεικτικός και αποτελεί καθαρά επιλογή των εκάστοτε ληπτών αποφάσεων. Εξαιτίας του ότι δεν έχουμε καταφέρει να προσδιορίσουμε τα χρηματοδοτικά σενάρια εναλλαγής, ο αλγόριθμος εκτελεί συνεχείς επαναλήψεις εξετάζοντας εναλλακτικά χρηματοδοτικά σχήματα της αρχικής επένδυσης. Αυτό περιλαμβάνει της συνεχή εκτέλεση της προσομοίωσης Μόντε Κάρλο σύμφωνα με διαφορετικά κάθε φορά χρηματοδοτικά σενάρια. Συγκεκριμένα, τα χρηματοδοτικά σενάρια που εξετάζονται για τα ποσοστά συμμετοχής των φορέων δημόσιου – ιδιωτικού είναι: 95%-5%, 80%-20%, 70%-30%,, 20%-80%, 5%-95%. Τα αποτελέσματα για το σύνολο των εξεταζόμενων χρηματοδοτικών σεναρίων, παρουσιάζονται στο διάγραμμα του επόμενου Σχήματος 46.

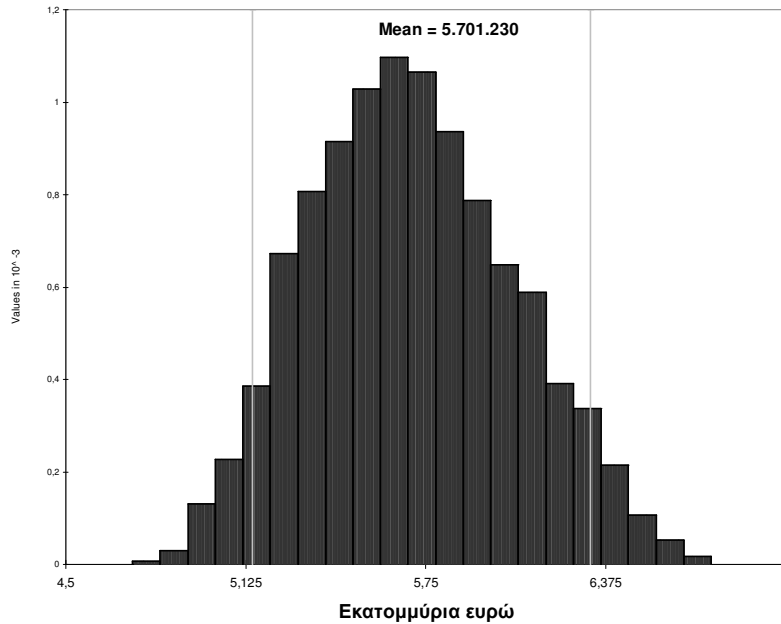
Όπως φαίνεται στο υπόψη διάγραμμα, για κάθε ένα από τα εναλλακτικά χρηματοδοτικά σενάρια, προκύπτει η αναμενόμενη τιμή των δεικτών NPV_{pu} και NPV_{pr} (που είναι στο κέντρο κάθε σταυρού), και περαιτέρω υπάρχει το εύρος πιθανότητας 90%, από τις τιμές $NPV(5\%)$ στις $NPV(95\%)$, που απεικονίζονται μέσω των οριζόντιων και κάθετων γραμμών, για το δημόσιο και τον ιδιωτικό φορέα αντίστοιχα. Γενικότερα, το κριτήριο που χρησιμοποιούν οι λήπτες απόφασης, προκειμένου να επιλέξουν μεταξύ εναλλακτικών χρηματοδοτικών σχημάτων, είναι ότι αμφότεροι οι δείκτες αξιολόγησης NPV_{pu} και NPV_{pr} , θα πρέπει να λαμβάνουν θετικές τιμές, όχι μόνο στις αναμενόμενες τιμές τους, αλλά και στο προκαθορισμένο διάστημα πιθανότητας $1 - x$. Με άλλα λόγια, κάθε χρηματοδοτικό σχήμα με το οποίο και οι δύο δείκτες αξιολόγησης έχουν θετικές τιμές στις τιμές πιθανότητας $NPV(5\%)$ (δηλ. 95% πιθανότητας να προκύψουν θετικοί), όπως προκύπτει από τη προσομοίωση Μόντε Κάρλο, δύναται να χαρακτηριστεί ως χρηματοοικονομικά βιώσιμο. Στον αντίποδα, κάθε χρηματοδοτικό σχήμα όπου ένας τουλάχιστον δείκτης αξιολόγησης λαμβάνει αρνητική τιμή, θα πρέπει να θεωρείται ως επισφαλές, εξαιτίας του ότι υπάρχει πιθανότητα η επένδυση να είναι ζημιογόνα για ένα τουλάχιστον εκ των συμπρατούντων.

Επιπλέον, τα δύο χρηματοδοτικά σχήματα εναλλαγής, τα οποία περικλείουν το σύνολο των χρηματοοικονομικά βιώσιμων χρηματοδοτικών σχημάτων, υπολογίζονται μέσω της διαδικασίας των συνεχών δοκιμών (trial and error). Αυτά τα σχήματα προκύπτουν, όταν η τιμή $NPV(x)$ του ενός φορέα είναι μηδενική και η αντίστοιχη του άλλου φορέα είναι θετική.

Συνάρτηση πυκνότητας Πιθανότητας Καθαρής Παρούσας
Αξίας δημόσιου φορέα (NPV_{pu})

X <= 5.149.940
5%

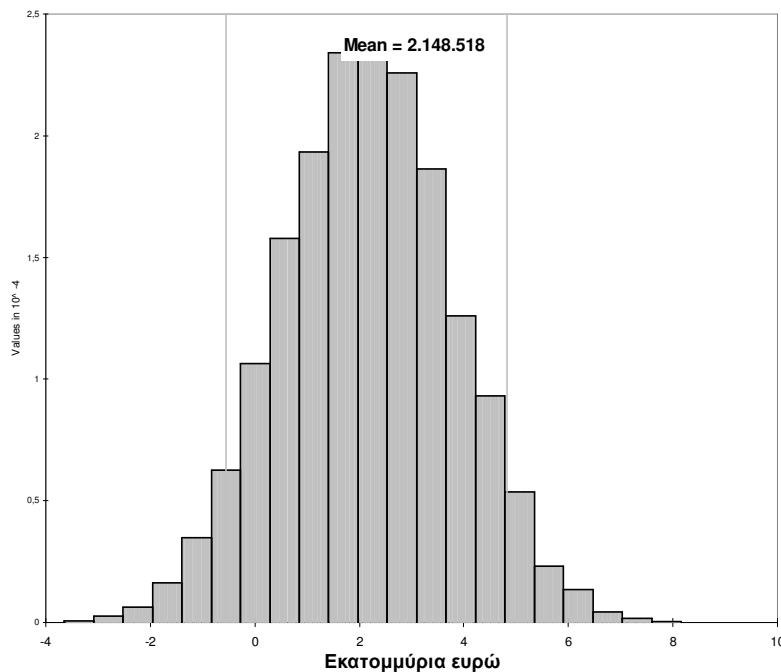
X <= 6.322.890
95%



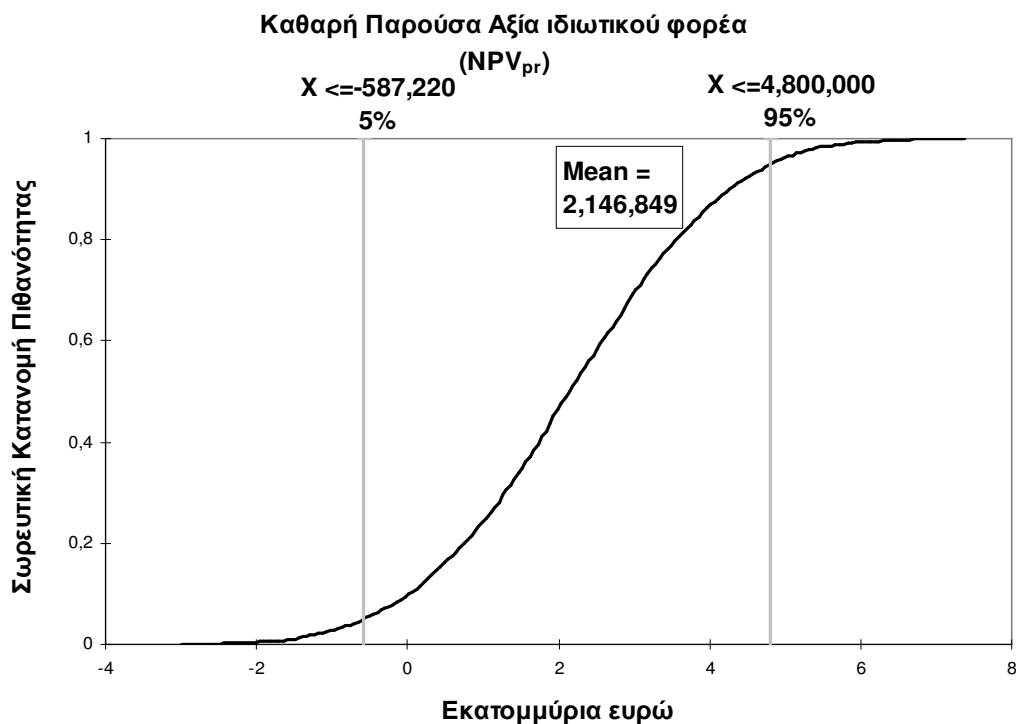
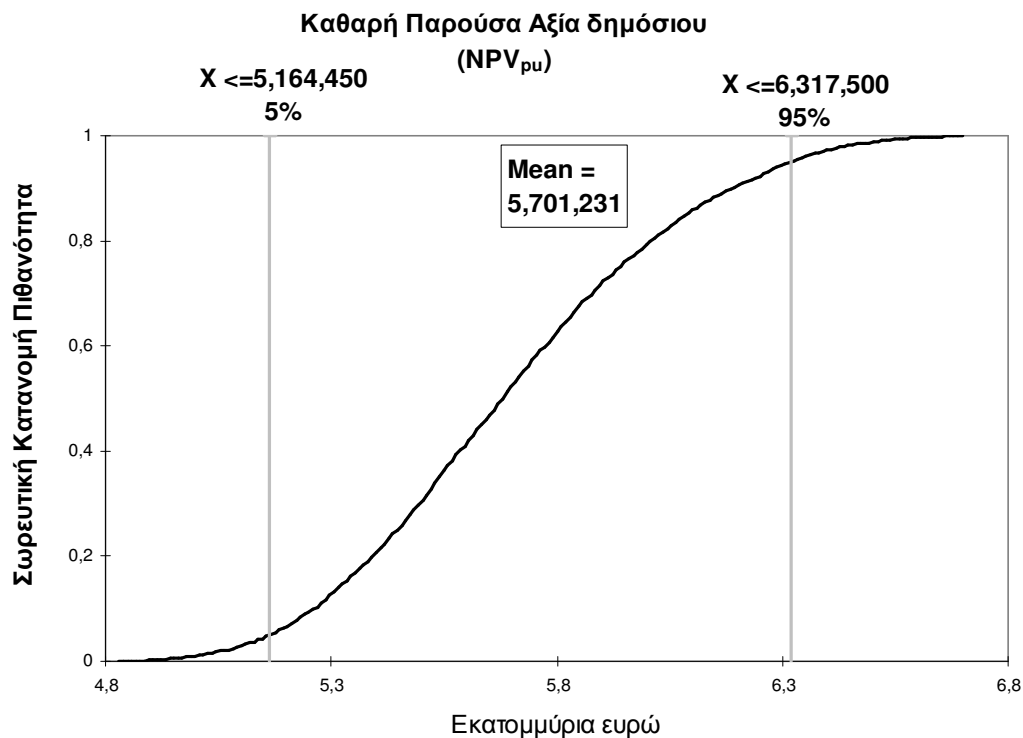
Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Καθαρής Παρούσας
Αξίας ιδιωτικού φορέα (NPV_{pr})

X <= -545.500
5%

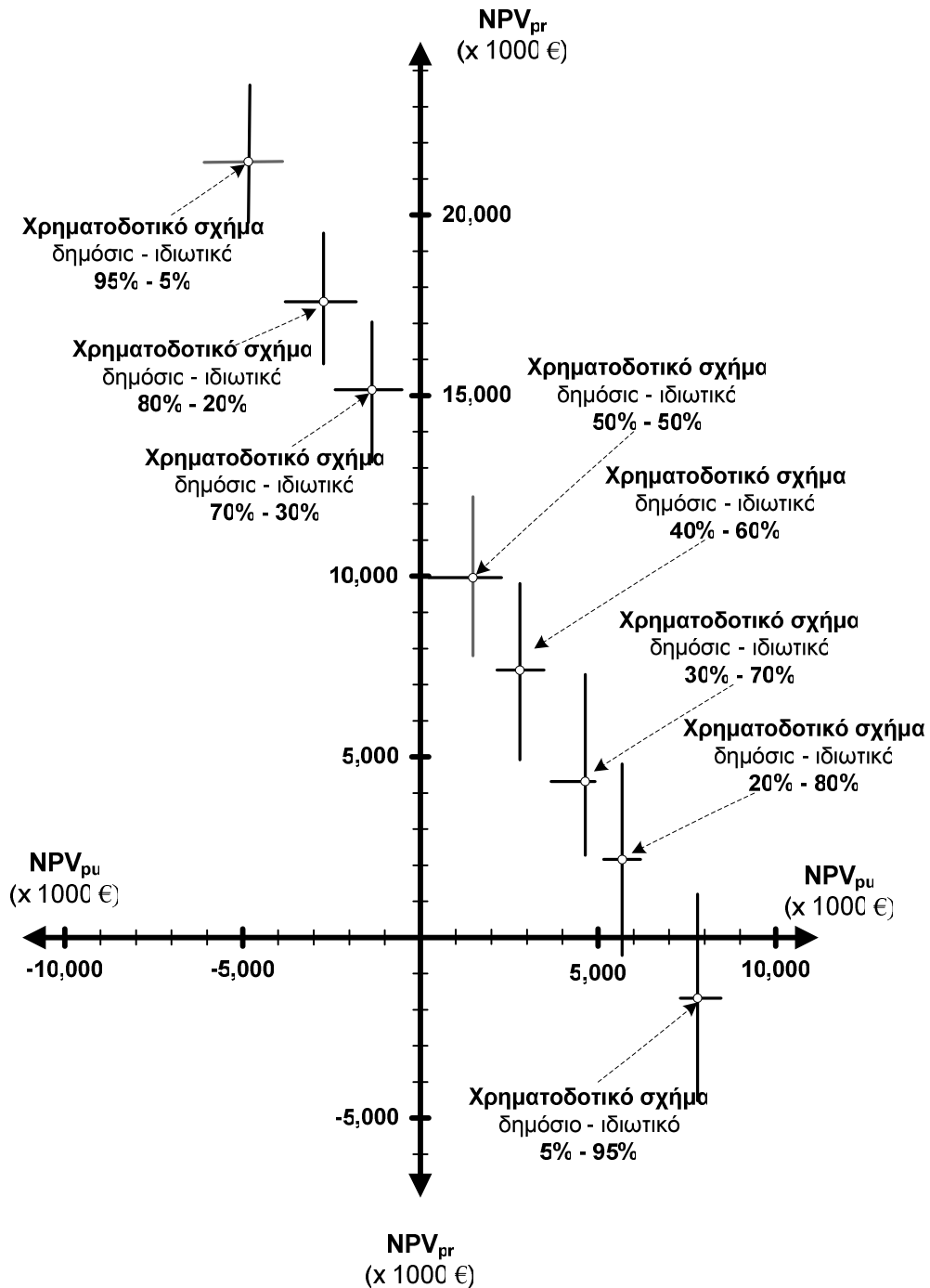
X <= 4.819.510
95%



Σχήμα 44. Διαγράμματα συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας των δεικτών αξιολόγησης για το δημόσιο και τον ιδιωτικό φορέα

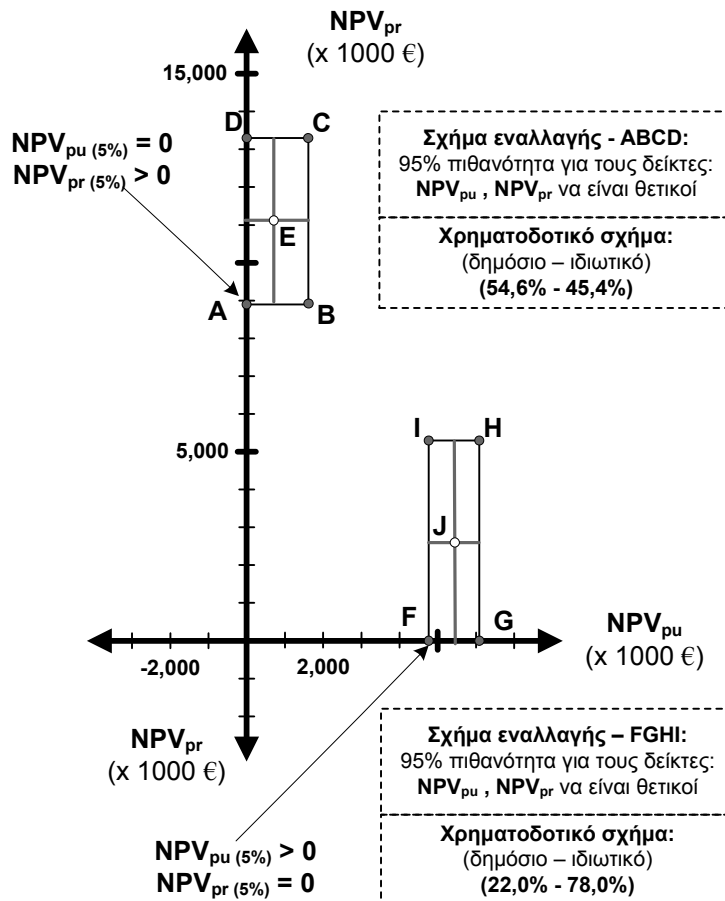


Σχήμα 45. Διαγράμματα σωρευτικών κατανομών πιθανότητας των δεικτών αξιολόγησης για το δημόσιο και τον ιδιωτικό φορέα



Σχήμα 46. Εναλλακτικά χρηματοδοτικά σενάρια

Ενδεικτικά, το πρώτο χρηματοδοτικό σχήμα εναλλαγής προκύπτει όταν το $NPV_{pu}(x) = 0$ και το $NPV_{pr}(x) > 0$, ενώ το δεύτερο προκύπτει όταν το $NPV_{pu}(x) > 0$ και το $NPV_{pr}(x) = 0$. Στη παρούσα περιπτώσιολογική μελέτη, το πρώτο χρηματοδοτικό σχήμα εναλλαγής που υπολογίζεται είναι το ποσοστό συμμετοχής στην αρχική επένδυση εκ μέρους του δημόσιου να είναι 54.6%, δηλ. το αντίστοιχο ποσοστό συμμετοχής του ιδιωτικού φορέα να είναι το 45.4%, ενώ το δεύτερο χρηματοδοτικό σχήμα εναλλαγής προκύπτει για ποσοστό συμμετοχής 22.0% από το δημόσιο και 78.0% από τον ιδιωτικό φορέα σύμπραξης, όπως φαίνεται στο επόμενο Σχήμα 47.

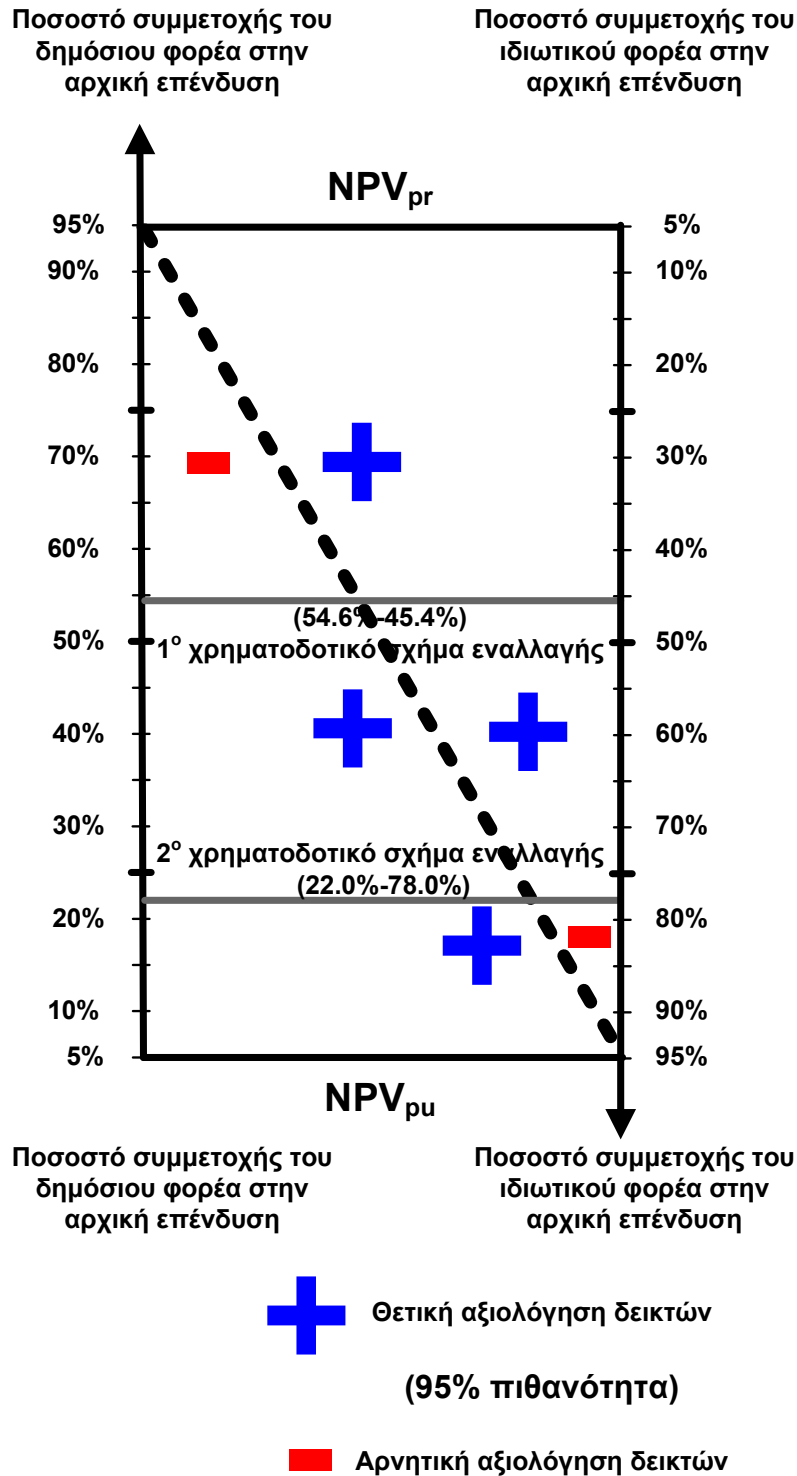


Σχήμα 47. Χρηματοδοτικά σχήματα εναλλαγής

Κατά συνέπεια, κάθε ένα από τα χρηματοδοτικά σχήματα, τα οποία περιλαμβάνονται μέσα στο εύρος που καθορίζουν τα σχήματα εναλλαγής, δύναται να επιλεγεί από τους λήπτες αποφάσεων, καθώς ικανοποιεί το κριτήριο επιλογής που έχει τεθεί: $NPV_{ru}(X > x)$ και $NPV_{pr}(X > x) > 0$, για κάθε $X \in (x, 1]$. Μία οπτική αναπαράσταση των χρηματοοικονομικά βιώσιμων χρηματοδοτικών σχημάτων, παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα 48. Όπως φαίνεται, τα σενάρια που περιλαμβάνονται στο εύρος από 95%-5% έως 54.6%-45.4% αποτελούν τα (lose – win) χρηματοδοτικά σχήματα, αυτά που περικλείονται στο εύρος από 22%-78% έως 5%-95% αποτελούν τα (win – lose) χρηματοδοτικά σχήματα, ενώ τα σενάρια που περικλείονται μεταξύ των δύο χρηματοδοτικών σχημάτων εναλλαγής, δηλ. από 54.6%-45.4% έως 22%-78%, αποτελούν τα χρηματοοικονομικά βιώσιμα (win – win) σενάρια χρηματοδότησης της αρχικής επένδυσης.

Με άλλα λόγια, οι λήπτες αποφάσεων δύναται να επιλέξουν ένα χρηματοδοτικό σχήμα που δεν θα υπερβεί το ποσοστό χρηματοδότησης 54,6% εκ μέρους του δημοσίου (καθώς θα είναι ζημιογόνο για το δημόσιο), και επιπλέον δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από 22% (καθώς θα είναι ζημιογόνο για τον ιδιωτικό φορέα σύμπραξης). Θα πρέπει να τονιστεί εδώ, ότι η βιωσιμότητα μίας σύμπραξης βασίζεται στη δίκαιη κατανομή της προκύπτουσας οφέλους, δηλ. σε αμοιβαία οφέλη και για τους δύο φορείς που συμπράτουν.

Ειδικά για τους λήπτες απόφασης του δημόσιου τομέα, μέσω της χρήσης του συγκεκριμένου αλγορίθμου, έχουν τη δυνατότητα να συγκρίνουν το διαθέσιμο δημόσιο κεφάλαιο με το προκύπτον εύρος των ποσοστών χρηματοδότησης, προκειμένου να



Σχήμα 48. Εύρος βιώσιμων χρηματοδοτικών σεναρίων

επιλέξουν το σενάριο εκείνο που όχι μόνο θα διασφαλίζει τη βιωσιμότητα της σύμπραξης, δηλ. ότι θα είναι επικερδές για αμφότερους τους συμπρατούντες, αλλά περαιτέρω θα τους δίνει τη δυνατότητα να αποδεσμεύσουν δημόσιο κεφάλαιο για επένδυση σε έτερα έργα δημοσίου συμφέροντος. Από την άλλη, οι λήπτες απόφασης του ιδιωτικού τομέα, έχουν τη δυνατότητα να υπολογίσουν συγκεκριμένα χρηματοδοτικά σχήματα που

διασφαλίζουν ότι ο δείκτης τους IRR θα έχει τουλάχιστον 1- x πιθανότητες να λάβει τιμή μεγαλύτερη από κάποια τιμή-στόχο, π.χ. το 13%, ή 15%, ή 18%, απλά χρησιμοποιώντας στον προτεινόμενο αλγόριθμο 13%, το 15%, και το 18%, ως προεξοφλητικό επιτόκιο, αντίστοιχα.

5.1.4 Συμπεράσματα

Οι συμβάσεις σύμπραξης του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς κατά τις τελευταίες δεκαετίες από τις διάφορες κυβερνήσεις σε παγκόσμιο επίπεδο. Επιπλέον, είναι αναμενόμενο ότι οι εν λόγω συμβάσεις θα συνεχίζουν να παίζουν σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση έργων δημοσίου χαρακτήρα, εξαιτίας των περιορισμών που υφίστανται στα διαθέσιμα προς επένδυση κεφάλαια κυρίως των δημόσιων οργανισμών.

Στη παρούσα παράγραφο της Διατριβής, εξετάστηκε η διεργασία αξιολόγησης των χρηματοδοτικών σχημάτων που λαμβάνει χώρα κατά την ανάλυση της σκοπιμότητας στο αρχικό (προσυμβατικό) στάδιο ενός έργου ΣΔΙΤ. Ειδικότερα, παρουσιάστηκε ένας νέος αλγόριθμος που δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο υποστήριξης απόφασης από τους λήπτες αποφάσεων τόσο του δημόσιου όσο και του ιδιωτικού φορέα που συμπράτουν. Ο εν λόγω αλγόριθμος παρουσιάζει τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσουν οι λήπτες αποφάσεων, προκειμένου να αξιολογήσουν τα διάφορα εναλλακτικά σενάρια χρηματοδότησης της αρχικής επένδυσης μίας σύμπραξης, προκειμένου να διασφαλίζεται το δυνατόν ότι το αποτέλεσμα θα είναι αμοιβαία κερδοφόρα. Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη τους κινδύνους που περικλείει μία επένδυση και οι οποίοι επιμερίζονται στους συμπρατούντες. Οι συγκεκριμένοι κίνδυνοι αποτελούν τα εισερχόμενα σε ένα μοντέλο Μόντε Κάρλο που αναπτύσσεται, και μέσω της επαναληπτικής εκτέλεσης της προσομοίωσης για διάφορα εναλλακτικά χρηματοδοτικά σενάρια, προκύπτουν τα χρηματοδοτικά σχήματα εναλλαγής για ένα προκαθορισμένο ευρος πιθανότητας.

Η εφαρμογή του προτεινόμενου αλγόριθμου εκτελείται σε ένα έργο διαχείρισης υγρών αποβλήτων, όπου το βασικό χρηματοδοτικό σενάριο που εξετάζεται και περιλαμβάνει ποσοστά συμμετοχής στην αρχική χρηματοδότηση ίσα με τα αντίστοιχα ποσοστά επιμερισμού των εσόδων, αξιολογείται ως μή βιώσιμο, καθώς υφίσταται πιθανότητα 9.69% να είναι ζημιολόγο για τον ένα εκ των δύο συμπρατούντων.

Στη συνέχεια, με τη χρήση του αλγορίθμου και με τον περιορισμό πιθανότητας για θετικές τιμές των δεικτών να τίθεται στο 95%, υπολογίζονται τα χρηματοδοτικά σενάρια εναλλαγής, τα οποία ορίζουν το εύρος που περικλείει το σύνολο των βιώσιμων χρηματοδοτικών σχημάτων, διασφαλίζοντας τη βιωσιμότητα της σύμπραξης. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δύναται να αποτελέσει ένα υποστηρικτικό εργαλείο για τους λήπτες αποφάσεων, καθώς τους δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουν το εύρος διακύμανσης των δίκαιων χρηματοδοτικών σεναρίων, τα οποία επιφέρουν αμοιβαίο όφελος στους συνεργαζόμενους.

5.2 Ίσος επιμερισμός χρηματοοικονομικού κινδύνου σε πολλαπλούς παίκτες: Παιγνιοθεωρητική προσέγγιση

5.2.1 Σύνοψη, δομή και πλαίσιο

Σε γενικό πλαίσιο, οι επενδύσεις με συνεργασίες πολλαπλών επενδυτών συναντώνται κυρίως στις εφοδιαστικές αλυσίδες για τη παραγωγή και εκμετάλλευση προϊόντων, όπου υφίστανται συγκεκριμένοι ρόλοι για τους διάφορους επενδυτές, π.χ. κατασκευαστές / παραγωγοί, προμηθευτές (χονδρική πώληση) / μεταφορείς, και πωλητές (λιανική πώληση). Ο συντονισμός μίας εφοδιαστικής αλυσίδας δύναται να επιτευχθεί μέσω ενός συγκεντρωτικού ή αποκεντρωτικού σχήματος, όπου οι λήπτες αποφάσεων είναι ένας ή περισσότεροι, αντίστοιχα. Αξιοσημείωτο πάντως είναι ότι στη πλειοψηφία τους οι εφοδιαστικές αλυσίδες ακολουθούν απωκεντρωτικά σχήματα, δηλ. υπάρχουν πολλαπλοί λήπτες αποφάσεων, με διαφορετικές επιδιώξεις ο καθένας. Στα σχήματα αυτής της μορφής κυρίως εφαρμοζόμενοι μηχανισμοί είναι οι συμβάσεις επιμερισμού εσόδων ή / και οι συμβάσεις επιμερισμού κόστους για την επίτευξη κοινών στόχων. Ειδικότερα, οι εν λόγω συμβάσεις χρησιμοποιούνται προκειμένου να «συντονίσουν» τα μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας κατά τέτοιον τρόπο ώστε όχι μόνο οι ιδιοτελείς αντικειμενικοί σκοποί να επιτυγχάνονται αλλά και η συνολική απόδοση του μεγάλου-συνασπισμού να βελτιστοποιείται (Zhu, 2009; Leng and Parlar, 2010). Στη περίπτωση που τα συνολικά κέρδη του μεγάλου-συνασπισμού που προκύπτουν είναι ίσα με τα αντίστοιχα κέρδη που θα προέκυπταν μέσω ενός συγκεντρωτικού σχήματος (με έναν λήπτη απόφασης), τότε υφίσταται «τέλειος συντονισμός» (Wang et al., 2004). Ωστόσο, προκειμένου να είναι αποδεκτός ένας μηχανισμός τέτοιας μορφής, θα πρέπει να είναι το δυνατόν πιο δίκαιος, δηλ. να λαμβάνει υπόψη τον ισόποσο επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου μεταξύ των συνεργαζόμενων μερών.

Σε τέτοιες περιπτώσεις, όπου ανεξάρτητοι λήπτες αποφάσεων εξετάζουν τη συμμετοχή τους σε μία συνεταιριστική επιχείρηση, η οποία θα εφαρμόζει έναν μηχανισμό επιμερισμού τόσο του κόστους όσο και των εσόδων μεταξύ των συμπραττούντων, η θεωρία των συνεργατικών παιγνίων μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά, καθώς το συνολικό αποτέλεσμα εξαρτάται από το σύνολο των συνεργαζόμενων παικτών (Nagarajan και Sosis, 2008). Σε αυτή την ενότητα, επικεντρώνουμε στην ανάπτυξη ενός βασικού μοντέλου για τον ίσο επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου σε επενδύσεις. Συγκεκριμένα, θεωρούμε ένα πεπερασμένο σύνολο από επενδυτές (μεγάλος-συνασπισμός), οι οποίοι αναλαμβάνουν τμήματα του κόστους της επένδυσης ανεξάρτητα και εξετάζουν τον επιμερισμό του υπολοίπου κόστους και των συνολικών εσόδων, μέσω ενός κατάλληλου μηχανισμού. Στην επόμενη παράγραφο, αναπτύσσεται ένα βασικό μοντέλο και χρησιμοποιείται η θεωρία των συνεργατικών παιγνίων, προκειμένου να υπολογιστούν οι πιθανοί μηχανισμοί επιμερισμού εσόδων-κόστους, οι οποίοι να διασφαίζουν τον ίσο επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου μεταξύ του συνόλου των συνεργαζόμενων επενδυτών.

5.2.2 Το βασικό μοντέλο

Θεωρούμε ένα αποκεντρωμένο σύστημα εφοδιαστικής αλυσίδας με έναν

πεπερασμένο σύνολο επενδυτών (παικτών) $N = \{1,2,3,\dots,n\}$, που ονομάζεται μεγάλος-συνασπισμός. Αυτοί οι παίκτες συμφωνούν καταρχήν να συμμετέχουν στην εφοδιαστική αλυσίδα, αναλαμβάνοντας ο καθένας μέρος του συνολικού κόστους ανεξάρτητα, σύμφωνα με τον ρόλο που ο καθένας έχει (παραγωγός, προμηθευτής, πωλητής λιανικής), δηλ. τα κόστη c_1, c_2, c_3, \dots , και c_n , αναλαμβάνονται από τους παίκτες $1,2,3,\dots$, και n , αντίστοιχα. Επιπλέον, το υπολοιπόμενο κόστος του μεγάλου-συνασπισμού C (π.χ. διαφημιστικά έξοδα, μελέτες, εγκαταστάσεις), καθώς και τα συνολικά έσοδα R επιμερίζονται μεταξύ όλων των παικτών, μέσω ενός μηχανισμού επιμερισμού εσόδων-κόστους. Συμβολίζουμε με P_i το κέρδος που αντιστοιχεί σε ένα παίκτη. Ένας πλήρης κατάλογος των συμβολισμών που περιλαμβάνει το συγκεκριμένο μοντέλο ίσου επιμερισμού του χρηματοοικονομικού κινδύνου παρουσιάζεται στον επόμενο Πίνακα 29. Είναι προφανές ότι ο μηχανισμός επιμερισμού εσόδων-κόστους θα πρέπει να είναι εφικτός και ανεξάρτητα ορθολογικός, δηλ. τα αθροίσματα των επιμεριζόμενων εσόδων και του επιμεριζόμενου κόστους δεν υπερβαίνουν τα συνολικά μεγέθη του συνασπισμού και το κέρδος έκαστου παίκτη (έσοδα μείον κόστος) θα πρέπει να προκύπτει θετικό:

$$R_i \in (0,1) \text{ and } \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n C_i = 1 \quad (5.1)$$

$$P_i = R(R_i) - C(C_i) - c_i > 0, \quad \forall i \in N \quad (5.2)$$

Θεωρούμε ότι υπάρχει πλήρης πληροφόρηση μεταξύ των παικτών και εξετάζουμε τη περίπτωση του ίσου επιμερισμού του χρηματοοικονομικού κινδύνου (Chauhan και Proth, 2005). Γενικότερα, εάν τα επιμεριζόμενα έσοδα R και κόστος C δεν ακολουθούν κατανομές πιθανότητας, δηλ. έχουν σταθερές τιμές, εξάγουμε την επόμενη Πρόταση 5.1. Οι αποδείξεις για το σύνολο των Προτάσεων και Θεωρημάτων που περιλαμβάνονται σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α και συγκεκριμένα στο Α.1.

Πρόταση 5.1. *Για ένα πεπερασμένο συνασπισμό N , με $i=1,2,\dots,n$ παίκτες, υπάρχουν άπειρα ποσοστά επιμερισμού εσόδων-κόστους $(R_i), (C_i)$ που ορίζουν τον ίσο επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου μεταξύ όλων των παικτών.*

Ωστόσο, προκειμένου να προσδιορίσουμε εκ μέρους του μεγάλου-συνασπισμού το συνολικό χρηματοοικονομικό κίνδυνο, ο οποίος στη συνέχεια θα επιμεριστεί ίσα μεταξύ όλων των παικτών, τα επιμεριζόμενα κόστη και έσοδα ακολουθούν κανονικές κατανομές πιθανότητας με συγκεκριμένες μέση τιμή (μ) και διακύμανση (σ^2). Τούτο σημαίνει ότι μία κανονική κατανομή πιθανότητας Π εγγράφεται στα συνολικά έσοδα του μεγάλου-συνασπισμού: $\Pi_R(\mu_R, \sigma_R^2)$ και μία άλλη κατανομή πιθανότητας εγγράφεται στο υπολοιπόμενο κόστος, το οποίο δεν αναλαμβάνεται ανεξάρτητα από κάποιον παίκτη και θα πρέπει να επιμεριστεί μεταξύ όλων: $\Pi_C(\mu_C, \sigma_C^2)$. Σύμφωνα με αυτές τις κατανομές, εξάγουμε τη Πρόταση 5.2:

Πρόταση 5.2. *Ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος επιμερίζεται ίσα μεταξύ των παικτών, όταν τα κέρδη για όλους τους παίκτες ακολουθούν ίσες κατανομές πιθανότητας, πληρώντας τη σχέση (5.3):*

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n \\ \sigma_1 &= \sigma_2 = \sigma_3 = \dots = \sigma_n \end{aligned} \tag{5.3}$$

Πίνακας 29. Κατάλογος συμβολισμών για το μοντέλο ίσου επιμερισμού χρηματοοικονομικού κινδύνου

Σύμβολο	Περιγραφή	
N	Πεπερασμένο σύνολο παικτών	$N = \{1,2,3,\dots, n\}$
c_i	Κόστος που αναλαμβάνεται ανεξάρτητα από τον παίκτη i	$i \in N$, i.e. $i = 1,2,\dots, n$
R	Συνολικά έσοδα συνασπισμού	Επιμερίζονται μεταξύ όλων
C	Υπολοιπόμενο κόστος	Επιμερίζεται μεταξύ όλων
R_i	Ποσοστό επιμερισμού-εσόδων για τον παίκτη i	$R_i \in (0,1)$, $\sum_{i=1}^n R_i = 1$
C_i	Ποσοστό επιμερισμού-κόστους για τον παίκτη i	$\sum_{i=1}^n C_i = 1$
P_i	Κέρδος που επιμερίζεται στον παίκτη i	$P_i = RR_i - CC_i - c_i, \forall i \in N$
Π	Κατανομές πιθανότητας εσόδων και επιμεριζόμενου κόστους R, C	$\Pi_R(\mu_R, \sigma_R^2), \Pi_C(\mu_C, \sigma_C^2)$
P_i	Κατανομές πιθανότητας εσόδων	$P_i = (\Pi_R R_i, \Pi_C C_i, c_i)$
μ_i	Αναμενόμενη (μέση) τιμή κερδών	$\mu_i = \mu_R R_i - \mu_C C_i - c_i, \forall i \in N$
Διαστήματα εμπιστοσύνης	πιθανότητα:	$(\mu_i - \sigma_i \leq P_i \leq \mu_i + \sigma_i) \approx 0.6827$
	πιθανότητα:	$(\mu_i - 2\sigma_i \leq P_i \leq \mu_i + 2\sigma_i) \approx 0.9545$
	πιθανότητα:	$(\mu_i - 3\sigma_i \leq P_i \leq \mu_i + 3\sigma_i) \approx 0.9973$
Ίσος επιμερισμός χρηματοοικονομικού κινδύνου	$P_1(\mu_1, \sigma_1^2) \equiv P_2(\mu_2, \sigma_2^2) \equiv \dots \equiv P_n(\mu_n, \sigma_n^2) \Leftrightarrow \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n, \sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_n$	
$s(n)$	Αριθμός πιθανών λύσεων	$j = 1,2,3,\dots, s(n)$
S	Πεπερασμένο σύνολο λύσεων	$S = \{1,2,3,\dots, s(n)\}$
$r, c \in \mathbb{R}^N$	Λύσεις για τον ίσο επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου (ζεύγος διανυσμάτων)	$r^j = (R_1^j, R_2^j, \dots, R_n^j), c^j = (C_1^j, C_2^j, \dots, C_n^j), \forall j \in S$

Προκειμένου να υπολογίσουμε τις πιθανές λύσεις των ποσοστών επιμερισμού των εσόδων και του κόστους σε όλους τους παίκτες, προκειμένου να επιμερίζεται ισόποσα ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος, χρησιμοποιούμε μία προσέγγιση σύμφωνα με τη θεωρία των συνεργατικών παιγνίων. Αρχικά, εξετάζεται η περίπτωση με δύο παίκτες και στη συνέχεια η περίπτωση όπου ο μεγάλος-συνασπισμός αποτελείται από $n > 2$ παίκτες.

5.2.2.1 Μεγάλος-συνασπισμός με 2 παίκτες

Στη περίπτωση που ο μεγάλος-συνασπισμός αποτελείται από δύο παίκτες, δηλ. $N = \{1,2\}$, ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος ισομοιράζεται όταν ικανοποιείται η σχέση (5.4):

$$P_1(\mu_1, \sigma_1^2) \equiv P_2(\mu_2, \sigma_2^2) \Leftrightarrow \mu_1 = \mu_2, \sigma_1 = \sigma_2 \quad (5.4)$$

Στη συνέχεια, εξάγουμε το Θεώρημα 5.1:

Θεώρημα 5.1. Υπάρχει μία μοναδική λύση: $(R_1^*, R_2^*), (C_1^*, C_2^*)$, με την οποία ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος επιμερίζεται ίσα μεταξύ δύο παικτών.

5.2.2.2 Μεγάλος-συνασπισμός με $n > 2$ παίκτες

Η παιγνιοθεωρητική προσέγγιση χρησιμοποιείται όπως παρακάτω. Αρχικά, ο μεγάλος-συνασπισμός διαιρείται σε δύο συνασπισμούς, δηλ. σε $N_A = \{1,2,\dots,h\}$, και $N_B = \{h+1,h+2,\dots,n\}$, with: $1 \leq h < n$. Από τη σχέση (5.2), δεν υπάρχει κανένας συνασπισμός από παίκτες που δύναται να αποκλειστεί, καθώς όλοι είναι επικερδείς, δηλ. έκαστος παίκτης δύναται να τοποθετηθεί είτε στον πρώτο N_A είτε στον δεύτερο N_B συνασπισμό. Ωστόσο, ισχύει: $R_A + R_B = C_A + C_B = 1$. Σύμφωνα με αυτή τη κατάτμηση, εξάγουμε τα Θεωρήματα 5.2 και 5.3:

Θεώρημα 5.2. Για κάθε ζεύγος από μή-κενούς συνασπισμούς N_A, N_B , στους οποίους δύναται να διαρθεθεί ο μεγάλος-συνασπισμός N , υφίσταται μία μοναδική λύση: $(R_A^*, R_B^*), (C_A^*, C_B^*)$, σύμφωνα με την οποία ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος επιμερίζεται ίσα μεταξύ των συνασπισμών.

Θεώρημα 5.3. Ο αριθμός των πιθανών λύσεων $s(n)$, με τις οποίες ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος ισομοιράζεται μεταξύ όλων των παικτών, ισούται με τους συνδυασμούς των συνεχών κατατμήσεων του μεγάλου-συνασπισμού σε ζεύγη συνασπισμών, μέχρις ότου όλοι οι παίκτες να τοποθετηθούν σε μονήρεις συνασπισμούς: $\{\{1\},\{2\},\dots,\{n\}\}$. Συγκεκριμένα, ο αριθμός των πιθανών λύσεων $\forall n \geq 2$, δίνεται από τις σχέσεις (5.5) και (5.6), ανάλογα εάν ο n είναι περιττός ή άρτιος αριθμός, αντίστοιχα:

$$s(n) = \frac{n!}{(n-1)!} s(n-1) + \sum_{k=2}^{n-1} \frac{n!}{(n-k)!(k)!} s(n-k)s(k) \quad (5.5)$$

$$s(n) = \frac{n!}{(n-1)!} s(n-1) + \sum_{k=2}^{\frac{n-1}{2}} \frac{n!}{(n-k)!(k)!} s(n-k)s(k) + \frac{n!}{(\frac{n}{2}!)^2} (s(\frac{n}{2}))^2 (\frac{1}{2}) \quad (5.6)$$

5.2.2.3 Υπολογισμός πιθανών λύσεων

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο μεγάλος-συνασπισμός αποτελείται από ένα πεπερασμένο αριθμό παικτών και ο αριθμός των πιθανών λύσεων υπολογίζεται από τις σχέσεις (5.5) και (5.6), συμπεραίνουμε ότι υπάρχουν πεπερασμένες πιθανές λύσεις που ορίζουν τον ισομοιρασμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου. Ωστόσο, ο αριθμός των δυνατών λύσεων αυξάνεται με μεγάλο ρυθμό σε σ σχέση με την αύξηση του αριθμού των παικτών. Ειδικότερα, από την Απόδειξη του Θεωρήματος 5.1 λαμβάνουμε: $s(2)=1$, ενώ από την απόδειξη του Θεωρήματος 5.3 (αμφότερες οι Απόδειξεις παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.1), λαμβάνουμε: $s(3)=3$ και $s(4)=15$, οπότε για $n = 5,6,\dots,10$ υπολογίζουμε:

$$s(5) = \frac{5!}{4!} s(4) + \frac{5!}{3!2!} s(3)s(2) = 5(15) + 10(3)(1) = 105$$

$$s(6) = \frac{6!}{5!} s(5) + \frac{6!}{4!2!} s(4)s(2) + \frac{6!}{(3!)^2} (s(3))^2 (\frac{1}{2}) = 945$$

$$s(7) = \frac{7!}{6!} s(6) + \frac{7!}{5!2!} s(5)s(2) + \frac{7!}{4!3!} s(4)s(3) = 10,395$$

$$s(8) = \frac{8!}{7!} s(7) + \frac{8!}{6!2!} s(6)s(2) + \frac{8!}{5!3!} s(5)s(3) + \frac{8!}{(4!)^2} (s(4))^2 (\frac{1}{2}) = 135,135$$

$$s(9) = \frac{9!}{8!} s(8) + \frac{9!}{7!2!} s(7)s(2) + \frac{9!}{6!3!} s(6)s(3) + \frac{9!}{5!4!} s(5)s(4) = 2,027,025$$

$$s(10) = \frac{10!}{9!} s(9) + \frac{10!}{8!2!} s(8)s(2) + \frac{10!}{7!3!} s(7)s(3) + \frac{10!}{6!4!} s(6)s(4) +$$

$$\frac{10!}{(5!)^2} (s(5))^2 (\frac{1}{2}) = 34,429,425$$

Στο επόμενο Σχήμα 49, παρουσιάζεται ο κώδικας που δύναται να χρησιμοποιηθεί στο λογισμικό “Wolfram Research, Inc., Mathematica, Version 7.0, Champaign, IL (2008)” για τον ακριβή υπολογισμό των πιθανών λύσεων.

Επιπλέον, στον επόμενο Πίνακα 30 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για αριθμό παικτών $n = 2,3,4,\dots$, και 25. Στη συνέχεια, εξάγουμε τη Πρόταση 5.3.

Πρόταση 5.3. Τα ποσοστά επιμερισμού εσόδων-κόστους για ένα μεγάλο-συνασπισμό με πεπερασμένο αριθμό n παικτών, δύναται να υπολογιστεί μέσω της τυχαίας κατάτμησης του μεγάλου-συνασπισμού σε ζεύγη συνασπισμών για $n - 1$ φορές και τον υπολογισμό της μοναδικής λύσης για κάθε ένα συνασπισμό.

```
In[1]:= s[n_] := Piecewise[
    {
        {
            
$$\left\{ \frac{n!}{(n-1)!} s[n-1] + \sum_{k=2}^{\frac{n-1}{2}} \left( \frac{n!}{(n-k)! k!} s[n-k] s[k] \right), \right.$$

            
$$\frac{n-1}{2} \in \text{Integers} \ \&\& \ n \geq 3 \},$$

            {
            
$$\left\{ \frac{n!}{(n-1)!} s[n-1] + \sum_{k=2}^{\frac{n}{2}-1} \left( \frac{n!}{(n-k)! k!} s[n-k] s[k] \right) + \right.$$

            
$$\left. \frac{n!}{\left(\frac{n}{2}!\right)^2} s\left[\frac{n}{2}\right]^2 \frac{1}{2}, \frac{n}{2} \in \text{Integers} \ \&\& \ n \geq 4 \right\}$$

        }
    }, 1]
s[2]
```

Out[2]= 1

Σχήμα 49. Υπολογισμός πιθανών λύσεων με το λογισμικό Wolfram Research Mathematica 2008.

Πίνακας 30. Πιθανές λύσεις $s(n)$ για αριθμό παικτών $n = 2, 3, 4, \dots, 25$.

n	$s(n)$
$n = 2$	1
$n = 3$	3
$n = 4$	15
$n = 5$	105
$n = 6$	945
$n = 7$	10,395
$n = 8$	135,135
$n = 9$	2,027,025
$n = 10$	34,429,425
$n = 11$	654,729,075
$n = 12$	13,749,310,575
$n = 13$	31,623,414,225
$n = 14$	7,905,853,580,625
$n = 15$	213,458,046,676,875
$n = 16$	6,190,283,353,629,375
$n = 17$	191,898,783,962,510,625
$n = 18$	6,332,659,870,762,850,625
$n = 19$	221,643,095,476,699,771,875
$n = 20$	8,200,794,532,637,891,559,375
$n = 21$	319,830,986,772,877,770,815,625
$n = 22$	13,113,070,457,687,988,603,440,625
$n = 23$	563,862,029,680,583,509,947,946,875
$n = 24$	25,373,791,335,626,257,947,657,609,375
$n = 25$	1,192,568,192,774,434,123,539,907,640,625

5.2.3 Υπολογιστικός αλγόριθμος

Σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάζεται ένας υπολογιστικός αλγόριθμος που δύναται να χρησιμοποιηθεί για τον ισομοιρασμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου. Ειδικότερα, ο αλγόριθμος υπολογίζει μία συγκεκριμένη λύση για τον επιμερισμό του υπολοιπόμενου κόστους και των συνολικών εσόδων μεταξύ του συνόλου των παικτών, σύμφωνα με την οποία τα κέρδη για όλους τους παίκτες έχουν ίσες κατανομές πιθανότητας. Ο αλγόριθμος περιλαμβάνει οκτώ βασικά βήματα, όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

Βήμα 1: Υπολογισμός του κόστους που αναλαμβάνεται ανεξάρτητα από έκαστο παίκτη: $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ και εγγραφή μίας κανονικής κατανομής πιθανότητας στο υπολοιπόμενο κόστος C καθώς και στα συνολικά έσοδα R , που αμφότερα θα επιμεριστούν μεταξύ των παικτών: $\Pi_R(\mu_R, \sigma_R^2), \Pi_C(\mu_C, \sigma_C^2)$. Επιλογή ενός συγκεκριμένου διαστήματος εμπιστοσύνης: $(\mu \pm \sigma)$, ή $(\mu \pm 2\sigma)$, ή $(\mu \pm 3\sigma)$.

Βήμα 2: Τυχαία κατάτμηση του μεγάλου-συνασπισμού $N = \{1,2,3,\dots, n\}$ σε ένα ζεύγος συνασπισμών: $N_A = \{1,2,\dots, h\}, N_B = \{h+1, h+2,\dots, n\}$, με $1 \leq h < n$.

Βήμα 3: Ορισμός των εξισώσεων για τον υπολογισμό των κερδών:

$$P_A = \Pi_R R_A - \Pi_C C_A - \sum_{a=1}^h c_a \tag{5.7}$$

$$P_B = \Pi_R R_B - \Pi_C C_B - \sum_{b=h+1}^n c_b \tag{5.8}$$

Βήμα 4: Ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης Μόντε Κάρλο, στο οποίο τα Π_R, Π_C ορίζονται ως εισερχόμενα και τα P_A, P_B ως εξερχόμενα.

Βήμα 5: Χρήση της εξίσωσης (5.1) και εξέταση εναλλακτικών τιμών του $R_A \in (0,1)$. Συγκεκριμένα, για κάθε τιμή του R_A , το R_B και το C_A καθώς και το C_B (που μπορούν να λάβουν οποιαδήποτε τιμή ικανοποιώντας τη σχέση (5.1), λαμβάνουν διαφορετικές κάθε

φορά τιμές, προκειμένου να ικανοποιούν: $\frac{\mu_A}{\mu_B} = \frac{h}{n-h} = \frac{\mu_R R_A^* - \mu_C C_A^* - \sum_{a=1}^h c_a}{\mu_R R_B^* - \mu_C C_B^* - \sum_{b=h+1}^n c_b}$. Για κάθε

σενάριο R_A, C_A, R_B, C_B , εκτέλεση της προσομοίωσης Μόντε Κάρλο, ανάλυση των κατανομών πιθανότητας των P_A, P_B και υπολογισμός των κερδών των συνασπισμών στο επιλεγμένο διάστημα εμπιστοσύνης: $(\mu_A \pm \sigma_A) \& (\mu_B \pm \sigma_B)$, ή $(\mu_A \pm 2\sigma_A) \& (\mu_B \pm 2\sigma_B)$ ή $(\mu_A \pm 3\sigma_A) \& (\mu_B \pm 3\sigma_B)$. Ακολουθώντας διαδικασίες προσπάθειες (trial and error), επιλογή του σεναρίου: R_A, C_A, R_B, C_B που ικανοποιεί τη σχέση (5.9):

$$\frac{h}{n-h} - \frac{\mu_A}{\mu_B} = 0 = \frac{h}{n-h} - \frac{(\mu_A + 2\sigma_A) - (\mu_A - 2\sigma_A)}{(\mu_B + 2\sigma_B) - (\mu_B - 2\sigma_B)} \Leftrightarrow \frac{\mu_A}{\mu_B} = \frac{2\sigma_A + 2\sigma_A}{2\sigma_B + 2\sigma_B} \Leftrightarrow \frac{\mu_A}{\mu_B} = \frac{\sigma_A}{\sigma_B} \quad (5.9)$$

Αυτό το σενάριο είναι μία λύση: $(R_A^*, R_B^*), (C_A^*, C_B^*)$, που είναι μοναδική για τους συνασπισμούς N_A, N_B .

Βήμα 6: Χρήση της λύσης $(R_A^*, R_B^*), (C_A^*, C_B^*)$ και επανάληψη των Βημάτων 2 έως 4, δηλ.

τυχαία κατάτμηση των N_A, N_B σε δύο άλλα ζεύγη συνασπισμών που είναι τα N_{AA}, N_{AB} και N_{BA}, N_{BB} , αντίστοιχα. Ειδικότερα, το πρώτο ζεύγος συνασπισμών από τον N_A είναι: $N_{AA} = \{1, 2, \dots, k\}, N_{AB} = \{k+1, k+2, \dots, h\}$, με $1 \leq k < h$, και το δεύτερο ζεύγος συνασπισμών από το N_B αντίστοιχα είναι: $N_{BA} = \{h+1, h+2, \dots, m\}, N_{BB} = \{m+1, m+2, \dots, n\}$, όπου $h+1 \leq m < n$. Στη συνέχεια, υπολογισμών των μοναδικών σεναρίων: $(R_{AA}^*, R_{AB}^*), (C_{AA}^*, C_{AB}^*)$ που

ικανοποιεί το $\frac{k}{h-k} = \frac{\mu_{AA}}{\mu_{AB}} = \frac{\sigma_{AA}}{\sigma_{AB}}$, και $(R_{BA}^*, R_{BB}^*), (C_{BA}^*, C_{BB}^*)$ που ικανοποιεί το

$$\frac{m-h}{n-m} = \frac{\mu_{BA}}{\mu_{BB}} = \frac{\sigma_{BA}}{\sigma_{BB}}.$$

Τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται μέχρις ότου όλοι οι παίκτες να συγκροτήσουν μονήρεις συνασπισμούς, δηλ. εκτελούνται για $n-1$ φορές.

Βήμα 7: για κάθε παίκτη $i = 1, 2, 3, \dots, n$, πολλαπλασιασμός των ποσοστών επιμερισμού υπολοιπόμενου κόστους και συνολικών εσόδων των συνασπισμών στους οποίους ανήκει, προκειμένου να υπολογιστεί η λύση του συστήματος: $(R_1^*, R_2^*, R_2^*, \dots, R_n^*)$ και $(C_1^*, C_2^*, C_3^*, \dots, C_n^*)$.

Για παράδειγμα, τα ποσοστά επιμερισμού για τον παίκτη 5: $(R_5^*), (C_5^*)$, ο οποίος περιλαμβάνεται στους συνασπισμούς N_A, N_{AA}, N_{AAA} and N_{AAAB} , υπολογίζεται:

$$R_5^* = (R_A^*)(R_{AA}^*)(R_{AAA}^*)(R_{AAAB}^*), \text{ και } C_5^* = (C_A)(C_{AA})(C_{AAA})(C_{AAAB}).$$

Όπως φαίνεται, η λύση για τον μεγάλο-συνασπισμό είναι ένα ζεύγος διανυσμάτων $r, c \in \mathcal{R}^N$: $r = (R_1^*, R_2^*, R_2^*, \dots, R_n^*)$, $c = (C_1^*, C_2^*, C_2^*, \dots, C_n^*)$.

Βήμα 8: Χρήση των: $R_1^*, R_2^*, R_2^*, \dots, R_n^*$ και $C_1^*, C_2^*, C_3^*, \dots, C_n^*$ και εκτέλεση της προσομοίωσης Μόντε Κάρλο με τα κέρδη των παικτών $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ οριζόμενα ως τα εξερχόμενα του μοντέλου, προκειμένου να επαληθευτεί ότι:

$$\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n, \quad \sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_n \Leftrightarrow P_1 \equiv P_2 \equiv \dots \equiv P_n$$

5.2.4 Αριθμητικό παράδειγμα

Προκειμένου να επισημανθούν κάποια βασικά χαρακτηριστικά του προτεινόμενου μοντέλου, παρουσιάζεται ένα αριθμητικό παράδειγμα εφαρμογής του υπολογιστικού

αλγορίθμου.

5.2.4.1 Παραδοχές

Θεωρούμε ένα μεγάλο-συνασπισμό $N = \{1,2,3,4,5, 6,7,8,9\}$ με $n = 9$ παίκτες, οι οποίοι εξετάζουν τη συμμετοχή τους σε μία συγκεκριμένη επένδυση, αναλαμβάνοντας τμήματα του κόστους ανεξάρτητα, ενώ το υπολοιπόμενο κόστος C και τα συνολικά έσοδα R θα πρέπει να επιμεριστούν μέσω ενός κατάλληλου μηχανισμού επιμερισμού εσόδων-κόστους. Συγκεκριμένα, τα κόστη $c_1 = 900000$, $c_2 = 2550000$, $c_3 = 950000$, $c_4 = 880000$, $c_5 = 1200000$, $c_6 = 1050000$, $c_7 = 870000$, $c_8 = 1500000$, και $c_9 = 1200000$, αναλαμβάνονται από τους παίκτες 1,2, 3, ... , και 9, αντίστοιχα. Επιζητάμε τον ισομοιρασμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου μεταξύ του συνόλου των παικτών, δηλ. έναν κατάλληλο μηχανισμό, ώστε τα προκύπτοντα κέρδη για όλους τους παίκτες να έχουν ίσες κατανομές πιθανότητας. Τα επιμεριζόμενα έσοδα R και κόστος C ακολουθούν κανονικές κατανομές πιθανότητας:

$$\Pi_R(\mu_R = 50000000, \sigma_R = 4500000) \quad \text{και}$$

$$\Pi_C(\mu_C = 10000000, \sigma_C = 4300000) \quad , \text{ αντίστοιχα.}$$

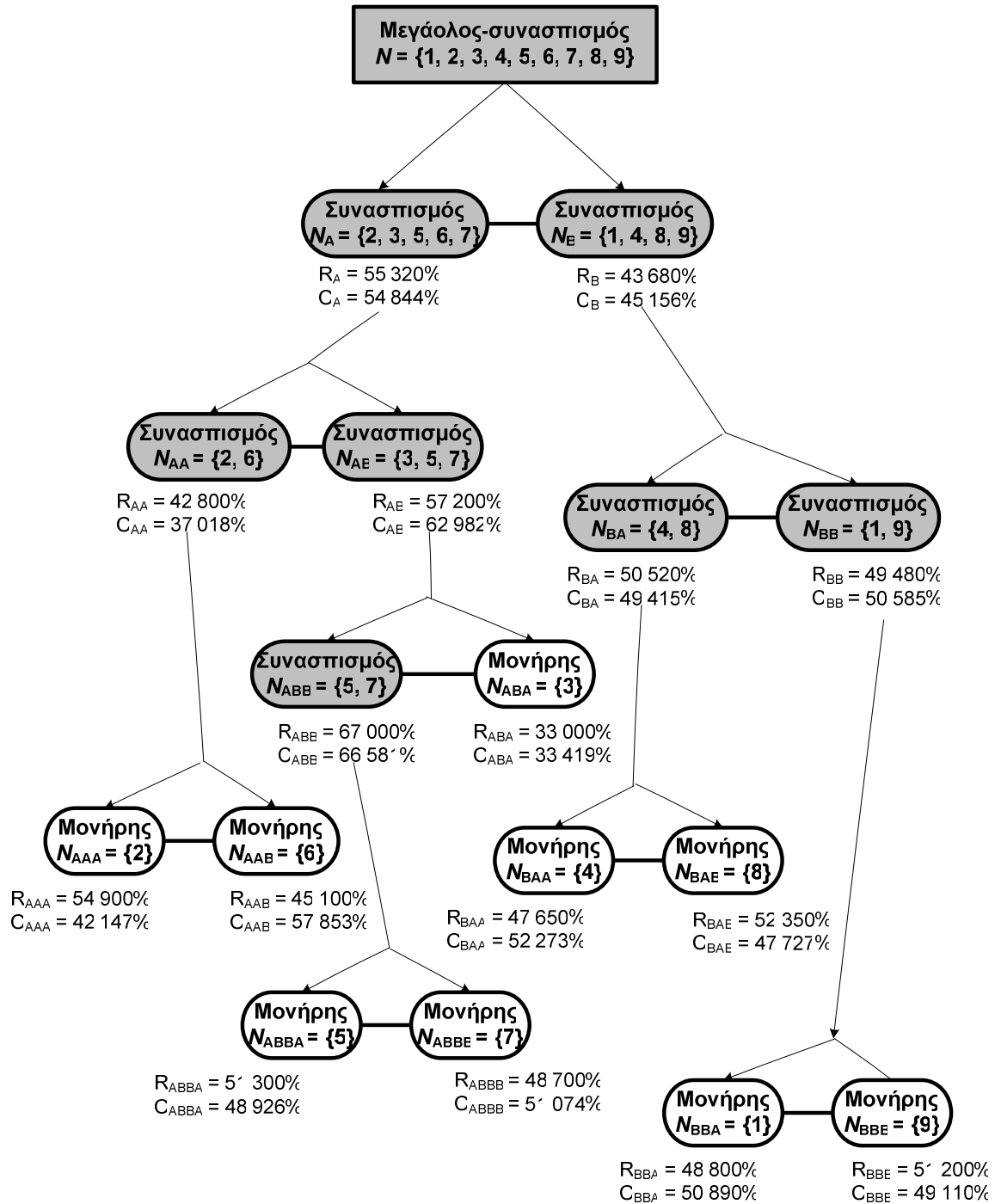
5.2.4.2 Πρώτη λύση

Χρησιμοποιούμε τον υπολογιστικό αλγόριθμο, εκτελούμε συνεχείς κατατμήσεις του μεγάλου-συνασπισμού σε ζεύγη μή-κενών συνασπισμών, ακολουθώντας συγκεκριμένους συνδυασμούς, οι οποίοι παρουσιάζονται στο επόμενο Σχήμα 50. Σύμφωνα με τις σχέσεις (5.5) και (5.6) που περιλαμβάνονται στο Θεώρημα 5.3, καθώς και τους υπολογισμούς που φαίνονται στον Πίνακα 30, αυτό το σύνολο των κατατμήσεων είναι ένας από τους 2027025 πιθανούς συνδυασμούς για τις κατατμήσεις που δύναται να εκτελεστούν στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπου ο αριθμός των παικτών είναι $n = 9$.

Αρχικά, ακολουθούμε τα βήματα 2 έως και 4 του αλγορίθμου, δηλ. διαιρούμε το μεγάλο-συνασπισμό N σε δύο συνασπισμούς: $N_A = \{2,3,5,6,7\}$, και $N_B = \{1,4,8,9\}$ και υπολογίζουμε τη μοναδική λύση για το συγκεκριμένο ζεύγος συνασπισμών: $(R_A^* = 55.320\%, R_B^* = 43.680\%)$, $(C_A^* = 54.844\%, C_B^* = 45.156\%)$. Σύμφωνα με τη Πρόταση 5.3, ακολουθούμε τα εν λόγω βασικά βήματα (2 έως και 4), για $n-1=8$ φορές, προκειμένου να υπολογίσουμε τη μοναδική και βέλτιστη λύση για το συγκεκριμένο σύνολο συνδυασμών στις κατατμήσεις, το οποίο απεικονίζεται στο Σχήμα 50.

Συμβολίζουμε με: $(R_1^{*1}, R_2^{*1}, \dots, R_9^{*1}), (C_1^{*1}, C_2^{*1}, \dots, C_9^{*1})$ τη πρώτη λύση, δηλ. τον πρώτο μηχανισμό επιμερισμού εσόδων-κόστους, ο υπολογισμός του οποίου εκτελείται όπως στον Πίνακα 31 .

Όπως φαίνεται, τα ποσοστά επιμερισμού εσόδων-κόστους για κάθε παίκτη, προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των αντίστοιχων ποσοστών των συνασπισμών, στους οποίους περιλαμβάνεται ο παίκτης. Για παράδειγμα, τα ποσοστά επιμερισμού εσόδων-κόστους για τον παίκτη 7, $(R_7^{*1}), (C_7^{*1})$, ο οποίος περιλαμβάνεται στους N_A , N_{AB} , N_{ABB} και N_{ABBB} συνασπισμούς, υπολογίζονται ως εξής:



Σχήμα 50. Πρώτη λύση του υπολογιστικού αλγορίθμου

$$\begin{aligned}
 (R_7^* &= (R_A)(R_{AB})(R_{ABB})(R_{ABBB})) & (R_7^* &= (55.320\%)(57.200\%)(67.000\%)(48.700\%)) \\
 (C_7^* &= (C_A)(C_{AB})(C_{ABB})(C_{ABBB})) & \Leftrightarrow (C_7^* &= (54.844\%)(62.982\%)(66.581\%)(51.074\%)) \Leftrightarrow \\
 (R_7^* &= 10.5114\%), (C_7^* &= 11.7461\%)
 \end{aligned}$$

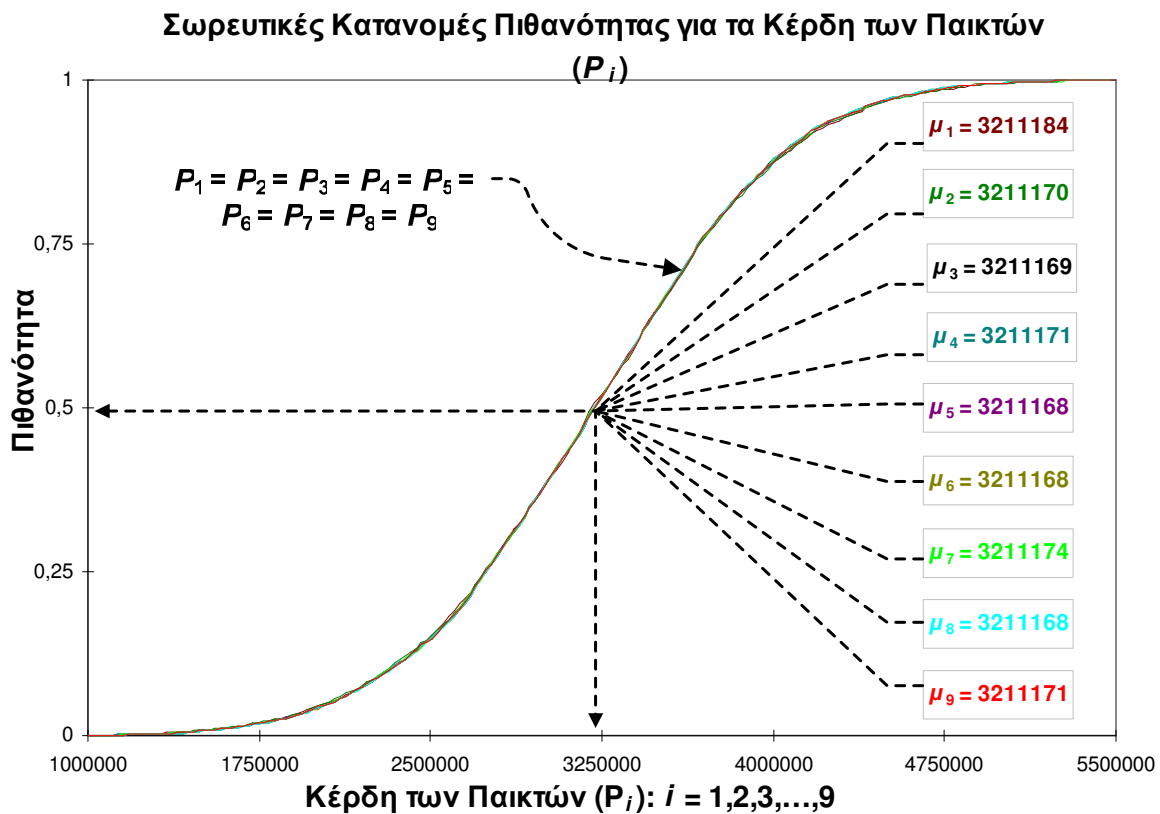
Πίνακας 31. Πρώτη λύση για τον μηχανισμό επιμερισμού εσόδων-κόστους $(R_i^1), (C_i^1)$

i	Υπολογισμοί	R_i^{*1}	Υπολογισμοί	C_i^{*1}
$i = 1$	$R_B R_{BB} R_{BBA}$	10.54%	$C_B C_{BB} C_{BBA}$	11.62%
$i = 2$	$R_A R_{AA} R_{AAA}$	13.23%	$C_A C_{AA} C_{AAA}$	8.55%
$i = 3$	$R_A R_{AB} R_{ABA}$	10.63%	$C_A C_{AB} C_{ABA}$	11.54%
$i = 4$	$R_B R_{BA} R_{BAA}$	10.51%	$C_B C_{BA} C_{BAA}$	11.66%
$i = 5$	$R_A R_{AB} R_{ABB} R_{ABBA}$	11.07%	$C_A C_{AB} C_{ABB} C_{ABBA}$	11.25%
$i = 6$	$R_A R_{AA} R_{AAB}$	10.87%	$C_A C_{AA} C_{AAB}$	11.74%
$i = 7$	$R_A R_{AB} R_{ABB} R_{ABBB}$	10.51%	$C_A C_{AB} C_{ABB} C_{ABBB}$	11.74%
$i = 8$	$R_B R_{BA} R_{BAB}$	11.55%	$C_B C_{BA} C_{BAB}$	10.64%
$i = 9$	$R_B R_{BB} R_{BBB}$	11.06%	$C_B C_{BB} C_{BBB}$	11.21%
	$\sum_{i=1}^9 R_i$	100.0%	$\sum_{i=1}^9 C_i$	100.0%

Στη συνέχεια, σύμφωνα με το Βήμα 7 του προτεινόμενου αλγορίθμου, τα παραπάνω αποτελέσματα που αφορούν στα ποσοστά επιμερισμού εσόδων-κόστους για το σύνολο των παικτών, επαληθεύονται. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται τα $R_1^{*1}, R_2^{*1}, \dots, R_9^{*1}$ και $C_1^{*1}, C_2^{*1}, \dots, C_9^{*1}$ του παραπάνω Πίνακα, καθώς και τα Π_R, Π_C και τα $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8, c_9$ ως εισερχόμενα, ενώ τα κέρδη των παικτών: $P_1, P_2, P_3, \dots, P_9$ ως τα εξερχόμενα ενός άλλου μοντέλου προσομοίωσης Μόντε Κάρλο: $P_i = RR_i^1 - CC_i^1 - c_i$.

Η προσομοίωση εκτελείται με 5000 επαναλήψεις και υπολογίζει τις συναρτήσεις σωρευτικών κατανομών πιθανοτήτων για τα κέρδη των παικτών, δηλ. τις $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8,$ και P_9 , για τους παίκτες $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,$ και 9 , αντίστοιχα. Αυτές οι συναρτήσεις απεικονίζονται στο επόμενο Σχήμα 51, και επαληθεύουν ότι όλοι οι παίκτες λαμβάνουν ίσα αναμενόμενα κέρδη: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_9 = 3,211,170$

Σύμφωνα με την ανάλυση των συναρτήσεων σωρευτικών κατανομών πιθανοτήτων των παικτών στα ίδια διαστήματα εμπιστοσύνης: $\mu_i \pm \sigma_i, \mu_i \pm 2\sigma_i,$ και $\mu_i \pm 3\sigma_i,$ προκύπτουν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 32. Όπως φαίνεται, οι πιθανότητες για τα κέρδη όλων των παικτών P_i (όπου $i = 1, 2, 3, \dots, 9$), να λάβουν τιμές στα διαστήματα: $[2520000, 3900000], [1830000, 4590000],$ και $[1140000, 5280000]$ είναι ίσες: 68.7%, 95.6%, και 99.7%, αντίστοιχα, οπότε προκύπτει ότι η πρώτη λύση δίνει: $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \dots = \sigma_9.$



Σχήμα 51. Συναρτήσεις σωρευτικών κατανομών πιθανοτήτων των παικτών (Πρώτη Λύση)

Πίνακας 32. Πρώτη λύση (Ανάλυση των κερδών των παικτών στα διαστήματα εμπιστοσύνης)

	$\mu_i \pm \sigma_i$	$\mu_i \pm 2\sigma_i$	$\mu_i \pm 3\sigma_i$
	Πιθανότητα για τα κέρδη P στα διαστήματα:		
Παίκτης	$2520000 \leq P_i \leq 3900000$	$1830000 \leq P_i \leq 4590000$	$1140000 \leq P_i \leq 5280000$
$i = 1$	68.69%	95.69%	99.70%
$i = 2$	67.99%	95.46%	99.70%
$i = 3$	68.70%	95.70%	99.70%
$i = 4$	68.88%	95.71%	99.70%
$i = 5$	68.69%	95.53%	99.69%
$i = 6$	68.68%	95.14%	99.69%
$i = 7$	68.84%	95.69%	99.69%
$i = 8$	68.98%	95.64%	99.70%
$i = 9$	68.88%	95.62%	99.70%

Κατά συνέπεια, από τη Πρόταση 5.2, προκύπτει ότι τα κέρδη που λαμβάνουν οι παίκτες έχουν ίσες κατανομές πιθανότητας $P_1 \equiv P_2 \equiv P_3 \equiv \dots \equiv P_9$, οπότε και τεκμαίρεται

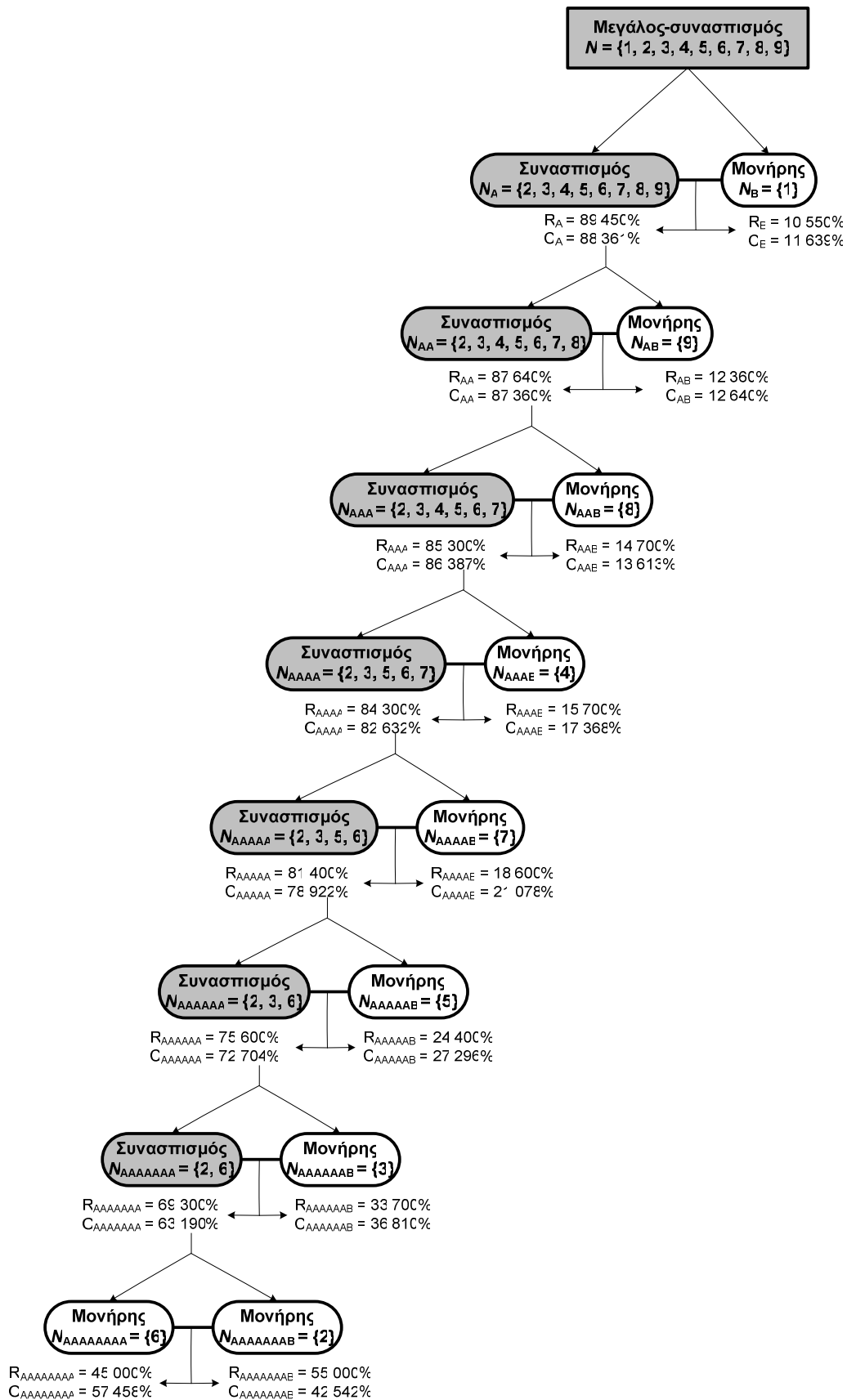
ότι ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος επιμερίζεται ισόποσα μεταξύ του συνόλου των παικτών $N = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$

5.2.4.3 Δεύτερη λύση

Ωστόσο, η πρώτη Λύση για τα ποσοστά επιμερισμού των εσόδων και του υπολοίπου κόστους, η οποία παρουσιάστηκε παραπάνω, είναι μία από τις 2027025 Λύσεις που δύναται να υπολογιστούν στη προκειμένη περίπτωση, σύμφωνα με τους πιθανούς συνδυασμούς για τις συνεχείς καταμήσεις του μεγάλου συνασπισμού των 9 παικτών σε ζεύγη συνασπισμών για $n - 1 = 8$ φορές. Για παράδειγμα, εάν ακολουθήσουμε ένα διαφορετικό σύνολο καταμήσεων σύμφωνα με τον υπολογιστικό αλγόριθμο, όπως φαίνεται στο επόμενο Σχήμα 52, τότε υπολογίζουμε μία δεύτερη Λύση, δηλ: $(R_1^{*2}, R_2^{*2}, \dots, R_9^{*2})$ και $(C_1^{*2}, C_2^{*2}, \dots, C_9^{*2})$. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τη δεύτερη Λύση απεικονίζονται στο παρακάτω Πίνακα 33.

Πίνακας 33. Δεύτερη λύση για τον μηχανισμό επιμερισμού εσόδων-κόστους $(R_i^{*2}), (C_i^{*2})$

i	Υπολογισμοί	R_i^{*2}	Υπολογισμοί	C_i^{*2}
$i = 1$	R_B	10.55%	C_B	11.64%
$i = 2$	$R_A R_{AA} R_{AAA} R_{AAAA} R_{AAAAA}$ $R_{AAAAA} R_{AAAAAA} R_{AAAAAAB}$	13.22%	$C_A C_{AA} C_{AAA} C_{AAAA} C_{AAAAA}$ $C_{AAAAA} C_{AAAAAA} C_{AAAAAAB}$	8.50%
$i = 3$	$R_A R_{AA} R_{AAA} R_{AAAA} R_{AAAAA}$ $R_{AAAAA} R_{AAAAAAB}$	10.65%	$C_A C_{AA} C_{AAA} C_{AAAA} C_{AAAAA}$ $C_{AAAAA} C_{AAAAAAB}$	11.64%
$i = 4$	$R_A R_{AA} R_{AAA} R_{AAAB}$	10.50%	$C_A C_{AA} C_{AAA} C_{AAAB}$	11.58%
$i = 5$	$R_A R_{AA} R_{AAA} R_{AAAA} R_{AAAAA}$ R_{AAAAAB}	11.20%	$C_A C_{AA} C_{AAA} C_{AAAA} C_{AAAAA}$ C_{AAAAAB}	11.87%
$i = 6$	$R_A R_{AA} R_{AAA} R_{AAAA} R_{AAAAA}$ $R_{AAAAA} R_{AAAAAA} R_{AAAAAAA}$	10.82%	$C_A C_{AA} C_{AAA} C_{AAAA} C_{AAAAA}$ $C_{AAAAA} C_{AAAAAA} C_{AAAAAAA}$	11.48%
$i = 7$	$R_A R_{AA} R_{AAA} R_{AAAA} R_{AAAAAB}$	10.49%	$C_A C_{AA} C_{AAA} C_{AAAA} C_{AAAAAB}$	11.61%
$i = 8$	$R_A R_{AA} R_{AAB}$	11.52%	$C_A C_{AA} C_{AAB}$	10.51%
$i = 9$	$R_A R_{AB}$	11.06%	$C_A C_{AB}$	11.17%
	$\sum_{i=1}^9 R_i$	100.0%	$\sum_{i=1}^9 C_i$	100.0%



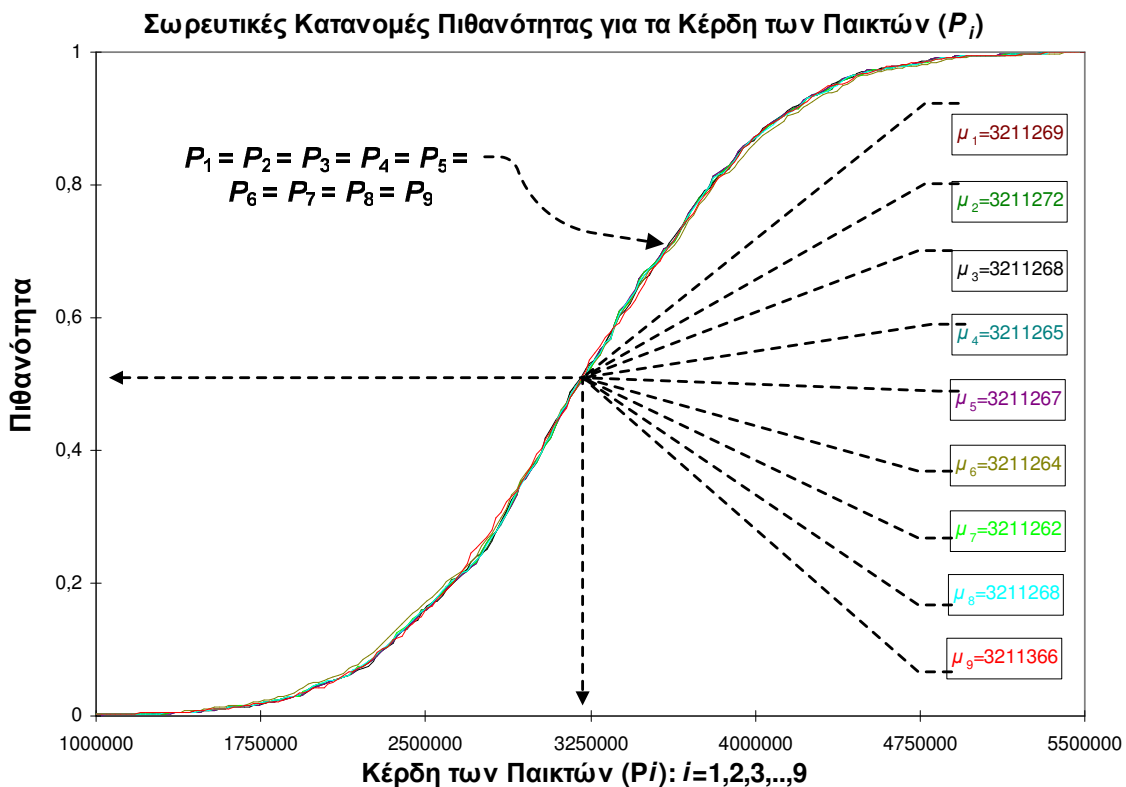
Σχήμα 52. Δεύτερη λύση του υπολογιστικού αλγορίθμου

Σύμφωνα με το Θεώρημα 5.3, αναμένουμε ότι η πρώτη και δεύτερη λύσεις θα είναι διαφορετικές. Αυτό επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους Πίνακες 31 και 33. Όπως φαίνεται, τα ποσοστά επιμερισμού των εσόδων και του υπολοιπούμενου κόστους είναι διαφορετικά για όλους τους παίκτες μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης λύσης: $(R_i^{*1}) \neq (R_i^{*2}), \& (C_i^{*1}) \neq (C_i^{*2}), \forall i \in N, (i = 1,2,3,\dots, 9)$

Για παράδειγμα, τα ποσοστά επιμερισμού εσόδων-κόστους για τον παίκτη 3 ($l = 3$) : $(R_3^{*1}) = (10.63\%) \neq (R_3^{*2}) = (10.65\%)$, και $(C_3^{*1}) = (11.54\%) \neq (C_3^{*2}) = (11.64\%)$

Εντούτοις, εάν χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα $R_1^{*2}, R_2^{*2}, \dots, R_9^{*2}$, και τα $C_1^{*2}, C_2^{*2}, \dots, C_9^{*2}$, καθώς και τα Π_R, Π_C και $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_8, c_9$, ως εισερχόμενα ενώ τα κέρδη των παικτών: P_1, P_2, \dots, P_9 οριστούν ως εξερχόμενα σε ένα μοντέλο προσομοίωσης Μόντε Κάρλο, σύμφωνα με τη σχέση: $P_i = RR_i^2 - CC_i^2 - c_i$, τότε από τη προσομοίωση προκύπτουν οι συναρτήσεις σωρευτικών κατανομών πιθανότητας που απεικονίζονται στο παρακάτω Σχήμα 53.

Σύμφωνα με τις κατανομές πιθανότητας για τα κέρδη των παικτών, οι οποίες απεικονίζονται στα Σχήματα 51 και 53, καθώς και με τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις στα διαστήματα εμπιστοσύνης που παρουσιάζονται στο Πίνακα 32 και τον επόμενο Πίνακα 34, για τη πρώτη και δεύτερη λύση αντίστοιχα, τα κέρδη για όλους τους παίκτες έχουν ίσες μέσες τιμές: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_9 = 3,211,170$ και ίσες τυπικές αποκλίσεις $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \dots = \sigma_9$, σε αμφότερες τις λύσεις.



Σχήμα 53. Συναρτήσεις σωρευτικών κατανομών πιθανοτήτων των παικτών (Δεύτερη Λύση)

Πίνακας 34. Δεύτερη λύση (Ανάλυση των κερδών των παικτών στα διαστήματα εμπιστοσύνης)

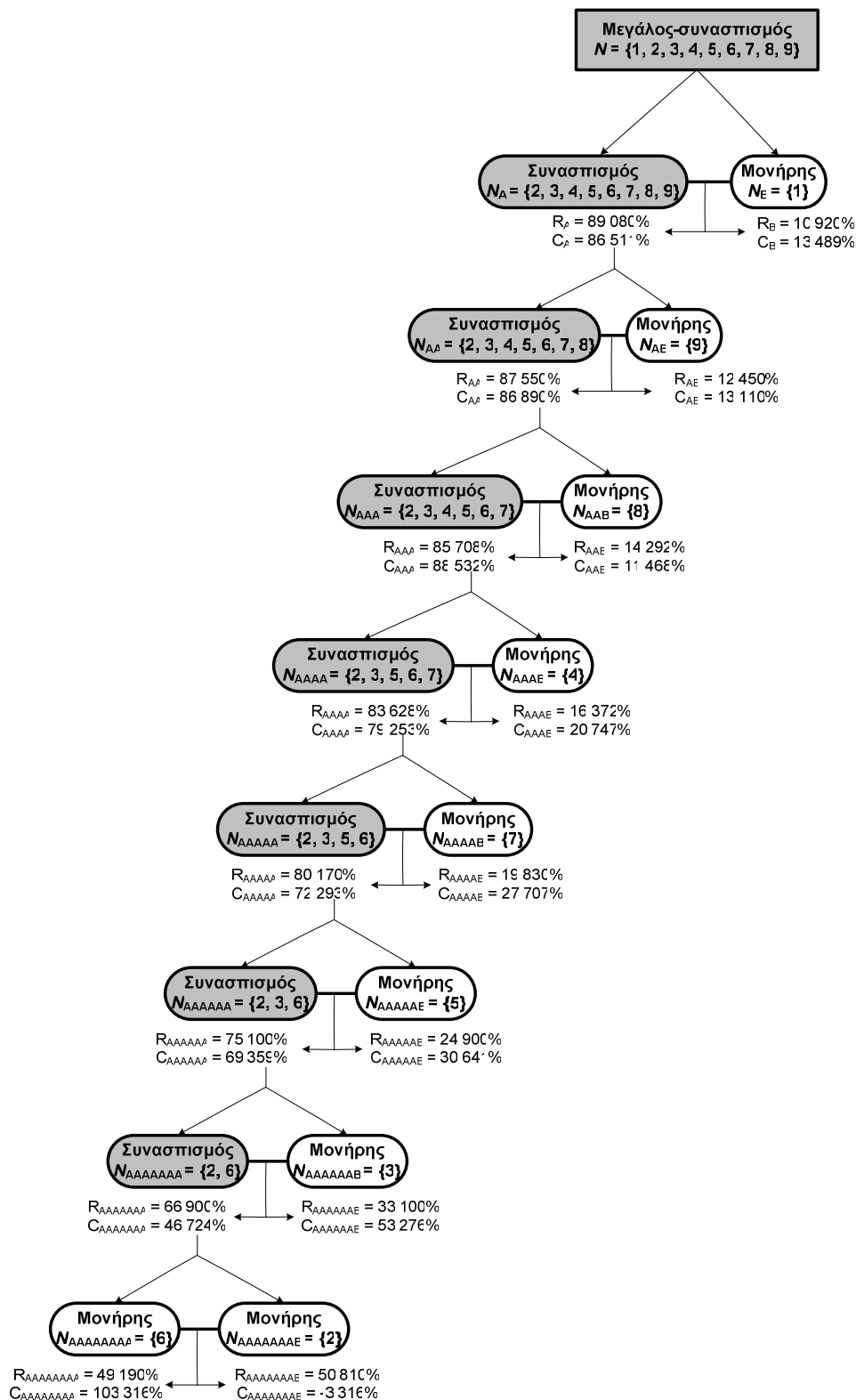
	$\mu_i \pm \sigma_i$	$\mu_i \pm 2\sigma_i$	$\mu_i \pm 3\sigma_i$
	Πιθανότητα για τα κέρδη P στα διαστήματα:		
Παίκτης	$2520000 \leq P_i \leq 3900000$	$1830000 \leq P_i \leq 4590000$	$1140000 \leq P_i \leq 5280000$
$i = 1$	69.99%	95.70%	99.90%
$i = 2$	69.39%	95.60%	99.83%
$i = 3$	69.81%	95.59%	99.81%
$i = 4$	69.69%	95.96%	99.87%
$i = 5$	68.53%	95.95%	99.93%
$i = 6$	68.03%	95.92%	99.80%
$i = 7$	68.45%	95.74%	99.88%
$i = 8$	69.91%	95.67%	99.87%
$i = 9$	69.86%	95.66%	99.79%

Κατά συνέπεια, επιβεβαιώνεται ότι τόσο η πρώτη όσο και η δεύτερη Λύσεις δύναται να χρησιμοποιηθούν ως μηχανισμοί επιμερισμού εσόδων-κόστους, καθώς ισομοιράζουν τον χρηματοοικονομικό κίνδυνο μεταξύ όλων των παικτών.

5.2.5 Ανάλυση

Στο προηγούμενο παράδειγμα, υποθέσαμε ότι τα επιμεριζόμενα έσοδα R και το υπολοιπόμνο κόστος C που επίσης επιμερίζεται, ακολουθούν συγκεκριμένες κανονικές κατανομές πιθανότητας: $\Pi_R(\mu_R = 50000000, \sigma_R = 4500000)$, και $\Pi_C(\mu_C = 10000000, \sigma_C = 4300000)$. Ωστόσο, στη περίπτωση που τα επιμεριζόμενα έσοδα και κόστος ακολουθούν διαφορετικές κατανομές πιθανοτήτων, δηλ. έχουν τις ίδιες σε σχέση με πριν μέσες τιμές, πλην όμως έχουν μικρότερες διακυμάνσεις, τότε οι μηχανισμοί επιμερισμού εσόδων-κόστους θα είναι διαφορετικοί. Για παράδειγμα, εγγράφουμε αρχικά στα έσοδα και το υπολοιπόμνο κόστος τις παρακάτω κανονικές κατανομές πιθανότητας: $\Pi_R(\mu_R = 50000000, \sigma_R = 2150000)$, και $\Pi_C(\mu_C = 10000000, \sigma_C = 430000)$, αντίστοιχα. Σύμφωνα με αυτές τις κατανομές, εάν χρησιμοποιήσουμε τον υπολογιστικό αλγόριθμο χρησιμοποιώντας τους ίδιους συνδυασμούς για τις κατατμήσεις του μεγάλου-συνασπισμού σε ζεύγη συνασπισμών, όπως στη δεύτερη Λύση του προηγούμενου παραδείγματος, τότε προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα για κάθε συνασπισμό, όπως φαίνεται στο επόμενο Σχήμα 54.

Από τα αποτελέσματα αυτά, προκύπτουν οι υπολογισμοί των ποσοστών εσόδων-κόστους για έκαστο παίκτη, μέσω του γινομένου των αντίστοιχων ποσοστών των συνασπισμών στους οποίους ο παίκτης υπάγεται. Οι εν λόγω υπολογισμοί, παρουσιάζονται στον Πίνακα 35. Σύμφωνα με αυτά τα αποτελέσματα, η προσομοίωση Μόντε Κάρλο που



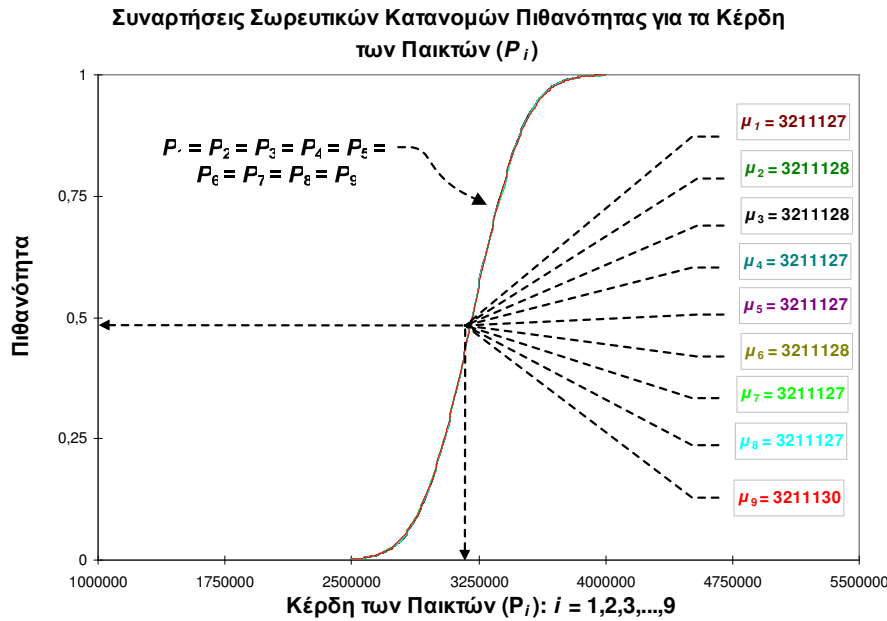
Σχήμα 54. Λύση του υπολογιστικού αλγορίθμου για διαφορετικές κατανομές πιθανότητας των εσόδων και του υπολοιπόμενου κόστους

εκτελείται στο 8ο Βήμα του υπολογιστικού αλγορίθμου, δίνει τις συναρτήσεις σωρευτικών κατανομών πιθανότητας των κερδών για όλους τους παίκτες, οι οποίες απεικονίζονται στο επόμενο Σχήμα 55.

Πίνακας 35. Λύση για το μηχανισμό επιμερισμού εσόδων-κόστους $(R_i^*), (C_i^*)$ για διαφορετικές κατανομές πιθανότητας των εσόδων και του υπολοιπούμενου κόστους

i	Υπολογισμοί	R_i^*	Υπολογισμοί	C_i^*
$i = 1$	R_B	10.92%	C_B	13.48%
$i = 2$	$R_A R_{AA} R_{AAA} R_{AAAA} R_{AAAAA}$ $R_{AAAAAA} R_{AAAAAAA} R_{AAAAAAB}$	11.44%	$C_A C_{AA} C_{AAA} C_{AAAA} C_{AAAAA}$ $C_{AAAAAA} C_{AAAAAAA} C_{AAAAAAB}$	-0.40%
$i = 3$	$R_A R_{AA} R_{AAA} R_{AAAA} R_{AAAAA}$ $R_{AAAAAA} R_{AAAAAAB}$	11.14%	$C_A C_{AA} C_{AAA} C_{AAAA} C_{AAAAA}$ $C_{AAAAAA} C_{AAAAAAB}$	14.08%
$i = 4$	$R_A R_{AA} R_{AAA} R_{AAAB}$	10.94%	$C_A C_{AA} C_{AAA} C_{AAAB}$	13.80%
$i = 5$	$R_A R_{AA} R_{AAA} R_{AAAA} R_{AAAAA}$ $R_{AAAAAAB}$	11.15%	$C_A C_{AA} C_{AAA} C_{AAAA} C_{AAAAA}$ $C_{AAAAAAB}$	11.68%
$i = 6$	$R_A R_{AA} R_{AAA} R_{AAAA} R_{AAAAA}$ $R_{AAAAAA} R_{AAAAAAA} R_{AAAAAAB}$	11.07%	$C_A C_{AA} C_{AAA} C_{AAAA} C_{AAAAA}$ $C_{AAAAAA} C_{AAAAAAA} C_{AAAAAAB}$	12.76%
$i = 7$	$R_A R_{AA} R_{AAA} R_{AAAA} R_{AAAAA}$ $R_{AAAAAAB}$	11.08%	$C_A C_{AA} C_{AAA} C_{AAAA} C_{AAAAA}$ $C_{AAAAAAB}$	14.61%
$i = 8$	$R_A R_{AA} R_{AAB}$	11.14%	$C_A C_{AA} C_{AAB}$	8.62%
$i = 9$	$R_A R_{AB}$	11.09%	$C_A C_{AB}$	11.34%
	$\sum_{i=1}^9 R_i$	100.0%	$\sum_{i=1}^9 C_i$	100.0%

Περαιτέρω, οι αναλύσεις των συναρτήσεων σωρευτικών κατανομών πιθανοτήτων στα διαστήματα εμπιστοσύνης παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 36. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν την αποτελεσματικότητα του υπολογιστικού αλγορίθμου, καθώς και στο σενάριο με τις διαφορετικές κατανομές πιθανότητας των επιμεριζόμενων εσόδων και του κόστους (ίδιες μέσες τιμές και διαφορετικές διακυμάνσεις), ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος ισομοιράζεται, καθώς όλοι οι παίκτες έχουν ίσες πιθανότητες για μεγαλύτερα ή μικρότερα κέρδη σε σχέση με τη μέση τιμή αυτών. Αξιοσημείωτο πάντως είναι ότι όταν τα επιμεριζόμενα έσοδα και κόστος έχουν μικρότερες τυπικές αποκλίσεις (άρα και διακυμάνσεις), τότε σύμφωνα με τα προκύπτοντα από τον αλγόριθμο αποτελέσματα, οι κατανομές πιθανοτήτων των κερδών για το σύνολο των παικτών θα έχουν επίσης μικρότερες τυπικές αποκλίσεις.



Σχήμα 55. Συναρτήσεις σωρευτικών κατανομών πιθανοτήτων των παικτών για διαφορετικές κατανομές πιθανότητας των εσόδων και του υπολοιπούμενου κόστους

Αυτό φαίνεται στον επόμενο Πίνακα 36, ο οποίος παρουσιάζει τις αναλύσεις των σωρευτικών κατανομών πιθανοτήτων στα ίδια διαστήματα εμπιστοσύνης: $\mu_i \pm \sigma_i$, $\mu_i \pm 2\sigma_i$, και $\mu_i \pm 3\sigma_i$. Συγκεκριμένα, υφίστανται ίσες πιθανότητες: 68.7%, 95.6%, και 99.7%, για τα κέρδη των παικτών P_i να λάβουν τιμές στα διαστήματα: $[2967000,3450000]$, $[2720000,3700000]$, και $[2475000,3945000]$, αντίστοιχα.

Πίνακας 36. Ανάλυση των κερδών των παικτών στα διαστήματα εμπιστοσύνης για διαφορετικές κατανομές πιθανότητας των εσόδων και του υπολοιπούμενου κόστους

	$\mu_i \pm \sigma_i$	$\mu_i \pm 2\sigma_i$	$\mu_i \pm 3\sigma_i$
Πιθανότητα για τα κέρδη P στα διαστήματα:			
Παίκτης	$2967000 \leq P_i \leq 3450000$	$2720000 \leq P_i \leq 3700000$	$2475000 \leq P_i \leq 3945000$
$i = 1$	68.02%	95.69%	99.70%
$i = 2$	67.64%	95.46%	99.70%
$i = 3$	68.22%	95.70%	99.70%
$i = 4$	67.94%	95.71%	99.70%
$i = 5$	67.90%	95.53%	99.69%
$i = 6$	68.00%	95.14%	99.69%
$i = 7$	68.00%	95.69%	99.69%
$i = 8$	68.98%	95.64%	99.70%
$i = 9$	68.88%	95.62%	99.70%

Συμπερασματικά, ο υπολογιστικός αλγόριθμος δίνει τα επιθυμητά αποτελέσματα σε

αμφότερα το πρώτο και το δεύτερο παράδειγμα, δηλ. υπολογίζει τον μηχανισμό επιμερισμό εσόδων-κόστους, που απεικονίζει τα ποσοστά επί των εσόδων και επί του υπολοιπόμενου κόστους που αντιστοιχούν σε έκαστο παίκτη, ώστε ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος να ισομοιράζεται μεταξύ όλων. Επισημαίνεται ότι οι συνδυασμοί που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις καταμήσεις του μεγάλου-συνασπισμού στα παραπάνω παραδείγματα, επιλέχθηκαν τυχαία, όπως άλλωστε ορίζει το δεύτερο Βήμα του αλγορίθμου.

5.2.6 Συμπεράσματα

Σε περιπτώσεις όπου ανεξάρτητοι παίκτες εξετάζουν τη συμμετοχή τους σε ένα μεγάλο-συνασπισμό, γεγονός που αποτελεί το κεντρικό θέμα εξέτασης των αποκεντρωμένων συστημάτων, ο συντονισμός δύναται να επιτευχθεί μέσω ενός κατάλληλου μηχανισμού επιμερισμού εσόδων-κόστους. Σε αυτή τη παράγραφο της Διατριβής, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο που εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου οι παίκτες αναλαμβάνουν τμήματα του συνολικού κόστους ανεξάρτητα και επιμερίζουν το υπολοιπόμενο κόστος καθώς και τα συνολικά έσοδα. Χρησιμοποιώντας την υπόθεση ότι οι παίκτες είναι πανομοιότυποι, δηλ. τα συνολικά κέρδη θα πρέπει να ισομοιραστούν μεταξύ των παικτών, αναπτύχθηκε μία παιγνιοθεωρητική προσέγγιση για τον ισομοιρασμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου. Η εν λόγω προσέγγιση περιλαμβάνει έναν υπολογιστικό αλγόριθμο, ο οποίος υπολογίζει λύσεις για τον μηχανισμό επιμερισμού εσόδων-κόστους, όπου έκαστη λύση είναι ένα ζεύγος διανυσμάτων $r, c \in \mathcal{R}^N$, που αντιπροσωπεύουν τα ποσοστά των επιμεριζόμενων εσόδων και του υπολοιπόμενου κόστους που αντιστοιχούν σε έκαστο παίκτη.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι στο βασικό μοντέλο που αναπτύχθηκε στη παρούσα παράγραφο, υφίσταται η υπόθεση ότι όλοι οι παίκτες που συμμετέχουν στον μεγάλο-συνασπισμό είναι πανομοιότυποι (δηλ. ικανοποιείται το αξίωμα της συμμετρίας), η ανάπτυξη ενός μοντέλου για καταστάσεις όπου οι παίκτες είναι ανόμοιοι αποτελεί το επόμενο ερευνητικό στάδιο. Εδικότερα, το εν λόγω μοντέλο θα πρέπει να βασιστεί σε μία λύση που μεγιστοποιεί τη προκύπτουσα από τη συνεργασία ωφέλεια για όλους τους παίκτες, διασφαλίζοντας τη δικαιοσύνη μεταξύ αυτών.

5.3 Δίκαιος (αναλογικός) επιμερισμός πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών σε πολλαπλούς παίκτες σύμφωνα με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash

5.3.1 Σύνοψη, δομή και πλαίσιο

Η δίκαιη κατανομή ενός πλεονάσματος είναι ένα από τα πλέον ευρέως εξεταζόμενα προβλήματα. Η παρούσα παράγραφος επικεντρώνεται στα προβλήματα διαπραγματεύσεων με σταθερές εξοφλήσεις διαφωνίας, όπου πολλαπλοί παίκτες με ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του κινδύνου έχουν ήδη επιτύχει μία συμφωνία που ικανοποιεί τα αξιώματα της λύσης διαπραγμάτευσης του Nash (Nash-bargaining solution: NBS). Θεωρούμε ένα στοχαστικό περιβάλλον, όπου η συνολική απόδοση αποτελείται από πολλαπλές πίτες με αβέβαια μεγέθη και εξετάζουμε πώς αυτές οι πίτες δύναται να επιμεριστούν δίκαια μεταξύ των παικτών. Ειδικότερα, η δικαιοσύνη βασίζεται στο απόφθεγμα του Αριστοτέλη: «*Ίσοι μεταχειρίζονται ίσα και άνισοι άνισα, σε αναλογία με την αντίστοιχη ανισότητα*». Σε αυτό το πλαίσιο, η δικαιοσύνη επιτυγχάνεται όταν τα στοχαστικά μερίδια του πλεονάσματος που επιμερίζονται ανεξάρτητα στους παίκτες ακολουθούν κατανομές πιθανότητας που είναι ανάλογες με τη NBS. Στις επόμενες παραγράφους εισάγεται μία καινοτόμος μέθοδος, η οποία δύναται να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του ποσοστού από κάθε πίδα που πρέπει να επιμεριστεί σε έκαστο παίκτη, προκειμένου να διασφαλιστεί η δικαιοσύνη στο πλαίσιο μίας συμμετρικής ή ασύμμετρης διαπραγματευτικής λύσης κατά Nash. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνεται η περιγραφή του βασικού προβλήματος, η παρουσίαση μίας καινοτόμου υπολογιστικής μεθόδου και η ανάλυση επί των πιθανών εφαρμογών αυτής.

5.3.1.1 Εισαγωγή

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η αποτελεσματική διαχείριση των συνεργατικών δομών παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, εξαιτίας της εφαρμογής της σε διάφορες πραγματικές περιπτώσεις. Γενικότερα, σε όλα τα είδη συνεργατικών δομών υπάρχει ένα θετικό πλεόνασμα περιλαμβανόμενο στη συνολική απόδοση, η οποία δύναται να αποτελείται από παραπάνω από μία πίτες. Για παράδειγμα, σε ένα δίκτυο εφοδιαστικών αλυσίδων με πολλαπλά σημεία παραγωγής που παράγουν διαφορετικά προϊόντα, τα κόστη παραγωγής και διανομής καθώς και τα κέρδη ανά μονάδα προϊόντος είναι ανόμοια. Επιπλέον, ένα σύστημα διαχείρισης υδάτων / ενέργειας / αποβλήτων συνήθως περιλαμβάνει τη συλλογή και διανομή ύδατος / ενέργειας / αποβλήτων που προέρχονται από διαφορετικές πηγές. Στις περισσότερες περιπτώσεις εξ'αυτών, οι πολλαπλές πίτες θα πρέπει να μοιραστούν μεταξύ ενός πεπερασμένου συνόλου παικτών, οι οποίοι λαμβάνουν συγκεκριμένες απολαβές εάν διαφωνήσουν ως προς τη συνεργασία, δηλ. μέσω της μή-συνεργατικής περίπτωσης. Επιπροσθέτως, εξαιτίας του ότι μία συνεταιριστική επιχείρηση συγκροτείται πριν πραγματωθεί το ακριβές μέγεθος κάθε πίας, οι εν λόγω πίτες δύναται να θεωρηθούν ως στοχαστικές μεταβλητές, δηλ. πίτες με αβέβαιο μέγεθος. Σε ένα τέτοιο στοχαστικό περιβάλλον με πολλαπλές πίτες και πολλαπλούς παίκτες, κύρια πρόκληση είναι η διασφάλιση της δικαιοσύνης, ειδικά όταν οι παίκτες έχουν ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του

κινδύνου και έχουν ήδη συνάψει μία συμφωνία για τη διαίρεση του συνολικού πλεονάσματος.

5.3.1.2 Δικαιοσύνη σε συνεργατικά παίγνια

Όπως αναλύθηκε εκτενώς στη βιβλιογραφική επισκόπηση, ο Αριστοτέλης καθιέρωσε τη βασική αρχή της δικαιοσύνης στα «Ηθικά Νικομάχεια». Ειδικότερα, υποστήριξε ότι οι ίσοι θα πρέπει να μεταχειρίζονται ίσα και οι άνισοι θα πρέπει να μεταχειρίζονται άνισα, σε αναλογία με τις ομοιότητες και τις διαφορές τους (Barnes, 1984; Binmore, 2001). Η περισσότερο ευρέως εφαρμοσμένη λύση για το διαπραγματευτικό πρόβλημα με σταθερές εξοφλήσεις διαφωνίας είναι η λύση διαπραγματεύσεως του Nash (1950) (Nash-bargaining solution, NBS). Η NBS περιλαμβάνει έναν αξιωματικό προσδιορισμό της λύσης για το διαπραγματευτικό παίγνιο μεταξύ δύο παικτών, που έχουν πλήρη ενημέρωση (Wong, 2010; Madani, 2011) και εξετάζουν το ενδεχόμενο συνεργασίας με τη διαίρεση ενός συγκεκριμένου πλεονάσματος. Αυτή η λύση, η οποία μπορεί εύκολα να επεκταθεί σε περισσότερα από δύο άτομα (Harsanyi, 1959; 1963), ικανοποιεί ένα σύνολο αξιωμάτων, τα οποία αναφέρονται επιγραμματικά καθώς έχουν ήδη αναλυθεί στο 2^ο Κεφάλαιο της Διατριβής: είναι γραμμικά αμετάβλητη και ανεξάρτητη από “άσχετες” εναλλακτικές (προστατεύεται από το μονότονο μετασχηματισμό των συναρτήσεων ωφέλειας των παικτών καθώς και τον αποκλεισμό των μη επιλεγμένων εναλλακτικών λύσεων από το σύνολο των διαπραγματευτικών λύσεων); Βελτιστότητα κατά Pareto (κάθε αλλαγή σε μία διαφορετική κατανομή που αυξάνει την ωφέλεια ενός παίκτη θα πρέπει να μειώνει την αντίστοιχη ωφέλεια ενός άλλου); εφικτότητα (το άθροισμα των μεριδίων που λαμβάνουν οι παίκτες δεν υπερβαίνει τη συνολική πίτα); και συμμετρία (οι επιμεριζόμενες ωφέλειες σε δύο πανομοιότυπους παίκτες είναι ίσες). Επιπλέον, η ασύμμετρη NBS εφαρμόζεται σε περιπτώσεις με ανόμοιους παίκτες (Kalai, 1977; Roth, 1979). Ο αντικειμενικός σκοπός αυτής της παραγράφου, είναι η εισαγωγή μίας καινοτόμου μεθόδου για τον υπολογισμό του ποσοστού έκαστης πίτας που πρέπει να επιμεριστεί σε έκαστο παίκτη, ώστε να διασφαλίζεται η δικαιοσύνη στο πλαίσιο μίας συγκεκριμένης λύσης NBS. Ο πλήρης κατάλογος των χρησιμοποιούμενων συμβολισμών παρουσιάζεται στον Πίνακα 37 και οι αποδείξεις των Θεωρημάτων και Προτάσεων δίνονται στο Παράρτημα Α και συγκεκριμένα στο Α.2.

5.3.2 Περιγραφή προβλήματος και μαθηματική διατύπωση

5.3.2.1 Παραδοχές

Θεωρούμε ένα πεπερασμένο αριθμό παικτών, με δείκτη i . Συμβολίζουμε με $N = \{1,2,3,\dots,n\}$ τον μεγάλο-συνασπισμό όλων των παικτών. Οι παρακάτω παραδοχές χρησιμοποιούνται στο σύνολο της παρούσας παραγράφου:

- **Παραδοχή 1.** Υπάρχει πλήρης ενημέρωση μεταξύ των παικτών, που εξετάζουν τη δυνατότητα συνεργασίας έχοντας συγκεκριμένες εξοφλήσεις διαφωνίας. Τούτο σημαίνει ότι εάν δεν επιτύχουν μία συμφωνία, τότε το δάνυσμα απολαβών τους θα είναι: (C_1, C_2, \dots, C_n) . Σε αυτή τη περίπτωση, οι αντικειμενικοί στόχοι των συμμετεχόντων είναι εν μέρει συνεργατικοί, καθώς στοχεύουν στην επίτευξη συμφωνίας, και εν μέρει συγκρουσιακοί,

Πίνακας 37. Κατάλογος συμβολισμών

Περιγραφή	Σύμβολο
Πεπερασμένο σύνολο n παικτών	$N = \{1,2,3,\dots, n\}$
Πεπερασμένο σύνολο m πιτών (στοχαστικές μεταβλητές)	$J = \{1,2,3,\dots, m\}$
Εξόφληση διαφωνίας του παίκτη i (εάν δεν επιτευχθεί συμφωνία, τότε το διάνυσμα εξόφλησης των παικτών είναι: (C_1, C_2, \dots, C_n))	$C_i, i \in N, \text{ i.e. } i = 1, 2, \dots, n$
Στοχαστική μεταβλητή j (ακολουθεί κανονική κατανομή πιθανότητας: $\sigma^j > 0, \mu^j > 0$ για πίτες που αντιπροσωπεύουν κέρδη και $\mu^j < 0$ για τις αντίστοιχες που αντιπροσωπεύουν ζημίες)	$\Pi^j(\mu^j, \sigma^{j^2})$
Συνολική απόδοση μεγάλου-συνασπισμού	$\sum_{j=1}^m \Pi^j$
Πλεόνασμα που επιμερίζεται	$S = \sum_{j=1}^m \Pi^j - \sum_{i=1}^n C_i$
Ποσοστό πίτας j που επιμερίζεται στον παίκτη i	p_i^j
Αποτελεσματικός επιμερισμός όλων των πιτών	$\sum_{i=1}^n p_i^j = 1, \forall j \in J$
Στοχαστικό ανεξάρτητο πλεόνασμα (μερίδιο) που επιμερίζεται στον παίκτη i	$\Pi_i = (\mu_i, \sigma_i^2) = \sum_{j=1}^m (\Pi^j p_i^j) - C_i$
Αναμενόμενη (μέση) τιμή του μεριδίου που επιμερίζεται στον παίκτη i	$\mu_i = (U_i)(\mu_N) = \sum_{j=1}^m (\mu^j p_i^j) - C_i$
Τυπική απόκλιση του μεριδίου του παίκτη i	σ_i
Διαπραγματευτική λύση του Nash: $U \in \mathbb{R}^N$	$(U_1, U_2, \dots, U_n), \quad 0 < U_i < 1$
Σύνολο συνασπισμών που περικλείουν τον παίκτη i , και προκύπτουν μέσω ενός συνόλου καταταμήσεων του μεγάλου-συνασπισμού N σε ζεύγη μη κενών για $n-1$ φορές.	π_i
Ποσοστό του υποσυνόλου πιτών που επιμερίζεται στον παίκτη i	$p_i^{\{1,\dots,g\}} = \prod_{k \in \pi_i} p_k^{\{1,\dots,g\}}$
Χαρακτηριστική συνάρτηση	$[P]_{n \times m} [II^j]_{m \times 1} - [C_i]_{1 \times 1} = S [U_i]_{1 \times 1} = [\Pi_i]_{1 \times 1}$

καθώς έκαστος παίκτης έχει τη δική του συνάρτηση ωφέλειας σχετικά με το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα (Binmore et al., 1989).

- **Παραδοχή 2.** Τα διάφορα κέρδη και οι ζημίες που αναμένεται να προκύψουν από τη συνεργασία, συνιστούν ένα πεπερασμένο σύνολο από πίτες $J = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ που ονομάζεται σύνολο-πιτών. Οι πίτες αυτές είναι διαιρετές και θα πρέπει να μοιραστούν μεταξύ των παικτών. Ωστόσο, εξαιτίας του ότι ο μεγάλος-συνασπισμός σχηματίζεται πριν το ακριβές μέγεθος της κάθε πίτας πραγματοποιηθεί, όλες οι πίτες θεωρούνται ως στοχαστικές μεταβλητές με αβέβαιο μέγεθος (Helbing and Johansson, 2010). Συγκεκριμένα, όλες οι πίτες με δείκτη j ακολουθούν κανονικές κατανομές πιθανότητας με συγκεκριμένες μέσες τιμές και διακυμάνσεις: $\Pi^j(\mu^j, \sigma^{j^2})$, όπου $\sigma^j > 0$ για όλες, $\mu^j > 0$ για τις πίτες που αντιπροσωπεύουν κέρδη και $\mu^j < 0$ για αυτές που αντιπροσωπεύουν ζημίες.

- **Παραδοχή 3.** Οι παίκτες είναι ορθολογικοί, δηλ. έκαστος παίκτης θα πρέπει να λάβει τουλάχιστον όσα θα επιτύχανε μέσω της δυνατότητας για μη συνεργασία. Είναι ξεκάθαρο, ότι υφίσταται ένα θετικό πλεόνασμα S το οποίο προκύπτει από τη συνεργασία. Δηλαδή, η συνολική απόδοση του N : $\sum_{j=1}^m \Pi^j$ ισούται με το άθροισμα των εξοφλήσεων διαφωνίας των

παικτών $\sum_{i=1}^n C_i$ συν το πλεόνασμα S (βλ. μοντέλο στο [6]):

$$\sum_{j=1}^m \Pi^j = \sum_{i=1}^n C_i + S \Leftrightarrow S = \sum_{j=1}^m \Pi^j - \sum_{i=1}^n C_i .$$

- **Παραδοχή 4.** Όλοι οι παίκτες έχουν ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του κινδύνου, δηλ. είναι αδιάφοροι μεταξύ των m πιτών, καθώς λαμβάνουν υπόψη μόνο τη συνολική αναμενόμενη απόδοση κατά τη λήψη επενδυτικών αποφάσεων [38]. Ειδικότερα, διαπραγματεύονται πάνω από τη διαίρεση του πλεονάσματος που προκύπτει από τη συνεργασία και το αποτέλεσμα είναι η λύση διαπραγμάτευσης NBS, που είναι ένα διάνυσμα: (U_1, U_2, \dots, U_n) που αντιπροσωπεύει τις αναμενόμενες τιμές των ανεξάρτητων πλεονασμάτων (μερίδια (Moulin, 1987)), που επιμερίζονται στους παίκτες. Αυτή είναι η μοναδική λύση που μεγιστοποιεί μία συνάρτηση ίση με το γινόμενο των καθαρών ωφελειών των παικτών από τη συνεργασία, που μετρώνται σε σχέση με το εξωγενές αποτέλεσμα διαφωνίας (Harsanyi, 1959; 1963; Supatgiat et al., 2001).

5.3.2.2 Αξιώματα

Ο επιμερισμός του πλεονάσματος S που προκύπτει από τη συνεργασία πληροί το παρακάτω αξίωμα:

- **Ορθολογότητα του συνασπισμού**

Αυτό το αξίωμα (βλ. Csóka et al., 2009), ικανοποιείται όταν η αναμενόμενη απόδοση (άθροισμα των αναμενόμενων κερδών μείον τις αντίστοιχες ζημίες) είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των εξοφλήσεων διαφωνίας των παικτών, δηλ. η μέση τιμή του S , που συμβολίζεται με μ_N , θα πρέπει να είναι θετική:

$$\mu_N = \sum_{j=1}^m \mu^j - \sum_{i=1}^n C_i > 0 \tag{5.10}$$

Δεδομένου ότι όλοι οι παίκτες έχουν ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του κινδύνου, διαπραγματεύονται πάνω από τη μέση τιμή του πλεονάσματος S θεωρώντας τα δικά τους αναμενόμενα μερίδια (μ_i). Το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα είναι μία κατανομή, δηλ. ένα διάνυσμα $U \in \mathfrak{R}^N$ που αντιπροσωπεύει το ποσοστό του μ_N που επιμερίζεται σε έκαστο παίκτη $i \in N$:

$$\mu_i = \mu_N(U_i) \quad (5.11)$$

Όλοι οι παίκτες θεωρούνται ορθολογικοί και κατά συνέπεια η κατανομή $U \in \mathfrak{R}^N$ πληροί το επόμενο αξίωμα:

- **Ανεξάρτητα ορθολογική**

Ο παίκτης i λαμβάνει τουλάχιστον όσα θα μπορούσε να επιτύχει μέσω της μή-συνεργατικής επιλογής, σύμφωνα με τη παρακάτω ανίσωση:

$$U_i > 0 \quad (5.12)$$

- **Γραμμικά αμετάβλητη και ανεξάρτητη από άσχετες εναλλακτικές**

Ωστόσο, δεδομένου ότι το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα θεωρείται ότι είναι η NBS, θα πρέπει να είναι γραμμικά αμετάβλητο και ανεξάρτητο από άσχετες εναλλακτικές. Συμβολίζουμε με F το σύνολο των εφικτών λύσεων κατανομής. Για το F που προκύπτει από το F μέσω του πολλαπλασιασμού των ωφελειών των παικτών με σταθερές α_i , η λύση του νέου παιγνίου θα προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των συντεταγμένων των παικτών από τη πρώτη λύση με τις ίδιες σταθερές α_i . Επιπλέον, η λύση παραμένει η ίδια για κάθε υποσύνολο του F που τη περικλείει.

- **Εφικτότητα και βελτιστότητα κατά Pareto**

Επιπροσθέτως, προκειμένου να πληροί τα αξιώματα της εφικτότητας και βελτιστότητας κατά Pareto, η κατανομή θα πρέπει να είναι αποτελεσματική, δηλ. το άθροισμα των αναμενόμενων μεριδίων ισούται με το αναμενόμενο πλεόνασμα:

$$\sum_{i=1}^n \mu_i = \mu_N \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n U_i = 1 \quad (5.13)$$

Η εξίσωση (5.13) διασφαλίζει την εφικτότητα, καθώς το άθροισμα των κατανομών δεν υπερβαίνει το συνολικό πλεόνασμα. Επιπλέον, η ανίσωση (5.12) και η εξίσωση (5.13) διασφαλίζουν τη βελτιστότητα κατά Pareto, καθώς για κάθε άλλη κατανομή $U' \neq U$, με την οποία τουλάχιστον ένας παίκτης i βελτιώνει την ωφέλειά του: $U'_i > U_i$, και από (2): $\mu'_i > \mu_i$, θα υπάρχει τουλάχιστον ένας άλλος παίκτης k που θα μειωθεί η ωφέλειά του: $U'_k < U_k$, και από (5.11): $\mu'_k < \mu_k$. Κατά συνέπεια, δεν υπάρχουν βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν στη κατανομή U και το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα είναι βέλτιστο κατά Pareto.

Συμβολίζουμε με p_i^j το ποσοστό της πίτας $j \in J$ που επιμερίζεται στον παίκτη $i \in N$. Είναι ξεκάθαρο ότι το αναμενόμενο μερίδιο του παίκτη i υπολογίζεται από:

$\mu_i = \sum_{j=1}^m (\mu^j p_i^j) - C_i$, ενώ η συνολική του απόδοση είναι: $\sum_{j=1}^m (\mu^j p_i^j) = \mu_i + C_i$. Επειδή ένας αναποτελεσματικός επιμερισμός τουλάχιστον μίας πίτας j θα αφήσει περιθώρια επαναδιαπραγμάτευσης, θεωρούμε την αποτελεσματική κατανομή για όλες τις πίτες $j \in J$:

$$\sum_{i=1}^n p_i^j = 1 \quad (5.14)$$

• **Συμμετρία**

Εφόσον οι παίκτες είναι πανομοιότυποι, (ίσες εξοφλήσεις διαφωνίας και συμμετρικές συναρτήσεις ωφέλειας), τότε θα συμφωνήσουν στον ίσο επιμερισμό του συνολικού πλεονάσματος, σύμφωνα με την εξίσωση (5.15):

$$U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n \Leftrightarrow \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n \quad (5.15)$$

Αντίθετα, εάν οι παίκτες δεν είναι πανομοιότυποι, τότε το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα θα είναι η ασύμμετρη λύση NBS (βλ. Kalai, 1977). Στην ασύμμετρη NBS, το πλεόνασμα δύναται να επιμεριστεί είτε ισόποσα ικανοποιώντας τη σχέση (5.15) (βλ. *split-the-difference* στους Binmore et al. (1989)), ή σε άνισα μερίδια με $U_i \neq U_k$ για τουλάχιστον δύο παίκτες $i, k \in N$.

5.3.2.3 Το δικαϊκό αξίωμα

Στις περιπτώσεις όπου πολλαπλές πίτες θα πρέπει να επιμεριστούν μεταξύ πολλαπλών παικτών εντός του πλαισίου μίας συμμετρικής ή ασύμμετρης NBS, κύρια πρόκληση είναι η διασφάλιση της δικαιοσύνης για τη διαίρεση του συνολικού πλεονάσματος. Συμβολίζουμε με Π_i το ανεξάρτητο στοχαστικό μερίδιο που επιμερίζεται στον παίκτη i . Αυτό δίνεται από τη σχέση (5.16):

$$\Pi_i = \sum_{j=1}^m (\Pi^j p_i^j) - C_i \quad (5.16)$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι όλες οι πίτες $j \in J$ ακολουθούν κανονικές κατανομές πιθανότητας και οι εξοφλήσεις διαφωνίας C_i των παικτών είναι πραγματικοί αριθμοί, συμπεραίνουμε ότι τα στοχαστικά μερίδια που επιμερίζονται στους παίκτες ακολουθούν επίσης κανονικές κατανομές πιθανότητας: $\Pi_i = (\mu_i, \sigma_i^2)$. Επιπλέον, η λύση(εις) που ικανοποιούν το U αποτελούνται από τα ποσοστά p_i^j για κάθε $i \in N = 1,2,\dots,n$ και $j \in J$. Ειδικότερα, μία λύση δύναται να απεικονιστεί σε ένα μητρώο $[P]_{n \times m}$, όπου οι $1,2,\dots,n$ γραμμές καταδεικνύουν τους παίκτες και οι $1,2,\dots,m$ στήλες τις αντίστοιχες πίτες, δηλ. κάθε στοιχείο p_i^j του μητρώου αντιπροσωπεύει το ποσοστό της πίτας j που επιμερίζεται στον παίκτη i :

$$[P]_{n \times m} = [p_i^j]_{n \times m} = \begin{bmatrix} p_1^1 & p_1^2 & \dots & p_1^m \\ p_2^1 & p_2^2 & \dots & p_2^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_n^1 & p_n^2 & \dots & p_n^m \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

Σε αυτή τη περίπτωση, η χαρακτηριστική συνάρτηση των μεριδίων που επιμερίζονται στους παίκτες εντός του πλαισίου μίας συμμετρικής ή ασύμμετρης NBS εκφράζεται με τη σχέση (5.18):

$$[U_i]_{n \times 1} = [P]_{n \times m} [U^j]_{m \times 1} - [C_i]_{n \times 1} \quad (5.18)$$

Ωστόσο, η δικαιοσύνη επιτυγχάνεται όταν όλα αυτά τα μερίδια ακολουθούν κατανομές πιθανότητας αναλογικά ως προς τη NBS: (U_1, \dots, U_n) , δηλ. οι αναμενόμενες τιμές των μεριδίων που επιμερίζονται στους παίκτες θα πρέπει να ικανοποιούν:

$$\mu_i = \sum_{j=1}^m (\mu^j p_i^j) - C_i = \mu_N(U_i) \quad (5.19)$$

και οι τυπικές αποκλίσεις τους, συμβ. με σ_i , θα πρέπει επίσης να είναι ανάλογες στις αντίστοιχες μέσες τιμές, σύμφωνα με τη σχέση (5.20):

$$\frac{\mu_1}{\sigma_1} = \frac{\mu_2}{\sigma_2} = \frac{\mu_3}{\sigma_3} = \dots = \frac{\mu_n}{\sigma_n} \quad (5.20)$$

Με άλλα λόγια, η δικαιοσύνη επιτυγχάνεται όταν τα στοχαστικά πλεονάσματα $U_i = (\mu_i, \sigma_i^2)$ που επιμερίζονται σε όλους τους παίκτες ακολουθούν κατανομές πιθανότητας σε αναλογία με τη NBS, πληρώντας τη σχέση (5.21):

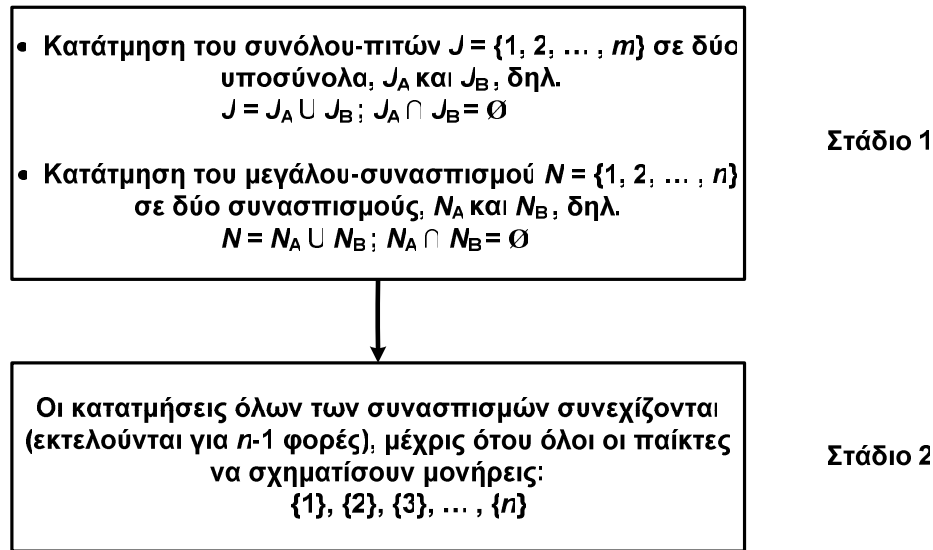
$$\frac{\mu_i}{\sigma_k} = \frac{\sigma_i}{\sigma_k} = \frac{U_i}{U_k}, \quad \forall i, k \in N \quad (5.21)$$

5.3.3 Υπολογισμός λύσεων για τη δίκαιη κατανομή του πλεονάσματος

Σε αντίθεση με τις περισσότερες ερευνητικές δημοσιεύσεις επί των συνεργατικών παιγνίων, που χρησιμοποιούν (bottom-up) προσεγγίσεις εξετάζοντας ποιοι συνασπισμοί παικτών δύναται να σχηματιστούν ή πως τα κέρδη ενός υποσυνόλου μπορούν να επιμεριστούν για να διασφαλίσουν τη βιωσιμότητα μίας συμφωνίας, εμείς εδώ ακολουθούμε μία top-down προσέγγιση.

Μία καινοτόμος προσέγγιση για τον υπολογισμό του ποσοστού κάθε πίτας που πρέπει να επιμεριστεί σε κάθε παίκτη, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι το πλεόνασμα

επιμερίζεται σε αναλογία με τη λύση NBS, παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα 56. Όπως φαίνεται, η γενική μέθοδος που εισάγεται σε αυτή τη παράγραφο, περιλαμβάνει δύο βασικά στάδια, τα οποία αναλύονται παρακάτω:



Σχήμα 56. Η γενική μέθοδος για το δίκαιο επιμερισμό του πλεονάσματος

5.3.3.1 Στάδιο 1: Κατάτμηση του συνόλου-πιτών J σε δύο μή-κενά υποσύνολα: J_A , J_B και του μεγάλου-συνασπισμού N σε δύο μή-κενούς συνασπισμούς: N_A , N_B .

Αρχικά, θεωρούμε ότι θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τις σχέσεις (1) έως (10), προκειμένου να υπολογίσουμε τους $(n \times m)$ αγνώστους ενός μητρώου $[P]_{n \times m}$ που ικανοποιεί το αξίωμα της δικαιοσύνης. Ωστόσο, από τη κατάτμηση του συνόλου-πιτών $J = \{1, 2, \dots, m\}$ σε δύο υποσύνολα: $J_A = \{1, \dots, g\}$, και $J_B = \{g+1, \dots, m\}$, με $1 \leq g < m$, η χαρακτηριστική συνάρτηση παρουσιάζεται στη σχέση (13):

$$\begin{bmatrix} p_i^{\{1, \dots, g\}} & p_i^{\{g+1, \dots, m\}} \end{bmatrix}_{n \times 2} \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^g \Pi^j \\ \sum_{j=g+1}^m \Pi^j \end{bmatrix}_{2 \times 1} - [C_i]_{n \times 1} = [\Pi_i]_{n \times 1} \quad (5.22)$$

όπου το $p_i^{\{1, \dots, g\}}$ δηλώνει το ποσοστό του υποσυνόλου $J_A = \{1, \dots, g\}$ που επιμερίζεται στον παίκτη i , και το $p_i^{\{g+1, \dots, m\}}$ το αντίστοιχο ποσοστό του υποσυνόλου $J_B = \{g+1, \dots, m\}$ που επιμερίζεται στον παίκτη i . Τούτο σημαίνει ότι τα ποσοστά της πίτας 1, της 2, ..., και της g , που επιμερίζονται στον παίκτη i ισούνται με: $p_i^{\{1, \dots, g\}}$, ενώ τα ποσοστά της πίτας $g+1$, της $g+2$, ..., και της m , που επίσης επιμερίζονται στον i είναι ίσα με: $p_i^{\{g+1, \dots, m\}}$.

Επιπλέον, μέσω της κατάτμησης του μεγάλου-συνασπισμού N σε δύο συνασπισμούς: $N_A = \{1, \dots, h\}$, $N_B = \{h+1, \dots, n\}$, με $1 \leq h < n$, έχουμε 4 αγνώστους, που είναι τα ποσοστά των

υποσυνόλων $J_A = \{1, \dots, g\}$ και $J_B = \{g+1, \dots, m\}$, που επιμερίζονται σε κάθε συνασπισμό: $N_A = \{1, \dots, h\}$ και $N_B = \{h+1, \dots, n\}$:

$$[P]_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} P_{\{1, \dots, g\}}^{\{1, \dots, g\}} & P_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \\ P_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} & P_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \quad (5.23)$$

Συγκεκριμένα, μέσω των κατατμήσεων του μεγάλου-συνασπισμού και του συνόλου-πιτών σε ένα ζεύγος από δύο μη κενούς συνασπισμούς και δύο μη κενά υποσύνολα, η χαρακτηριστική συνάρτηση (9) μετασχηματίζεται στη σχέση (15):

$$\begin{bmatrix} P_{\{1, \dots, g\}}^{\{1, \dots, g\}} & P_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \\ P_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} & P_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^g \Pi^j \\ \sum_{j=g+1}^m \Pi^j \end{bmatrix}_{2 \times 1} - \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^h C_i \\ \sum_{i=h+1}^n C_i \end{bmatrix}_{2 \times 1} = \begin{bmatrix} \Pi_{\{1, \dots, h\}} \\ \Pi_{\{h+1, \dots, n\}} \end{bmatrix}_{2 \times 1} \quad (5.24)$$

Στη συνέχεια, εξάγουμε το Θεώρημα 5.4.

Θεώρημα 5.4. Για κάθε ζεύγος από δύο μη-κενούς συνασπισμούς και δύο μη-κενά υποσύνολα, που δύνανται να προκύψουν από τη κατάτμηση του μεγάλου-συνασπισμού $N = \{1, \dots, n\}$, στους: $N_A = \{1, \dots, h\}$ και $N_B = \{h+1, \dots, n\}$, (όπου $N_A \cup N_B = N$; $N_A \cap N_B = \emptyset$) και τη κατάτμηση του συνόλου-πιτών $J = \{1, \dots, m\}$, στα: $J_A = \{1, \dots, g\}$ και $J_B = \{g+1, \dots, m\}$, (όπου $J_A \cup J_B = J$; $J_A \cap J_B = \emptyset$), υπάρχει ένα μοναδικό μητρώο $[P]_{2 \times 2}$:

$$[P]_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} P_{\{1, \dots, g\}}^{\{1, \dots, g\}} & P_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \\ P_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} & P_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \end{bmatrix}_{2 \times 2}, \text{ το οποίο}$$

πληρεί το δικαϊκό αξίωμα στο πλαίσιο της διαπραγματευτικής λύσης NBS, ικανοποιώντας:

$$\frac{\mu_{\{1, \dots, h\}}}{\mu_{\{h+1, \dots, n\}}} = \frac{\sigma_{\{1, \dots, h\}}}{\sigma_{\{h+1, \dots, n\}}} = \frac{\sum_{i=1}^h U_i}{\sum_{i=h+1}^n U_i}$$

5.3.3.2 Στάδιο 2: Συνεχείς κατατμήσεις των συνασπισμών για $n-1$ φορές

Από το Θεώρημα 1, είναι ξεκάθαρο ότι μέσω της περαιτέρω κατάτμησης του συνασπισμού $N_A = \{1, \dots, h\}$ σε δύο μη-κενούς συνασπισμούς $\{1, \dots, f\}$ και $\{f+1, \dots, h\}$, $1 \leq f < h$, η σχέση (15) δίνει:

$$\begin{bmatrix} P_{\{1, \dots, g\}}^{\{1, \dots, g\}} & P_{\{1, \dots, f\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \\ P_{\{f+1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} & P_{\{f+1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \begin{bmatrix} P_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} \sum_{j=1}^g \Pi^j \\ P_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \sum_{j=g+1}^m \Pi^j \end{bmatrix}_{2 \times 1} - \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^f C_i \\ \sum_{i=f+1}^h C_i \end{bmatrix}_{2 \times 1} = \begin{bmatrix} \Pi_{\{1, \dots, f\}} \\ \Pi_{\{f+1, \dots, h\}} \end{bmatrix}_{2 \times 1} \quad (5.25)$$

που έχει ένα μοναδικό μητρώο $[P]_{2 \times 2}$:

$$\begin{bmatrix} P_{\{1,\dots,g\}}^{\{1,\dots,f\}} & P_{\{1,\dots,f\}}^{\{g+1,\dots,m\}} \\ P_{\{f+1,\dots,h\}}^{\{1,\dots,g\}} & P_{\{f+1,\dots,h\}}^{\{g+1,\dots,m\}} \end{bmatrix}_{2 \times 2}$$

που ικανοποιεί τη σχέση

$$(12) \text{ και επιπλέον: } p_{\{1,\dots,f\}}^{\{1,\dots,g\}} + p_{\{f+1,\dots,h\}}^{\{1,\dots,g\}} = p_{\{1,\dots,f\}}^{\{g+1,\dots,m\}} + p_{\{f+1,\dots,h\}}^{\{g+1,\dots,m\}} = 1.$$

Όμοια, μέσω της κατάτμησης του συνασπισμού $N_B = \{h+1, \dots, n\}$ σε ένα άλλο ζεύγος μή-κενών συνασπισμών $\{h+1, \dots, k\}$ και $\{k+1, \dots, n\}$, $h+1 \leq k < n$, η σχέση (15) δίνει:

$$\begin{bmatrix} P_{\{h+1,\dots,k\}}^{\{1,\dots,g\}} & P_{\{h+1,\dots,k\}}^{\{g+1,\dots,m\}} \\ P_{\{k+1,\dots,n\}}^{\{1,\dots,g\}} & P_{\{k+1,\dots,n\}}^{\{g+1,\dots,m\}} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \begin{bmatrix} P_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{1,\dots,g\}} \sum_{j=1}^g \Pi^j \\ P_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{g+1,\dots,m\}} \sum_{j=g+1}^m \Pi^j \end{bmatrix}_{2 \times 1} - \begin{bmatrix} \sum_{i=h+1}^k C_i \\ \sum_{i=k+1}^n C_i \end{bmatrix}_{2 \times 1} = \begin{bmatrix} \Pi_{\{h+1,\dots,k\}} \\ \Pi_{\{k+1,\dots,n\}} \end{bmatrix}_{2 \times 1} \quad (5.26)$$

που επίσης έχει ένα μοναδικό μητρώο $[P]_{2 \times 2}$:

$$\begin{bmatrix} P_{\{h+1,\dots,k\}}^{\{1,\dots,g\}} & P_{\{h+1,\dots,k\}}^{\{g+1,\dots,m\}} \\ P_{\{k+1,\dots,n\}}^{\{1,\dots,g\}} & P_{\{k+1,\dots,n\}}^{\{g+1,\dots,m\}} \end{bmatrix}_{2 \times 2}$$

που ικανοποιεί τη

$$\text{σχέση (12) και επιπλέον: } p_{\{h+1,\dots,k\}}^{\{1,\dots,g\}} + p_{\{k+1,\dots,n\}}^{\{1,\dots,g\}} = p_{\{h+1,\dots,k\}}^{\{g+1,\dots,m\}} + p_{\{k+1,\dots,n\}}^{\{g+1,\dots,m\}} = 1.$$

Ειδικότερα, οι κατατμήσεις των συνασπισμών σε ζεύγη συνεχίζονται, μέχρις ότου όλοι οι παίκτες να σχηματίσουν μονήρεις: $\{1\}, \{2\}, \{3\}, \dots, \{n\}$, δηλ. για $n-1$ φορές. Μέσω αυτής της διεργασίας, εάν υπολογίσουμε το μοναδικό μητρώο $[P]_{2 \times 2}$ για κάθε ένα συνασπισμό, δύναται να υπολογίσουμε το ποσοστό κάθε υποσυνόλου $\{1, \dots, g\}$ και $\{g+1, \dots, m\}$ που επιμερίζεται σε έκαστο παίκτη.

Συμβολίζουμε με π_i το σύνολο των συνασπισμών που περικλείουν τον παίκτη i , οι οποίοι προκύπτουν μέσα από ένα συγκεκριμένο σύνολο συνεχών κατατμήσεων του μεγάλου-συνασπισμού N σε μή-κενά ζεύγη για $n-1$ φορές. Για παράδειγμα, οι συνεχείς κατατμήσεις του $N = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ εντός ενός συγκεκριμένου συνόλου κατατμήσεων, δηλ σε: $\{1\}$ και $\{2, 3, 4, 5\}$, και η επόμενη κατάτμηση σε $\{3\}$ και $\{2, 4, 5\}$, και στη συνέχεια σε $\{2\}$ και $\{4, 5\}$ και στη συνέχεια σε $\{4\}$ και $\{5\}$, τα σύνολα των συνασπισμών π_i που περικλείουν τους παίκτες έχουν ως εξής:

$$\pi_1 = \{\{1\}\}$$

$$\pi_2 = \{\{2, 3, 4, 5\}, \{2, 4, 5\}, \{2\}\}$$

$$\pi_3 = \{\{2, 3, 4, 5\}, \{3\}\}$$

$$\pi_4 = \{\{2, 3, 4, 5\}, \{2, 4, 5\}, \{4, 5\}, \{4\}\}$$

$$\pi_5 = \{\{2, 3, 4, 5\}, \{2, 4, 5\}, \{4, 5\}, \{5\}\}$$

Με άλλα λόγια, το ποσοστό του κάθε υποσυνόλου ($\{1, \dots, g\}$ και $\{g+1, \dots, m\}$), που επιμερίζεται σε έκαστο παίκτη i , ισούται με το γινόμενο των ποσοστών των συνασπισμών που περικλείουν τον i , π.χ. για τον παίκτη 5:

$$p_5^{\{1,\dots,g\}} = \prod_{k \in \pi_5} p_k^{\{1,\dots,g\}} = (p_{\{2,3,4,5\}}^{\{1,\dots,g\}})(p_{\{2,4,5\}}^{\{1,\dots,g\}})(p_{\{4,5\}}^{\{1,\dots,g\}})(p_{\{5\}}^{\{1,\dots,g\}})$$

$$p_5^{\{g+1,\dots,m\}} = \prod_{k \in \pi_5} p_k^{\{g+1,\dots,m\}} = (p_{\{2,3,4,5\}}^{\{g+1,\dots,m\}})(p_{\{2,4,5\}}^{\{g+1,\dots,m\}})(p_{\{4,5\}}^{\{g+1,\dots,m\}})(p_{\{5\}}^{\{g+1,\dots,m\}})$$

Ωστόσο, το ποσοστό του παίκτη i σε κάθε υποσύνολο: $\{1, \dots, g\}$ και $\{g+1, \dots, m\}$, ισούται με τα ποσοστά του σε όλες τις πίτες του συγκεκριμένου υποσυνόλου: $p_i^{\{1, \dots, g\}} = p_i^1 = p_i^2 = \dots = p_i^g$ και $p_i^{\{g+1, \dots, m\}} = p_i^{g+1} = p_i^{g+2} = \dots = p_i^m$

Αυτό σημαίνει ότι μέσω της κατάτμησης του συνόλου-πιτών J σε δύο μή-κενά υποσύνολα, και τις συνεχείς κατατμήσεις όλων των συνασπισμών σε ζεύγη μή-κενών για $n-1$ φορές (μέχρις ότου όλοι οι παίκτες να σχηματίσουν μονήρεις συνασπισμούς), μπορούμε να υπολογίσουμε τα ποσοστά p_i^j για όλες τις πίτες: $j = 1, 2, \dots, m$ που επιμερίζονται σε όλους τους παίκτες: $i = 1, 2, \dots, n$. Δηλαδή, μπορούμε να υπολογίσουμε ένα μητρώο $[P]_{n \times m}$, το οποίο διασφαλίζει ότι τα στοχαστικά πλεονάσματα των παικτών $\Pi_i = (\mu_i, \sigma_i^2)$ ακολουθούν κατανομές πιθανότητας που είναι ανάλογες της λύσης NBS:

$$\frac{\mu_i}{\mu_k} = \frac{\sigma_i}{\sigma_k} = \frac{U_i}{U_k}, \quad \forall i, k \in N.$$

5.3.4 Βασικά χαρακτηριστικά

Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζονται ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά της προτεινόμενης μεθόδου.

5.3.4.1 Αριθμός δυνατών κατατμήσεων του συνόλου-πιτών

Συμβολίζουμε με $g(m)$ τους δυνατούς συνδυασμούς για τη κατάτμηση του συνόλου-πιτών J σε δύο μή-κενά υποσύνολα. Εξάγουμε την επόμενη Πρόταση 5.4.

Πρόταση 5.4. Ο αριθμός των δυνατών κατατμήσεων ενός συνόλου-πιτών J σε δύο μή-κενά υποσύνολα: J_A και J_B (όπου: $J_A \cup J_B = J$; $J_A \cap J_B = \emptyset$), δίνεται από τη σχέση (5.27):

$$g(m) = \frac{m!}{(m-1)!} + \sum_{l=2}^{\frac{m-1}{2}} \frac{m!}{(m-l)!l!}, \quad m = \text{odd}$$

$$g(m) = \frac{m!}{(m-1)!} + \sum_{l=2}^{\frac{m-1}{2}} \frac{m!}{(m-l)!l!} + \frac{m!}{\left(\frac{m}{2}!\right)^2} \frac{1}{2}, \quad m = \text{even} \tag{5.27}$$

5.3.4.2 Πεπερασμένα δυνατά μητρώα $[P]_{n \times m}$ για τη δίκαιη κατανομή του πλεονάματος

Ωστόσο, σε κάθε κατάτμηση του μεγάλου συνασπισμού N σε δύο μή-κενούς συνασπισμούς σύμφωνα με το 1^ο Στάδιο της προτεινόμενης μεθόδου, ή οποιαδήποτε άλλη κατάτμηση των συνασπισμών σε δύο μή-κενούς συνασπισμούς σύμφωνα με το 2^ο Στάδιο, δεν υπάρχει κανένας συνασπισμός που δύναται να αποκλειστεί, καθώς όλοι έχουν θετικές αναμενόμενες τιμές πλεονάματος. Αυτό σημαίνει ότι δεν υφίσταται κανένας περιορισμός και

έκαστος παίκτης δύναται να τοποθετηθεί είτε στον πρώτο είτε στον δεύτερο συνασπισμό κάθε ζεύγους, στους οποίους η σειρά των παικτών δεν παίζει κανένα ρόλο. Συμβολίζουμε με $f(n)$ τους δυνατούς συνδυασμούς για τις συνεχείς καταμήσεις των συνασπισμών για $n-1$ φορές (μέχρις ότου όλοι οι παίκτες να σχηματίσουν μονήρεις συνασπισμούς: $\{1\}, \dots, \{n\}$). Λαμβάνοντας υπόψη ότι για κάθε κατάμηση σε ένα ζεύγος μή-κενών συνασπισμών υπάρχει ένα μοναδικό μητρώο $[P]_{2 \times 2}$, εξάγουμε το Θεώρημα 5.5 (Karmpferis et al., 2012f):

Θεώρημα 5.5. Ο αριθμός των δυνατών μητρώων $[P]_{n \times m}$ που πληρούν το δικαίκο αξίωμα για τον επιμερισμό ενός πλεονάσματος εντός του πλαισίου της λύσης NBS, είναι πεπερασμένος και ισούται με το γινόμενο των δυνατών καταμήσεων του συνόλου-πιτών σε δύο υποσύνολα, με τις αντίστοιχες δυνατές καταμήσεις των συνασπισμών των παικτών σε ζεύγη μή-κενών για $n-1$ φορές:

$$\text{δυνατά } [P]_{n \times m} = f(n)g(m) \quad (5.28)$$

, όπου:

$$f(n) = \frac{n!}{(n-1)!} f(n-1) + \sum_{k=2}^{\frac{n-1}{2}} \frac{n!}{(n-k)!k!} f(n-k)f(k), \quad n = \text{odd}$$

$$f(n) = \frac{n!}{(n-1)!} f(n-1) + \sum_{k=2}^{\frac{n-1}{2}} \frac{n!}{(n-k)!k!} f(n-k)f(k) + \frac{n!}{(\frac{n}{2}!)^2} f(\frac{n}{2})^2 \frac{1}{2}, \quad n = \text{even} \quad (5.28.1)$$

$$g(m) = \frac{m!}{(m-1)!} + \sum_{l=2}^{\frac{m-1}{2}} \frac{m!}{(m-l)!l!}, \quad m = \text{odd}$$

$$g(m) = \frac{m!}{(m-1)!} + \sum_{l=2}^{\frac{m}{2}-1} \frac{m!}{(m-l)!l!} + \frac{m!}{(\frac{m}{2}!)^2} \frac{1}{2}, \quad m = \text{even} \quad (5.28.2)$$

5.3.4.3 Δυνατά μητρώα $[P]_{n \times m}$ για $2 \leq n, m \leq 10$

Ο ακριβής αριθμός των δυνατών μητρώων $[P]_{n \times m}$ για $2 \leq m, n \leq 10$, απεικονίζεται στον επόμενο Πίνακα 38. Όπως φαίνεται, αυτός ο πίνακας παρουσιάζει τους αριθμούς των δυνατών μητρώων για όλους τους συνδυασμούς των: $m, n = 2, 3, 4, \dots, 10$. Για παράδειγμα, όταν υπάρχουν 7 στοχαστικές πίτες να επιμεριστούν σε 5 παίκτες, τότε υπάρχουν 6615 μητρώα $[P]_{5 \times 7}$ που ικανοποιούν τη σχέση (12), ενώ όταν υπάρχουν 5 στοχαστικές πίτες να επιμεριστούν σε 7 παίκτες, τα αντίστοιχα μητρώα $[P]_{7 \times 5}$ που ικανοποιούν τη σχέση (12) είναι 155925.

5.3.5 Υπολογιστικός αλγόριθμος

Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος που δύναται να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του μητρώου $[P]_{n \times m}$ που διασφαλίζει δικαιοσύνη για τη διαίρεση του συνολικού πλεονάσματος. Ο αλγόριθμος περιλαμβάνει τα παρακάτω επτά βασικά βήματα:

Πίνακας 38. Αριθμός δυνατών μητρώων $[P]_{n \times m}$ για δίκαιη κατανομή πλεονάσματος

		Αριθμός πιτών								
		$m = 2$	$m = 3$	$m = 4$	$m = 5$	$m = 6$	$m = 7$	$m = 8$	$m = 9$	$m = 10$
Αριθμός Παικτών	$n = 2$	1	3	7	15	31	63	127	255	511
	$n = 3$	3	9	21	45	93	189	381	765	1533
	$n = 4$	15	45	105	225	465	945	1905	3825	7665
	$n = 5$	105	315	735	1575	3255	6615	13335	26775	53655
	$n = 6$	945	2835	6615	14175	29295	59535	120015	240975	482895
	$n = 7$	10395	31185	72765	155925	322245	654885	1320165	2650725	5311845
	$n = 8$	135135	405405	945945	2027025	4189185	8513505	17162145	34459425	69053985
	$n = 9$	2027025	6081075	14189175	30405375	62837775	127702575	257432175	516891375	1035809775
	$n = 10$	34429425	103378275	241215975	516891375	1068242175	2170943775	4376346975	8787153375	17608766175

Βήμα 1: Τυχαία κατάτμηση του συνόλου-πιτών J σε δύο μη-κενά υποσύνολα: $\{1, \dots, g\}$ και $\{g+1, \dots, m\}$, με $1 \leq g < m$.

Βήμα 2: Τυχαία κατάτμηση του μεγάλου-συνασπισμού σε δύο μη-κενούς συνασπισμούς: $\{1, \dots, h\}$ και $\{h+1, \dots, n\}$, με $1 \leq h < n$.

Βήμα 3: Ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης Μόντε Κάρλο (MCS), όπου τα C_i , Π^j είναι εισερχόμενα και τα $\Pi_{\{1, \dots, h\}}$, $\Pi_{\{h+1, \dots, n\}}$ εξερχόμενα σύμφωνα με τις σχέσεις (5.29) και (5.30):

$$\Pi_{\{1, \dots, h\}} = p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} \sum_{j=1}^g \Pi^j + p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \sum_{j=g+1}^m \Pi^j - \sum_{i=1}^h C_i \quad (5.29)$$

$$\Pi_{\{h+1, \dots, n\}} = p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} \sum_{j=1}^g \Pi^j + p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \sum_{j=g+1}^m \Pi^j - \sum_{i=h+1}^n C_i \quad (5.30)$$

Βήμα 4: Επιλογή μίας συγκεκριμένης τιμής $p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} = 1 - p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}}$, και υπολογισμός των $p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} = 1 - p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}}$, που ικανοποιούν:

$$\mu_{\{1, \dots, h\}} = \mu_N \sum_{i=1}^h U_i = p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} \sum_{j=1}^g \mu^j + p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \sum_{j=g+1}^m \mu^j - \sum_{i=1}^h C_i \quad (5.31)$$

$$\mu_{\{h+1, \dots, n\}} = \mu_N \sum_{i=h+1}^n U_i = p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} \sum_{j=1}^g \mu^j + p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \sum_{j=g+1}^m \mu^j - \sum_{i=h+1}^n C_i \quad (5.32)$$

Για το $(p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}}, p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}}, p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}}, p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}})$ που ικανοποιεί τις σχέσεις (5.31), (5.32) εκτέλεση της προσομοίωσης MCS και υπολογισμός των $\sigma_{\{1, \dots, h\}}$, $\sigma_{\{h+1, \dots, n\}}$. Εάν η επόμενη σχέση (5.33) ικανοποιείται τότε προχωράμε στο επόμενο βήμα, διαφορετικά εξετάζουμε εναλλακτικές τιμές του $p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}}$ (απλά αυξάνοντας / μειώνοντας την αρχική του τιμή), μέχρις ότου βρεθούν τα στοιχεία του μοναδικού μητρώου $[P]_{2 \times 2}$: $(p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}}, p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}}, p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}}, p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}})$, που πληρούν τη σχέση (5.33):

$$\frac{\mu_{\{1, \dots, h\}}}{\mu_{\{h+1, \dots, n\}}} = \frac{\sigma_{\{1, \dots, h\}}}{\sigma_{\{h+1, \dots, n\}}} = \frac{\sum_{i=1}^h U_i}{\sum_{i=h+1}^n U_i} \quad (5.33)$$

Βήμα 5: Χρησιμοποίηση των $(p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}}, p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}}, p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}}, p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}})$, και επιστροφή στο Βήμα 2, δηλ. τυχαία κατάτμηση και των δύο συνασπισμών $\{1, \dots, h\}$ και $\{h+1, \dots, n\}$ σε δύο ζεύγη μη κενών: $\{1, \dots, f\}$, $\{f+1, \dots, h\}$ και $\{h+1, \dots, k\}$, $\{k+1, \dots, n\}$, αντίστοιχα, και υπολογισμός των μοναδικών ποσοστών: $(p_{\{1, \dots, f\}}^{\{1, \dots, g\}}, p_{\{f+1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}}, p_{\{1, \dots, f\}}^{\{g+1, \dots, m\}}, p_{\{f+1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}})$ και $(p_{\{h+1, \dots, k\}}^{\{1, \dots, g\}}, p_{\{k+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}}, p_{\{h+1, \dots, k\}}^{\{g+1, \dots, m\}}, p_{\{k+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}})$.

Συγκεκριμένα, τα Βήματα 2 έως και 5 ακολουθούνται για $n-1$ φορές.

Βήμα 6: Υπολογισμός των ποσοστών κάθε υποσυνόλου $\{1, \dots, g\}$ και $\{g+1, \dots, m\}$ που επιμερίζονται σε έκαστο παίκτη, μέσω του γινομένου των ποσοστών των συνασπισμών

στους οποίους ο παίκτης περικλείεται. Επιπλέον, εξαιτίας του ότι τα ποσοστά έκαστου παίκτη είναι ίσα σε όλες τις πίτες κάθε υποσυνόλου, σχηματίζεται το μητρώο $[P]_{n \times m}$.

Βήμα 7: Προκειμένου να επαληθευτούν τα αποτελέσματα, ανάπτυξη ενός έτερου μοντέλου προσομοίωση MCS, στο οποίο το υπολογισθέν μητρώο $[P]_{n \times m}$, το $[P^j]_{m \times 1}$, και το $[C_i]_{n \times 1}$ είναι τα εισερχόμενα, ενώ το μητρώο $[P_i]_{n \times 1}$ είναι τα εξερχόμενα σύμφωνα με τη (5.18):

$$[P]_{n \times m} [P^j]_{m \times 1} - [C_i]_{n \times 1} = [P_i]_{n \times 1} \quad (5.18)$$

Εκτέλεση της προσομοίωσης και υπολογισμός των: $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_n$, και $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$, προκειμένου να επαληθευτεί ότι τα στοχαστικά μερίδια επιμερίζονται στους παίκτες με

$$\text{δικαιοσύνη: } \frac{\mu_i}{\mu_k} = \frac{\sigma_i}{\sigma_k} = \frac{U_i}{U_k}, \quad \forall i, k \in N.$$

5.3.6 Ανάλυση και αριθμητικό παράδειγμα

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζουμε ένα αριθμητικό παράδειγμα εφαρμογής του υπολογιστικού αλγόριθμου. Θεωρούμε 4 παίκτες με ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του κινδύνου που συγκροτούν έναν μεγάλο-συνασπισμό $N=\{1,2,3,4\}$. Όλοι οι παίκτες είναι ορθολογικοί και συμφωνούν να συνεργαστούν έχοντας διαφορετικές εξοφλήσεις διαφωνίας, δηλ. αν επιλέξουν να μή συνεργαστούν οι απολαβές τους είναι: $C_1 = 2 \times 10^6$, $C_2 = 5 \times 10^6$, $C_3 = 3 \times 10^6$, and $C_4 = 2 \times 10^6$. Εξετάζουμε μία γενική περίπτωση με μή πανομοιότυπους παίκτες και την ασύμμετρη διαπραγματευτική λύση NBS, θεωρώντας ότι η συμμετρική NBS μπορεί να περιληφθεί ως η ειδική περίπτωση όπου οι συναρτήσεις ωφέλειας των παικτών είναι συμμετρικές και οι εξοφλήσεις διαφωνίας ίσες: $C_1 = C_2 = C_3 = C_4$. Υπάρχουν 5 διαφορετικές πίτες που αντιπροσωπεύουν τα κέρδη του N μέσω της συνεργασίας, δηλ. το σύνολο-πιτών είναι: $J = \{1, 2, 3, 4, 5\}$. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο μεγάλος-συνασπισμός σχηματίζεται πριν το ακριβές μέγεθος της κάθε πίτας πραγματωθεί, έκαστη πίτα με δείκτη j ακολουθεί μία κανονική κατανομή πιθανότητας με συγκεκριμένη μέση τιμή (μ^j) και τυπική απόκλιση (σ^j), όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω Πίνακα 39.

Πίνακας 39. Κανονικές κατανομές πιθανότητας των πιτών (τιμές $\times 10^6$)

Πίτες	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
Μέση τιμή: μ^j	15.0	20.0	50.0	10.0	50.0
Τυπική απόκλιση: σ^j	4.0	2.5	2.0	4.0	2.0

Όλοι οι παίκτες έχουν ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του κινδύνου, γεγονός που σημαίνει ότι είναι αδιάφοροι μεταξύ των m πιτών, καθώς εξετάζουν μόνο τις αναμενόμενες τιμές των μεριδίων τους. Συγκεκριμένα, διαπραγματεύονται πάνω από την αναμενόμενη τιμή του πλεονάσματος (μ_N), η οποία προκύπτει μέσω της συνεργασίας. Αυτή η τιμή υπολογίζεται με τη σχέση (5.10):

$$\mu_N = \sum_{j=1}^5 \mu^j - \sum_{i=1}^4 C_i = (145 - 12) \times 10^6 = 133 \times 10^6 > 0 \quad (5.10)$$

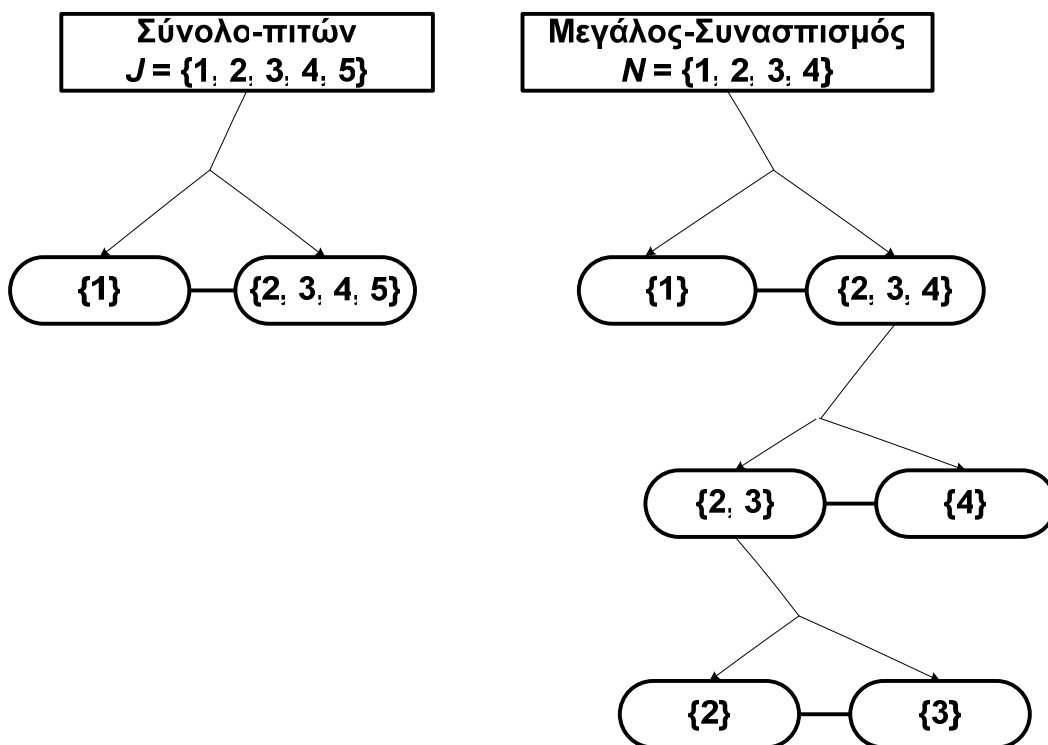
Το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα είναι ένα διάνυσμα $U \in \mathcal{X}^N$ που αντιπροσωπεύει το ποσοστό του μ_N που επιμερίζεται στον παίκτη i . Οι επόμενες ενότητες εξετάζουν δύο περιπτώσεις στο πλαίσιο της ασύμμετρης NBS, η οποία είναι η εξόφληση που μεγιστοποιεί το σταθμισμένο γινόμενο των ωφελειών των παικτών σε σχέση με τις εξοφλήσεις διαφωνίας τους.

5.3.6.1 Ασύμμετρη NBS με άνισες κατανομές

Η πρώτη περίπτωση είναι η ασύμμετρη λύση NBS όπου το πλεόνασμα επιμερίζεται άνισα μεταξύ των παικτών. Θεωρούμε ότι αυτή η λύση είναι: $U = (U_1, U_2, U_3, U_4) = (0.12, 0.25, 0.30, 0.33)$. Εξαιτίας του ότι όλες οι πίτες που περιλαμβάνονται στον Πίνακα 39 θα πρέπει να επιμεριστούν μεταξύ των παικτών με δικαιοσύνη, θέλουμε να υπολογίσουμε το ποσοστό κάθε πίτας που πρέπει να επιμεριστεί σε ένα παικτη, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα μερίδια των παικτών $[\Pi_i]_{4 \times 1}$ ακολουθούν κατανομές πιθανότητας σε αναλογία με τη NBS, δηλ. να υπολογίζουμε ένα μητρώο $[P]_{4 \times 5}$, το οποίο ικανοποιεί τη σχέση

$$(5.21): \frac{\mu_i}{\mu_k} = \frac{\sigma_i}{\sigma_k} = \frac{U_i}{U_k}, \quad \forall i, k = 1, 2, 3, 4. \text{ Χρησιμοποιούμε τον υπολογιστικό αλγόριθμο}$$

που παρουσιάστηκε στη προηγούμενη ενότητα, δηλ. εκτελούμε τυχαία κατάτμηση του συνόλου-πιτών σε δύο υποσύνολα και εκτελούμε τυχαίες συνεχείς κατατμήσεις των συνασπισμών των παικτών σε ζεύγη, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 57.



Σχήμα 57. Πρώτο σύνολο κατατμήσεων

Βήμα 1: Τυχαία κατάτμηση του συνόλου-πιτών J σε δύο μή-κενά υποσύνολα: $\{1\}$, και $\{2, 3, 4, 5\}$.

Βήμα 2: Τυχαία κατάτμηση του μεγάλου-συνασπισμού σε δύο μή-κενούς συνασπισμούς: $\{1\}$, και $\{2, 3, 4\}$.

Βήμα 3: Ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης Μόντε Κάρλο (MCS), όπου τα μητρώα C_i , Π^j είναι εισερχόμενα και τα $\Pi_{\{1\}}$, $\Pi_{\{2,3,4\}}$ τα αντίστοιχα εξερχόμενα σύμφωνα με τις σχέσεις (5.34), (5.35):

$$\Pi_{\{1\}} = p_{\{1\}}^{(1)} \Pi^1 + p_{\{1\}}^{\{2,3,4,5\}} \sum_{j=2}^5 \Pi^j - C_1 \quad (5.34)$$

$$\Pi_{\{2,3,4\}} = p_{\{2,3,4\}}^{(1)} \Pi^1 + p_{\{2,3,4\}}^{\{2,3,4,5\}} \sum_{j=2}^5 \Pi^j - \sum_{i=2}^4 C_i \quad (5.35)$$

Βήμα 4: Αρχικά, επιλέγουμε μία συγκεκριμένη τιμή: $p_{\{1\}}^{(1)} = 0.12$. Για τη τιμή αυτή, είναι:

$$p_{\{2,3,4\}}^{(1)} = 1 - 0.12 = 0.88, \text{ ενώ από τις σχέσεις (5.34), (5.35), υπολογίζουμε:}$$

$$p_{\{1\}}^{\{2,3,4,5\}} = 0.12431 \text{ και } p_{\{2,3,4\}}^{\{2,3,4,5\}} = 1 - 0.12431 = 0.87569 :$$

$$\mu_{\{1\}} = \mu_N U_1 = 15.96 \times (10^6) = p_{\{1\}}^{(1)} \mu^1 + p_{\{1\}}^{\{2,3,4,5\}} \sum_{j=2}^5 \mu^j - C_1 \quad (5.36)$$

$$\mu_{\{2,3,4\}} = \mu_N (U_2 + U_3 + U_4) = 117.04 \times (10^6) = p_{\{2,3,4\}}^{(1)} \mu^1 + p_{\{2,3,4\}}^{\{2,3,4,5\}} \sum_{j=2}^5 \mu^j - (C_2 + C_3 + C_4) \quad (5.37)$$

Για αυτό το σενάριο: ($p_{\{1\}}^{(1)} = 0.12, p_{\{2,3,4\}}^{(1)} = 0.88, p_{\{1\}}^{\{2,3,4,5\}} = 0.12431, p_{\{2,3,4\}}^{\{2,3,4,5\}} = 0.87569$), εκτελούμε τη προσομοίωση MCS και λαμβάνουμε: $\sigma_{\{1\}} = 6232764$, και $\sigma_{\{2,3,4\}} = 873019$. Είναι ξεκάθαρο ότι αυτό το σενάριο δεν ικανοποιεί τη σχέση (5.33), καθώς:

$$\frac{\sigma_{\{1\}}}{\sigma_{\{2,3,4\}}} = \frac{623734}{873019} \neq \frac{U_1}{\sum_{i=2}^4 U_i} = \frac{0.12}{0.88} = \frac{\mu_{\{1\}}}{\mu_{\{2,3,4\}}} = \frac{15.96 \times 10^6}{117.04 \times 10^6}$$

Στη συνέχεια, εξετάζουμε εναλλακτικά σενάρια που προκύπτουν για διάφορες τιμές του $p_{\{1\}}^{(1)}$, και υπολογίζουμε τα ακριβή ποσοστά που ικανοποιούν τη σχέση (5.33):

$$(p_{\{1\}}^{(1)} = 0.109, p_{\{2,3,4\}}^{(1)} = 0.891, p_{\{1\}}^{\{2,3,4,5\}} = 0.1256, p_{\{2,3,4\}}^{\{2,3,4,5\}} = 0.8744)$$

Βήμα 5: Επιστρέφουμε στο Βήμα 2 και χρησιμοποιούμε τα ποσοστά :

($p_{\{2,3,4\}}^{(1)} = 0.891, p_{\{2,3,4\}}^{\{2,3,4,5\}} = 0.8744$) στη τυχαία κατάτμηση του συνασπισμού $\{2, 3, 4\}$ σε δύο συνασπισμούς: $\{2,3\}$ και $\{4\}$. Σύμφωνα με αυτή τη κατάτμηση υπολογίζουμε τα μοναδικά ποσοστά: ($p_{\{2,3\}}^{(1)} = 0.59, p_{\{4\}}^{(1)} = 0.41, p_{\{2,3\}}^{\{2,3,4,5\}} = 0.6445, p_{\{4\}}^{\{2,3,4,5\}} = 0.35549$).

Στη συνέχεια, επιστρέφουμε στο βήμα 2 και χρησιμοποιούμε τα ποσοστά ($p_{\{2,3\}}^{(1)} = 0.59, p_{\{2,3\}}^{\{2,3,4,5\}} = 0.6445$) στη κατάτμηση του συνασπισμού $\{2, 3\}$ στους $\{2\}$

και {3}, προκειμένου να υπολογίσουμε τα αντίστοιχα μοναδικά ποσοστά:

$$(p_{\{2\}}^{\{1\}} = 0.40, p_{\{3\}}^{\{1\}} = 0.60, p_{\{2\}}^{\{2,3,4,5\}} = 0.47903, p_{\{3\}}^{\{2,3,4,5\}} = 0.52097)$$

Βήμα 6: Υπολογίζουμε για κάθε παίκτη τα ποσοστά του σε έκαστο υποσύνολο: {1}, και {2, 3, 4, 5}, μέσω του γινομένου των αντίστοιχων ποσοστών των συνασπισμών στους οποίους περιλαμβάνεται κάθε παίκτης:

$$p_1^1 = p_{\{1\}}^{\{1\}} = 0.109 \text{ και } p_1^{\{2,3,4,5\}} = p_{\{1\}}^{\{2,3,4,5\}} = 0.12557$$

$$p_2^1 = (p_{\{2,3,4\}}^{\{1\}})(p_{\{2,3\}}^{\{1\}})(p_{\{2\}}^{\{1\}}) = (0.891)(0.59)(0.40) = 0.210276$$

$$p_2^{\{2,3,4,5\}} = (p_{\{2,3,4\}}^{\{2,3,4,5\}})(p_{\{2,3\}}^{\{2,3,4,5\}})(p_{\{2\}}^{\{2,3,4,5\}}) = (0.87442)(0.64451)(0.47903) = 0.269968$$

$$p_3^1 = (p_{\{2,3,4\}}^{\{1\}})(p_{\{2,3\}}^{\{1\}})(p_{\{3\}}^{\{1\}}) = (0.891)(0.59)(0.60) = 0.315414$$

$$p_3^{\{2,3,4,5\}} = (p_{\{2,3,4\}}^{\{2,3,4,5\}})(p_{\{2,3\}}^{\{2,3,4,5\}})(p_{\{3\}}^{\{2,3,4,5\}}) = (0.87442)(0.64451)(0.52097) = 0.293605$$

$$p_4^1 = (p_{\{2,3,4\}}^{\{1\}})(p_{\{4\}}^{\{1\}}) = (0.891)(0.41) = 0.36531$$

$$p_4^{\{2,3,4,5\}} = (p_{\{2,3,4\}}^{\{2,3,4,5\}})(p_{\{4\}}^{\{2,3,4,5\}}) = (0.87442)(0.35549) = 0.310849$$

Στη συνέχεια, εξαιτίας του ότι τα ποσοστά έκαστου παίκτη είναι ίσα σε όλες τις πίτες έκαστου υποσυνόλου, υπολογίζουμε:

$$p_1^2 = p_1^3 = p_1^4 = p_1^5 = p_1^{\{2,3,4,5\}} = 0.12557$$

$$p_2^2 = p_2^3 = p_2^4 = p_2^5 = p_2^{\{2,3,4,5\}} = 0.269968$$

$$p_3^2 = p_3^3 = p_3^4 = p_3^5 = p_3^{\{2,3,4,5\}} = 0.293605$$

$$p_4^2 = p_4^3 = p_4^4 = p_4^5 = p_4^{\{2,3,4,5\}} = 0.310849$$

Και σχηματίζουμε το μητρώο [P]_{4x5}:

$$\begin{bmatrix} 0.109000 & 0.125577 & 0.125577 & 0.125577 & 0.125577 \\ 0.210276 & 0.269968 & 0.269968 & 0.269968 & 0.269968 \\ 0.315414 & 0.293605 & 0.293605 & 0.293605 & 0.293605 \\ 0.365310 & 0.310849 & 0.310849 & 0.310849 & 0.310849 \end{bmatrix}_{4 \times 5} \quad (5.38)$$

Βήμα 7: Προκειμένου να επαληθεύσουμε τα αποτελέσματα, αναπτύσσουμε ένα άλλο μοντέλο προσομοίωσης MCS, όπου το υπολογισμένο [P]_{4x5}, το [Π]^j_{5x1}, και το [C]_i_{4x1} μητρώα είναι εισερχόμενα, ενώ τα αντίστοιχα εξερχόμενα είναι το μητρώο των στοχαστικών μεριδίων των παικτών [Π]_i_{4x1} σύμφωνα με τη σχέση (5.18):

$$[\Pi]_{i \times 1} = [P]_{n \times m} [\Pi^j]_{m \times 1} - [C]_{i \times 1} \quad (5.18)$$

Εκτελούμε τη προσομοίωση που δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

$$\mu_1 = 15960000, \mu_2 = 33250000, \mu_3 = 39900000, \mu_4 = 43890000, \text{ και}$$

$$\sigma_1 = 809490, \sigma_2 = 1691896, \sigma_3 = 2029945, \sigma_4 = 2227604. \quad \text{Τα συγκεκριμένα}$$

αποτελέσματα επαληθεύουν ότι το συνολικό πλεόνασμα επιμερίζεται μεταξύ των παικτών με δικαιοσύνη, καθώς το σύνολο των μεριδίων που λαμβάνουν οι παίκτες, ακολουθεί κατανομές πιθανότητας που είναι σε αναλογία με τη λύση NBS:

$$\begin{aligned} \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{0.12}{0.25}, \quad \frac{\mu_1}{\mu_3} = \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{U_1}{U_3} = \frac{0.12}{0.30}, \quad \frac{\mu_1}{\mu_4} = \frac{\sigma_1}{\sigma_4} = \frac{U_1}{U_4} = \frac{0.12}{0.33}, \\ \frac{\mu_2}{\mu_3} = \frac{\sigma_2}{\sigma_3} = \frac{U_2}{U_3} = \frac{0.25}{0.30}, \quad \frac{\mu_2}{\mu_4} = \frac{\sigma_2}{\sigma_4} = \frac{U_2}{U_4} = \frac{0.25}{0.33}, \quad \frac{\mu_3}{\mu_4} = \frac{\sigma_3}{\sigma_4} = \frac{U_3}{U_4} = \frac{0.30}{0.33} \end{aligned} \quad (5.39)$$

5.3.6.2 Έτερες λύσεις για ασύμμετρη NBS με άνισες κατανομές

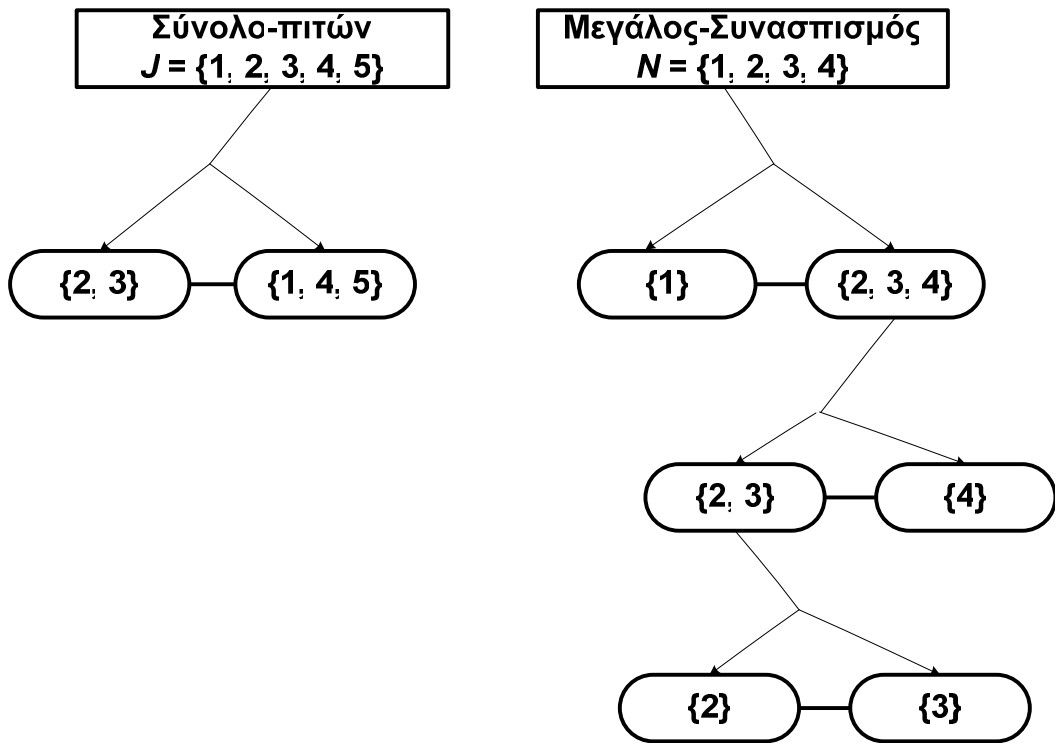
Όπως φαίνεται στον Πίνακα 38, στη συγκεκριμένη περίπτωση (όπου πέντε πίτες: $m = 5$ επιμερίζονται μεταξύ τεσσάρων παικτών: $n = 4$), υπάρχουν 225 διαφορετικά μητρώα $[P]_{4 \times 5}$ τα οποία διασφαλίζουν τη δικαιοσύνη στο πλαίσιο της διαπραγματευτικής λύσης NBS. Για παράδειγμα, αν ακολουθήσουμε ένα διαφορετικό σύνολο καταταμίσεων, όπως αυτό που φαίνεται στο επόμενο Σχήμα 58, δηλ. τις ίδιες καταταμίσεις των συνασπισμών των παικτών σε ζεύγη για $n-1 = 3$ φορές, και μία διαφορετική κατάτμηση του συνόλου-πιτών $J = \{1,2,3,4,5\}$ σε δύο έτερα υποσύνολα: $\{2,3\}$ και $\{1,4,5\}$, τότε υπολογίζουμε ένα άλλο μητρώο $[P]_{4 \times 5}$:

$$\begin{bmatrix} 0.116733 & 0.131500 & 0.131500 & 0.116733 & 0.116733 \\ 0.239665 & 0.289645 & 0.289645 & 0.239665 & 0.239665 \\ 0.301665 & 0.289645 & 0.289645 & 0.301665 & 0.301665 \\ 0.341937 & 0.289211 & 0.289211 & 0.341937 & 0.341937 \end{bmatrix}_{4 \times 5} \quad (5.40)$$

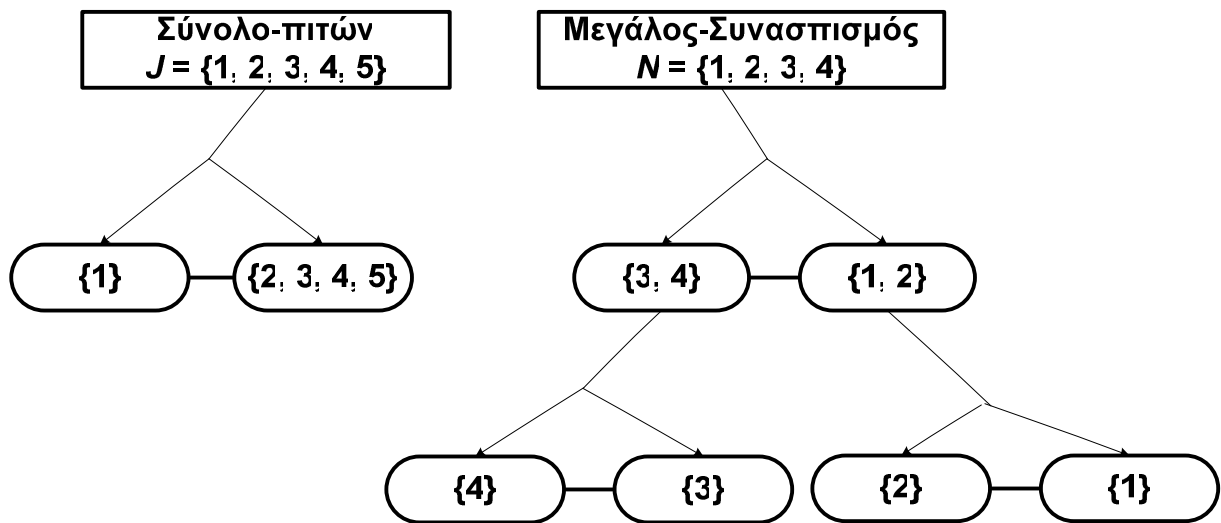
Ωστόσο, εάν χρησιμοποιήσουμε το υπόψη μητρώο καθώς και τα αντίστοιχα μητρώα $[P^j]_{5 \times 1}$, $[C_i]_{4 \times 1}$ ως εισερχόμενα, και το $[P^j]_{4 \times 1}$ ως τα εξερχόμενα σε ένα άλλο μοντέλο προσομοίωσης MCS, τότε η προσομοίωση δίνει:

$\mu_1 = 15960000, \mu_2 = 33250000, \mu_3 = 39900000, \mu_4 = 43890000$
και $\sigma_1 = 807509, \sigma_2 = 1690426, \sigma_3 = 2010668, \sigma_4 = 2226370$, επαληθεύοντας ότι η σχέση (5.21) ικανοποιείται επίσης με αυτό το $[P]_{4 \times 5}$ μητρώο.

Η σχέση (5.21) μπορεί επίσης να ικανοποιηθεί και με το σύνολο των καταταμίσεων που παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα 59. Συγκεκριμένα, μέσω της κατάτμησης του $J = \{1,2,3,4,5\}$ στα υποσύνολα $\{1\}$, $\{2,3,4,5\}$ και τη κατάτμηση του $N = \{1,2,3,4\}$ στους $\{3,4\}$, $\{1,2\}$, και τις περαιτέρω καταταμίσεις αυτών στους μονήρεις συνασπισμούς: $\{3\}$, $\{4\}$ και $\{1\}$, $\{2\}$, αντίστοιχα, υπολογίζουμε το παρακάτω μητρώο $[P]_{4 \times 5}$:



Σχήμα 58. Δεύτερο σύνολο καταταμήσεων



Σχήμα 59. Τρίτο σύνολο καταταμήσεων

$$\left[\begin{array}{ccccc}
 0.108765 & 0.125614 & 0.125614 & 0.125614 & 0.125614 \\
 0.206325 & 0.270424 & 0.270424 & 0.270424 & 0.270424 \\
 0.321950 & 0.292852 & 0.292852 & 0.292852 & 0.292852 \\
 0.363050 & 0.311110 & 0.311110 & 0.311110 & 0.311110
 \end{array} \right]_{4 \times 5} \quad (5.41)$$

, με το οποίο η προσομοίωση MCS δίνει:

$$\mu_1 = 15960000, \mu_2 = 33250000, \mu_3 = 39900000, \mu_4 = 43890000, \quad \text{και} \\ \sigma_1 = 812940, \sigma_2 = 1694398, \sigma_3 = 2053277, \sigma_4 = 2234464 .$$

Συμπερασματικά, όπως φαίνεται από τις σχέσεις (5.38), (5.40) και (5.41) τα μητρώα αυτά $[P]_{4 \times 5}$ είναι διαφορετικά, ωστόσο παράγουν το ίδιο αποτέλεσμα καθώς τα μερίδια που επιμερίζονται μεταξύ όλων των παικτών ακολουθούν κατανομές πιθανότητας σε αναλογία με το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα U που είναι η ασύμμετρη λύση NBS με άνισες κατανομές.

5.3.6.3 Ασύμμετρη NBS με ίσες κατανομές

Στη δεύτερη περίπτωση, το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα είναι η ασύμμετρη NBS όπου το πλεόνασμα επιμερίζεται ίσα μεταξύ των παικτών, σύμφωνα με τη σχέση (6): $U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = 0.25$. Εάν ακολουθήσουμε το ίδιο σύνολο καταμήσεων που παρουσιάζεται στο Σχήμα 57, δηλ. τη κατάτμηση του J στα υποσύνολα: $\{1\}$ και $\{2, 3, 4, 5\}$ και τη κατάτμηση του N στους $\{1\}$, $\{2, 3, 4\}$, και τη περαιτέρω κατάτμηση στους $\{4\}$, $\{2, 3\}$, και τη περαιτέρω κατάτμηση στους $\{2\}$, $\{3\}$, τότε υπολογίζουμε το παρακάτω $[P]_{4 \times 5}$ μητρώο:

$$\begin{bmatrix} 0.269000 & 0.240115 & 0.240115 & 0.240115 & 0.240115 \\ 0.207008 & 0.270345 & 0.270345 & 0.270345 & 0.270345 \\ 0.253522 & 0.249594 & 0.249594 & 0.249594 & 0.249594 \\ 0.270470 & 0.239946 & 0.239946 & 0.239946 & 0.239946 \end{bmatrix}_{4 \times 5} \quad (5.42)$$

Στη συνέχεια, εάν χρησιμοποιήσουμε το παραπάνω μητρώο καθώς και τα μητρώα: $[P]_{5 \times 1}$ και $[C]_{4 \times 1}$ ως εισερχόμενα, ενώ το $[U]_{4 \times 1}$ ως τα αντίστοιχα εξερχόμενα σε ένα άλλο μοντέλο MCS, τότε η προσομοίωση δίνει:

$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 33250000$, και $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 = 1691000$. Είναι ξεκάθαρο ότι αυτό το μητρώο διασφαλίζει δικαιοσύνη στο πλαίσιο της ασύμμετρης λύσης NBS με ίσες κατανομές, καθώς ικανοποιεί τη σχέση (5.21):

$$\begin{aligned} \frac{\mu_1}{\mu_2} &= \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\mu_1}{\mu_3} = \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{U_1}{U_3} = \frac{0.25}{0.25} = \frac{\mu_1}{\mu_4} = \frac{\sigma_1}{\sigma_4} = \frac{U_1}{U_4} = \\ &= \frac{\mu_2}{\mu_3} = \frac{\sigma_2}{\sigma_3} = \frac{U_2}{U_3} = \frac{\mu_2}{\mu_4} = \frac{\sigma_2}{\sigma_4} = \frac{U_2}{U_4} = \frac{\mu_3}{\mu_4} = \frac{\sigma_3}{\sigma_4} = \frac{U_3}{U_4} = \frac{0.25}{0.25} = 1 \end{aligned}$$

5.3.7 Εφαρμογές

Στο προηγούμενο αριθμητικό παράδειγμα εξετάστηκε μία γενικευμένη περίπτωση ενός συνεργατικού σχήματος, στο οποίο οι παίκτες έχοντας διαφορετικές εξοφλήσεις διαφωνίας συμφωνούν σε μία συγκεκριμένη κατανομή του συνολικού πλεονάσματος που

αποτελείται από στοχαστικά κέρδη. Ωστόσο, υπάρχουν ποικίλες πραγματικές περιπτώσεις που μπορεί να εφαρμοστεί ο υπολογιστικός αλγόριθμος που παρουσιάζεται στο παρόν άρθρο. Συγκεκριμένα, δύναται να εφαρμοστεί σε όλες τις περιπτώσεις που μπορούν να διατυπωθούν μαθηματικά σύμφωνα με τη σχέση (5.18):

$$[II_i]_{n \times 1} = [P]_{n \times m} [II^j]_{m \times 1} - [C_i]_{n \times 1} \quad (5.18)$$

Ενδεικτικά, παρατίθενται οι παρακάτω περιπτώσεις:

Ας θεωρήσουμε ένα πρόβλημα διαχείρισης υδάτων, στο οποίο n δημόσιες αρχές (παίκτες) με σταθερές εξοφλήσεις διαφωνίας σε νερό (C_1, \dots, C_n), διαπραγματεύονται πάνω από τον εμπιμερισμό των υδάτων που συλλέγονται από διάφορες πηγές (πίτες), π.χ. από ποτάμια, δεξαμενές όμβριων υδάτων, εγκαταστάσεις καθαρισμού λυμάτων, κτλ. Εάν αυτές οι πίτες ακολουθούν κανονικές κατανομές πιθανότητας και όλοι οι παίκτες έχουν ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του κινδύνου και συμφωνήσουν σε μία NBS (είτε συμμετρική ή ασύμμετρη), τότε η προτεινόμενη μέθοδος που παρουσιάζεται σε αυτό το άρθρο μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά. Ειδικότερα, οι παίκτες δύναται να υπολογίσουν ένα μητρώο $[P]_{n \times m}$, το οποίο αντιπροσωπεύει το ποσοστό του ύδατος από κάθε πηγή που θα πρέπει να διανεμηθεί σε έκαστη περιοχή, προκειμένου να διασφαλιστεί η δικαιοσύνη στο πλαίσιο της λύσης NBS.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι ένα πρόβλημα διαχείρισης στερών αποβλήτων, όπου οι διευθυντές n μονάδων αποτέφρωσης (παίκτες) που έχουν διαφορετικές εξοφλήσεις διαφωνίας αποβλήτων (C_1, \dots, C_n), διαπραγματεύονται πάνω από τη διαίρεση του όγκου των αποβλήτων που προκύπτουν από διαφορετικές περιοχές (πίτες). Συγκεκριμένα, εάν αυτές οι πίτες ακολουθούν κανονικές κατανομές πιθανότητας και οι παίκτες με ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του κινδύνου (οι οποίοι επιθυμούν τη μεγιστοποίηση του όγκου των αποβλήτων που υφίστανται επεξεργασία στις μονάδες τους προκειμένου να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους), συμφωνήσουν σε μία συγκεκριμένη NBS, τότε ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να εφαρμοστεί για τον υπολογισμό του όγκου των αποβλήτων που πρέπει να κατανεμηθούν σε κάθε μονάδα από κάθε περιοχή.

Επιπροσθέτως, ο υπολογιστικός αλγόριθμος μπορεί να εφαρμοστεί σε δίκτυα εφοδιαστικών αλυσίδων όπου n παίκτες με ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του κινδύνου (κατασκευαστές, ή / και προμηθευτές, ή / και πωλητές λιανικής), έχοντας σταθερές νομισματικές εξοφλήσεις διαφωνίας (C_1, \dots, C_n), διαπραγματεύονται πάνω από τη κατανομή των εσόδων και του κόστους που προκύπτουν μέσω της συνεργασίας. Σε αυτή τη περίπτωση, οι πίτες αντιπροσωπεύουν τα επιχειρησιακά έσοδα, π.χ. από τη πώληση διαφορετικών προϊόντων, και το σχετικό κόστος, π.χ. υποδομών, διαφημίσεων, διανομής και αποθήκευσης, κτλ. Συγκεκριμένα, δεδομένου ότι η ζήτηση δεν πραγματώνεται όταν σχηματίζεται το δίκτυο εφοδιαστικών αλυσίδων, αυτές οι πίτες δύναται να θεωρηθούν ως στοχαστικές μεταβλητές που ακολουθούν κανονικές κατανομές πιθανότητας. Εάν οι παίκτες διαπραγματευτούν και συμφωνήσουν σε μία συγκεκριμένη λύση NBS (είτε συμμετρική ή ασύμμετρη), τότε ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να εφαρμοστεί για τον υπολογισμό του ποσοστού από κάθε πίτα που θα πρέπει να επιμεριστεί σε έκαστο παίκτη.

5.3.8 Συμπεράσματα

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, ένα από τα πλέον ευρέως εξεταζόμενα προβλήματα είναι η δίκαιη διαίρεση ενός πλεονάσματος μεταξύ των παικτών. Σε αυτό το άρθρο, επικεντρωνόμαστε σε περιπτώσεις όπου πολλαπλές στοχαστικές πίτες θα πρέπει να επιμεριστούν μεταξύ πολλαπλών παικτών με σταθερές εξοφλήσεις διαφωνίας, σύμφωνα με τη διαπραγματευτική λύση NBS για τη διαίρεση του συνολικού πλεονάσματος. Συγκεκριμένα, εισάγουμε το δικαϊκό αξίωμα, σύμφωνα με το οποίο η δικαιοσύνη επιτυγχάνεται όταν τα στοχαστικά μερίδια που επιμερίζονται μεταξύ των παικτών ακολουθούν κατανομές πιθανότητας που είναι σε αναλογία με τη λύση NBS. Παρουσιάζουμε μία καινοτόμο μέθοδο που μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες καταστάσεις, προκειμένου να υπολογιστεί το ποσοστό από έκαστη πίδα που θα πρέπει να κατανεμηθεί σε έκαστο παίκτη. Αποδεικνύεται ότι υπάρχουν πεπερασμένες δυνατές λύσεις που εξαρτώνται από τη κατάτμηση του συνόλου-πιτών σε δύο υποσύνολα και τις συνεχείς κατατμήσεις του μεγάλου-συνασπισμού σε δύο συνασπισμούς, μέχρι τελικά όλοι οι παίκτες να αποτελούν μονήρεις συνασπισμούς. Συμπερασματικά, ο υπολογιστικός αλγόριθμος που εισάγεται σε αυτή την ενότητα μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για τις λήψεις αποφάσεων σε αβέβαιο περιβάλλον, καθώς βοηθά τους παίκτες να υπολογίσουν λύσεις που διασφαλίζουν τη δικαιοσύνη στο πλαίσιο μίας συμμετρικής ή ασύμμετρης διαπραγματευτικής λύσης NBS.

Υπολογίζουμε τα δυνατά μητρώα $[P]_{n \times m}$ που παρουσιάζονται στον Πίνακα 38, με τη χρήση του λογισμικού Wolfram Research Mathematica Version 7.0. Για την ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης Μόντε Κάρλο εντός του υπολογιστικού αλγορίθμου, προτείνουμε τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών προκειμένου να προκύπτουν ακριβή αποτελέσματα.

5.4 Περιπτωσιολογική μελέτη εφαρμογής του μοντέλου για τον δίκαιο επιμερισμό πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών σε πολλαπλούς παίκτες

5.4.1 Δεδομένα

Η περιπτωσιολογική μελέτη αφορά στην εφαρμογή του μοντέλου δίκαιου επιμερισμού πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών σε πολλαπλούς παίκτες για μία συγκεκριμένη Σύμπραξη μελετητών. Η εν λόγω Σύμπραξη συγκροτήθηκε το 2011, προκειμένου να συμμετάσχει στο διαγωνισμό για την ανάθεση της μελέτης με τίτλο: «Βελτίωση εγκαταστάσεων καυσίμων στο Α/Δ Ελευσίνας (M/E-291N)». Η περίληψη της προκήρυξης σύμβασης για την εκπόνηση της μελέτης δημοσιεύτηκε στο υπ' αριθμ. 2625 Ενημερωτικό Δελτίο του Τ.Ε.Ε. (ημερ. 11 Απρ. 2011). Συγκεκριμένα, Αναθέτουσα Αρχή είναι το ΥΠΕΘΑ/ΓΕΑ/ΥΠΕΠΑ, και η προεκτιμώμενη αμοιβή ανέρχεται σε 828.576,46 € πλέον ΦΠΑ, υπερβαίνοντας το άνω όριο της Οδηγίας 2004/18.

Επισημαίνεται ότι στη παρούσα Διατριβή δεν αναφέρεται κανένα όνομα φυσικού προσώπου ή Εταιρείας, προκειμένου να προστατευθούν τα προσωπικά δεδομένα των ατόμων που απαρτίζουν την εν λόγω Σύμπραξη. Ωστόσο, το αντίγραφο του πρακτικού συνεδρίασης της εν λόγω Σύμπραξης, σύμφωνα με το οποίο καθορίζεται ο επιμερισμός συγκεκριμένων ποσοστών αμοιβών σε έκαστο συμπρατούντα, γνωστοποιήθηκε τόσο στη Τριμελή Συμβουλευτική επιτροπή όσο και στην Επταμελή Επιτροπή Εξέτασης της παρούσας Διατριβής, προκειμένου να τεκμηριωθεί η αληθοφάνεια και ο ρεαλισμός της περιπτωσιολογικής μελέτης.

Σύμφωνα με τη παραπάνω προκήρυξη, η εκπόνηση της μελέτης περιλαμβάνει 8 διαφορετικές κατηγορίες μελετών, με συγκεκριμένες προεκτιμώμενες αμοιβές για κάθε μία, οι οποίες παρουσιάζονται στο παρακάτω Πίνακα 40.

Πίνακας 40. Κατηγορίες μελετών, Τάξεις Πτυχίων και προεκτιμώμενες αμοιβές

A/A	Κατηγορία / Τάξη Πτυχίου	Είδος Μελέτης	Προεκτιμώμενη Αμοιβή (σε €)
1	-	Τεύχη Δημοπράτησης	63.927,73
2	-	ΣΑΥ – ΦΑΥ	8.427,99
3	6 / Β' ή Γ'	Αρχιτεκτονική	43.980,64
4	8 / Γ' ή Δ'	Στατική	46.674,04
5	9 / Ε'	Ηλεκτρομηχανολογική	564.722,18
6	10 / Α'	Συγκοινωνιακή	3.706,14
7	13 / Α'	Υδραυλική	10.969,22
8	21 / Γ'	Γεωτεχνική	86.168,52
Σύνολο			828.576,46

Όπως φαίνεται, οι 6 από τις 8 κατηγορίες μελετών προϋποθέτουν τη συμμετοχή μελετητών με συγκεκριμένες Τάξεις Πτυχίων, ενώ οι άλλες 2 κατηγορίες αφορούν στη σύνταξη των Τευχών Δημοπράτησης καθώς και στο Σχέδιο Ασφάλειας Υγείας – Φάκελο Ασφάλειας Υγείας (ΣΑΥ-ΦΑΥ). Αξίζει να αναφερθεί ότι η διακήρυξη απαγορεύει την υποβολή προσφορών μέσω της κατανομής της μελέτης σε τμήματα, δηλ. έκαστη υποβαλλόμενη προσφορά θα πρέπει να πληρεί το σύνολο των απαιτήσεων που αναφέρονται στον παραπάνω Πίνακα. Λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις στις Τάξεις των Πτυχίων για έκαστη κατηγορία μελέτης, συγκροτήθηκε στις 11 Μαί. 2011 το Διοικητικό Συμβούλιο συγκεκριμένης Εταιρείας συμβούλων Μηχανικών Α.Ε., προκειμένου να εγκρίνει τη Σύμπραξη με έτερους μελετητές / γραφεία μελετών, και να ορίσει νόμιμους εκπροσώπους για τη συμμετοχή της Σύμπραξης στον προαναφερόμενο διαγωνισμό για την ανάθεση της μελέτης.

Κατόπιν διαπραγμάτευσης που εκτελέστηκε μεταξύ του συνόλου των μελετητών / γραφείων μελετών, συγκροτήθηκε η συγκεκριμένη Σύμπραξη, στην οποία συμμετέχουν 6 διαφορετικοί μελετητές. Το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης είναι μία συγκεκριμένη κατανομή των αμοιβών (σε ποσοστά επί τοις εκατό), τις οποίες θα λάβει έκαστος μελετητής στη περίπτωση που η Σύμπραξη ανακηρυχθεί Ανάδοχος του δημοπρατούμενου έργου εκπόνησης της μελέτης. Το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα κυρώθηκε με Σύμβαση μεταξύ των μελετητών, οπότε στο πλαίσιο διασφάλισης της ανωνυμίας και προστασίας τυχόν ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων, οι εν λόγω συμπρατούντες θα αναφέρονται ως «παίκτες» με τον αντίστοιχο αύξοντα αριθμό (Α/Α) που περιλαμβάνεται στο παρακάτω Πίνακα 41, δηλ. παίκτης 1, παίκτης 2, ..., παίκτης 6. Όπως φαίνεται στον υπόψη Πίνακα, από τις 8 κατηγορίες μελετών, οι 6 είναι αδιαίρετες και κατανέμονται εξολοκλήρου (100%) σε κάθε ένα παίκτη, σύμφωνα με τη Τάξη του Πτυχίου αυτού, ενώ οι λοιπές 2 κατηγορίες είναι διαιρετές και κατανέμονται με συγκεκριμένα ποσοστά σε έκαστο παίκτη.

Πίνακας 41. Σύμβαση επιμερισμού αμοιβών μεταξύ των συμπρατούντων ανά κατηγορία μελέτης

Α/Α	Παίκτης	Τάξη Πτυχίου	Κατανομή Αμοιβής		
			Μελέτες (100%)	Τεύχη Δημοπράτησης	ΣΑΥ - ΦΑΥ
1	1	06 Β	Αρχιτεκτονική	5,82%	5,82%
2	2	08 Γ	Στατική	6,17%	6,17%
3	3	09 Ε	Ηλεκτρομηχανολογική	74,68%	74,68%
4	4	10 Α	Συγκοινωνιακή	0,49%	0,49%
5	5	13 Α	Υδραυλική	1,45%	1,45%
6	6	21 Γ	Γεωτεχνική	11,39%	11,39%
			Σύνολο	100,00%	100,00%

5.4.2 Μαθηματική διατύπωση σύμφωνα με τη θεωρία των συνεργατικών παιγνίων

Προκειμένου να επιτευχθεί η εφαρμογή του μοντέλου δίκαιου επιμερισμού στη εν λόγω περίπτωση, εφαρμόζεται αρχικά η βασική ορολογία της θεωρίας των συνεργατικών παιγνίων. Συγκεκριμένα:

Α) Η Σύμπραξη των μελετητών αντιστοιχεί σε ένα πεπερασμένο σύνολο παικτών, που ονομάζεται μεγάλος-συνασπισμός και συμβολίζεται με N , δηλ.: $N = \{1,2,3,4,5,6\}$.

Β) Οι κατηγορίες μελετών σύμφωνα με τον Αύξοντα Αριθμό του προηγούμενου Πίνακα 40 ονομάζονται πίτες και συγκροτούν ένα πεπερασμένο σύνολο που ονομάζεται σύνολο-πιτών και συμβολίζεται με J , δηλ.: $J = \{1,2,3,4,5,6,7,8\}$.

Γ) Οι αμοιβές των μελετών ανά κατηγορία συμβολίζονται με Π^j , όπου ο δείκτης $j = 1,2,3,\dots,8$ αντιστοιχεί στη κατηγορία μελέτης (πίτα): 1,2,3,...,8 αντίστοιχα.

Δ) Η συνολική αμοιβή που αντιστοιχεί σε έκαστο παίκτη συμβολίζεται με Π_i , όπου ο δείκτης $i = 1,2,3,\dots,6$ αντιστοιχεί στον παίκτη: 1,2,3,...,6 αντίστοιχα.

Ε) Συμβολίζουμε με U_i την αναλογία της αμοιβής που επιμερίζεται σε έκαστο παίκτη επί της συνολικής αμοιβής της Σύμπραξης (του μεγάλου-συνασπισμού). Η αναλογία αυτή δίνεται από τη σχέση (5.43):

$$U_i = \frac{\Pi_i}{\sum_{j=1}^8 \Pi^j}, \forall i \in N \quad (5.43)$$

Τούτο σημαίνει ότι το διάνυσμα των αναλογιών $U \in \mathbb{R}^N$ ορίζει το συμβατικό αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης, δηλ. τον επιμερισμό της συνολικής αμοιβής του μεγάλου-συνασπισμού όπως η παρακάτω σχέση (5.44):

$$U = (U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6) = (0.0582, 0.0617, 0.7468, 0.0049, 0.0145, 0.1139) \quad (5.44)$$

Αξίζει να αναφερθεί ότι εφόσον το αποτέλεσμα αυτό είναι αποτελεσματικό, δηλ. το σύνολο των αμοιβών των μελετών επιμερίζεται στους παίκτες: $\sum_{i=1}^6 U_i = 1$, η κατανομή U ικανοποιεί τα αξιώματα της εφικτότητας και βελτιστότητας κατά Pareto.

ΣΤ) Συμβολίζουμε με p_i^j το ποσοστό της κατηγορίας μελέτης (πίτας) $j \in J$ που επιμερίζεται στον μελετητή (παίκτη) $i \in N$. Από τον Πίνακα 41 (κατανομή των συνολικών αμοιβών) προκύπτουν τα ποσοστά επιμερισμού έκαστης πίτας σε έκαστο παίκτη. Όπως φαίνεται, υπάρχουν 6 αμοιβές μελετών (πίτες), δηλ. η 3,4,5,6,7, και 8 που είναι αδιαίρετες και επιμερίζονται μονοσήμαντα (100%) στους μελετητές (παίκτες) 1,2,3,4,5, και 6, αντίστοιχα. Οι λοιπές 1 και 2 αμοιβές μελετών (πίτες 1 και 2) επιμερίζονται αναλογικά μεταξύ των παικτών όπως φαίνεται στην επόμενη σχέση (5.45):

$$\begin{aligned}
 [P]_{6 \times 8} &= [p_{ij}^j]_{6 \times 8} = \begin{bmatrix} p_1^1 & p_1^2 & p_1^3 & p_1^4 & p_1^5 & p_1^6 & p_1^7 & p_1^8 \\ p_2^1 & p_2^2 & p_2^3 & p_2^4 & p_2^5 & p_2^6 & p_2^7 & p_2^8 \\ p_3^1 & p_3^2 & p_3^3 & p_3^4 & p_3^5 & p_3^6 & p_3^7 & p_3^8 \\ p_4^1 & p_4^2 & p_4^3 & p_4^4 & p_4^5 & p_4^6 & p_4^7 & p_4^8 \\ p_5^1 & p_5^2 & p_5^3 & p_5^4 & p_5^5 & p_5^6 & p_5^7 & p_5^8 \\ p_6^1 & p_6^2 & p_6^3 & p_6^4 & p_6^5 & p_6^6 & p_6^7 & p_6^8 \end{bmatrix} \Leftrightarrow \\
 [P]_{6 \times 8} &= [p_{ij}^j]_{6 \times 8} = \begin{bmatrix} 0,0582 & 0,0582 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,0617 & 0,0617 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,7468 & 0,7468 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,0049 & 0,0049 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0,0145 & 0,0145 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0,1139 & 0,1139 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{5.45}
 \end{aligned}$$

5.4.3 Στοχαστική μοντελοποίηση και δικαιοσύνη

Σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι ξεκάθαρο ότι το συμβατικό αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης που απεικονίζεται στη κατανομή των διαρετών αμοιβών μελετών (δηλ. της πίτας 1 και της πίτας 2) στο μητρώο της σχέσης (5.45) ακολουθεί την αναλογική κατανομή, όπως αυτή περιγράφεται από τον Moulin (1987). Αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με τον Κοπω (2003), η βασική θεώρηση της δικαιοσύνης (equity theory) μεταξύ δύο ατόμων περιγράφεται από την αναλογική σχέση (5.46) που βασίζεται στο απόφθεγμα του Αριστοτέλη περί δικαιοσύνης και αναλογικότητας (βλ ακόμα Binmore, 2003):

$$\frac{O_A}{I_A} = \frac{O_B}{I_B} \tag{5.46}$$

Στη παραπάνω σχέση, με O συμβολίζονται τα εξερχόμενα (στη προκειμένη περίπτωση οι αμοιβές μελετών) και με I συμβολίζονται τα αντίστοιχα εισερχόμενα από τον κάθε παίκτη A και B . Με άλλα λόγια, ο λόγος των εξερχομένων (αμοιβών) προς την αντίστοιχη συμβολή (εκπόνηση μελέτης) για έκαστο παίκτη θα πρέπει να ισούται με τον αντίστοιχο λόγο του άλλου παίκτη.

5.4.3.1 Παραδοχές

Σε αυτό το σημείο, προκειμένου να επιτευχθεί η στοχαστική μοντελοποίηση, εφαρμόζονται δύο συγκεκριμένες λογικές παραδοχές στη περιπτωσιολογική μελέτη. Συγκεκριμένα, οι εξοφλήσεις διαφωνίας των παικτών είναι μηδενικές, δηλ. τα κέρδη που θα λαμβάνανε αν δεν συμμετείχαν στη Σύμπραξη, και επιπλέον οι 8 αμοιβές μελετών (πίτες) αποτελούν στοχαστικές μεταβλητές, καθώς υφίσταται αβεβαιότητα ως προς το τελικό

μέγεθός τους. Ειδικότερα, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι εν λόγω τιμές των 8 μελετών είναι προεκτιμώμενες, δεν δύνανται να αποτελέσουν ντετερμινιστικές τιμές, καθώς ενδέχεται οι τελικές αμοιβές μελετών που θα λάβει ο μεγάλος-συνασπισμός να είναι διαφορετικές, είτε μεγαλύτερες είτε μικρότερες σε σχέση με τις αρχικά προεκτιμηθείσες. Σύμφωνα με αυτή τη παραδοχή, εγγράφεται μία κανονική κατανομή πιθανότητας σε έκαστη αμοιβή μελέτης (πίτα), η οποία συμβολίζεται με $\Pi^j(\mu^j, \sigma^{j^2})$. Η μέση τιμή (μ^j) σε έκαστη πίτα ισούται με τη προεκτιμώμενη τιμή, ενώ η τυπική απόκλιση (σ^j) για τις διαιρετές πίτες 1 και 2 φαίνεται στο παρακάτω Πίνακα 42 και οι αντίστοιχες μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των αδιαίρετων πιτών 3 έως και 8 (αναλαμβάνονται εξ' ολοκλήρου από διαφορετικούς μελετητές), στον επόμενο Πίνακα 43.

Πίνακας 42. Κανονικές κατανομές πιθανότητας $\Pi^j(\mu^j, \sigma^{j^2})$ των διαιρετών αμοιβών μελετών ($j=1,2$)

A/A	Είδος Μελέτης	Μέση τιμή: μ^j	Τυπική απόκλιση: σ^j
$j = 1$	Τεύχη Δημοπράτησης	63.927,73	28.767,47
$j = 2$	ΣΑΥ - ΦΑΥ	8.427,99	3.792,59

Πίνακας 43. Κανονικές κατανομές πιθανότητας $\Pi^j(\mu^j, \sigma^{j^2})$ των αδιαίρετων αμοιβών μελετών ($j=3,4,5,\dots,8$)

A/A	Είδος Μελέτης	Μέση τιμή: μ^j	Τυπική απόκλιση: σ^j
$j = 3$	Αρχιτεκτονική	43.980,64	2.199,03
$j = 4$	Στατική	46.674,04	2.333,70
$j = 5$	Ηλεκτρομηχανολογική	564.722,18	28.236,11
$j = 6$	Συγκοινωνιακή	3.706,14	185,31
$j = 7$	Υδραυλική	10.969,22	548,46
$j = 8$	Γεωτεχνική	86.168,52	4.308,43

5.4.3.2 Αδυναμία διασφάλισης δικαιοσύνης σύμφωνα με αρχική κατανομή

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συνολική επιμεριζόμενη αμοιβή σε έκαστο παίκτη Π_i , δίνεται από το άθροισμα των γινομένων των αμοιβών κάθε κατηγορίας μελέτης με τα ποσοστά που αντιστοιχούν σε έκαστο παίκτη i , σύμφωνα με τη σχέση (5.47):

$$\Pi_i = \Pi^1 p_i^1 + \Pi^2 p_i^2 + \dots + \Pi^8 p_i^8 = \sum_{j=1}^8 (\Pi^j p_i^j) \quad (5.47)$$

Κατά συνέπεια, η χαρακτηριστική συνάρτηση επιμερισμού των αμοιβών μελετών σε όλους τους παίκτες δύνανται να γραφεί σύμφωνα με τη μητρική σχέση (5.48):

$$[\Pi_i]_{8 \times 1} = [P]_{6 \times 8} [\Pi^j]_{8 \times 1} \quad (5.48)$$

Στη περίπτωση αυτή, εξετάζουμε εάν διασφαλίζεται η δικαιοσύνη μεταξύ των παικτών που συγκροτούν το μεγάλο-συνασπισμό, αναπτύσσοντας ένα μοντέλο προσομοίωσης Μόντε Κάρλο σύμφωνα με τη παραπάνω σχέση (5.48).

Χρησιμοποιώντας το δικαϊκό αξίωμα που αναπτύχθηκε στη προηγούμενη παράγραφο 5.3 της Διατριβής, η δικαιοσύνη επιτυγχάνεται όταν οι αναλογίες των μέσων τιμών των αμοιβών για όλους τους παίκτες ισούνται με τις αναλογίες των τυπικών αποκλίσεων και με τις αναλογίες του διαπραγματευτικού αποτελέσματος:

$$\frac{\mu_i}{\mu_k} = \frac{\sigma_i}{\sigma_k} = \frac{U_i}{U_k}, \quad \forall i, k \in N \quad (5.21)$$

Στο μοντέλο προσομοίωσης, ως εισερχόμενα ορίζουμε τις τιμές των κανονικών κατανομών πιθανότητας που φαίνονται στους Πίνακες 42 και 43 για το μητρώο $[\Pi^j]_{8 \times 1}$ και τις τιμές των ποσοστών επιμερισμού της σύμβασης από τη σχέση (5.45) στο αντίστοιχο μητρώο $[P]_{6 \times 8}$, ενώ ως εξερχόμενα ορίζουμε τις συνολικές αμοιβές για έκαστο παίκτη, δηλ. το μητρώο $[\Pi_i]_{8 \times 1}$. Σύμφωνα με αυτή τη διαδικασία, η υλοποίηση της προσομοίωσης με 5000 επαναλήψεις, δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα για τις μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των αμοιβών των παικτών:

$$\mu_1 = 48191.6, \mu_2 = 51138.1, \mu_3 = 618756.7, \mu_4 = 4060.6, \mu_5 = 12018.3, \mu_6 = 94409.5, \text{ και} \\ \sigma_1 = 2803.5, \sigma_2 = 2967.3, \sigma_3 = 35365.5, \sigma_4 = 233.6, \sigma_5 = 687.5, \sigma_6 = 5452.4.$$

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι εφόσον οι αμοιβές μελετών του έργου ακολουθούν κατανομές πιθανότητας έχοντας διακύμανση ως προς τη προεκτιμώμενη (μέση) τιμή τους, τότε η κατανομή των αμοιβών μελετών που περιλαμβάνεται στη σύμβαση (Πίνακας 41) δε διασφαλίζει τη δικαιοσύνη μεταξύ των παικτών που συγκροτούν το μεγάλο-συνασπισμό. Αυτό εξάγεται καθώς ναι μεν οι αναμενόμενες (μέσες) τιμές των αμοιβών για έκαστο παίκτη διατηρούν την επιθυμητή αναλογία με το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα για όλους τους παίκτες:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{0.0582}{0.0617}, \frac{\mu_1}{\mu_3} = \frac{U_1}{U_3} = \frac{0.0582}{0.7468}, \frac{\mu_1}{\mu_4} = \frac{U_1}{U_4} = \frac{0.0582}{0.0049}, \frac{\mu_1}{\mu_5} = \frac{U_1}{U_5} = \frac{0.0582}{0.0145}, \\ \frac{\mu_1}{\mu_6} = \frac{U_1}{U_6} = \frac{0.0582}{0.1139}, \frac{\mu_2}{\mu_3} = \frac{U_2}{U_3} = \frac{0.0617}{0.7468}, \frac{\mu_2}{\mu_4} = \frac{U_2}{U_4} = \frac{0.0617}{0.0049}, \dots, \frac{\mu_5}{\mu_6} = \frac{U_5}{U_6} = \frac{0.0145}{0.1139}$$

πλην όμως οι αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις των αμοιβών των παικτών είναι δυσανάλογες

τόσο ως προς τις μέσες τιμές τους, όσο και ως προς το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \neq \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{U_1}{U_2}, \frac{\sigma_1}{\sigma_3} \neq \frac{\mu_1}{\mu_3} = \frac{U_1}{U_3}, \frac{\sigma_1}{\sigma_4} \neq \frac{\mu_1}{\mu_4} = \frac{U_1}{U_4}, \frac{\sigma_1}{\sigma_5} \neq \frac{\mu_1}{\mu_5} = \frac{U_1}{U_5}, \frac{\sigma_1}{\sigma_6} \neq \frac{\mu_1}{\mu_6} = \frac{U_1}{U_6},$$

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_3} \neq \frac{\mu_2}{\mu_3} = \frac{U_2}{U_3}, \frac{\sigma_2}{\sigma_4} \neq \frac{\mu_2}{\mu_4} = \frac{U_2}{U_4}, \dots, \frac{\sigma_5}{\sigma_6} \neq \frac{\mu_5}{\mu_6} = \frac{U_5}{U_6}$$

Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι οι στοχαστικές μεταβλητές που στην εξεταζόμενη περίπτωση είναι οι 8 αμοιβές των μελετών, δεν έχουν επιμεριστεί με δικαιοσύνη και σύμφωνα με το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα.

5.4.4 Εφαρμογή μοντέλου για το δίκαιο επιμερισμό πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών σε πολλαπλούς παίκτες

Σε αυτή την ενότητα εφαρμόζεται το μοντέλο για το δίκαιο επιμερισμό των στοχαστικών μεταβλητών (αμοιβών ανά κατηγορία μελέτης) σύμφωνα με τη συμβατική κατανομή $U \in \mathcal{X}^N$:

$$U = (U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6) = (0.0582, 0.0617, 0.7468, 0.0049, 0.0145, 0.1139) \quad (5.44)$$

Αρχικά, παρατηρούμε ότι δεν δύναται να επιτευχθεί καμία αλλαγή στις αδιαίρετες αμοιβές μελετών (3 έως και 8). Αυτό συμβαίνει καθώς οι εν λόγω μελέτες δύναται να εκπονηθούν αποκλειστικά από τους αντίστοιχους μελετητές με τις οριζόμενες Τάξεις Πτυχίων, οπότε και έκαστος μελετητής θα λάβει τη συνολική αμοιβή από την αντίστοιχη μελέτη. Στον αντίποδα, οι αμοιβές των λοιπών κατηγοριών μελετών 1 και 2 (Τεύχη δημοπράτησης και ΣΑΥ-ΦΑΥ) επιμερίζονται μεταξύ του συνόλου των μελετητών με διαφορετικά ποσοστά σε κάθε έναν.

Από τα παραπάνω, προκύπτει η αρχική κατάτμηση του συνόλου-πιτών (αμοιβών ανά κατηγορία μελέτης) J σε δύο υποσύνολα J_A, J_B , όπου $J_A = \{1,2\}$ και ονομάζεται: «Σύνολο Διαιρετών πιτών» και $J_B = \{3,4,5,6,7,8\}$ που ονομάζεται: «Σύνολο Αδιαίρετων πιτών».

Σύμφωνα με αυτή τη κατάτμηση, ορίζουμε ως αγνώστους τα στοιχεία p_i^j του παρακάτω μητρώου $[P]_{6 \times 2}^{j \in J_A}$, όπου το $j \in J_A$ είναι το ποσοστό της κατηγορίας μελέτης που επιμερίζεται στον μελετητή (παίκτη) $i \in N$:

$$[P]_{6 \times 2}^{j \in J_A} = \begin{bmatrix} p_1^1 & p_1^2 \\ p_2^1 & p_2^2 \\ p_3^1 & p_3^2 \\ p_4^1 & p_4^2 \\ p_5^1 & p_5^2 \\ p_6^1 & p_6^2 \end{bmatrix} \quad (5.49)$$

Παράλληλα, τηρούμε ως δεδομένο το παρακάτω μητρώο $[P]_{6 \times 6}^{j \in J_B}$ για το Σύνολο των Αδιαίρετων πιτών:

$$[P]_{6 \times 6}^{j \in J_B} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.49)$$

Σύμφωνα με αυτή τη διαδικασία, η χαρακτηριστική συνάρτηση (5.48) μετασχηματίζεται στη παρακάτω σχέση (5.50):

$$[\Pi_i]_{8 \times 1} = [P]_{6 \times 2}^{j \in J_A} [\Pi^j]_{2 \times 1}^{j \in J_A} + [P]_{6 \times 6}^{j \in J_B} [\Pi^j]_{6 \times 1}^{j \in J_B} \quad (5.50)$$

η οποία είναι ίδια με τη χαρακτηριστική συνάρτηση του μοντέλου για το δίκαιο επιμερισμό πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών σε πολλαπλούς παίκτες. Κατά συνέπεια, εφαρμόζουμε τον υπολογιστικό αλγόριθμο που παρουσιάστηκε στη προηγούμενη παράγραφο 5.3 της Διατριβής. Συγκεκριμένα, ακολουθείται ένα συγκεκριμένο σύνολο κατατμήσεων του μεγάλου-συνασπισμού N σε μή-κενούς συνασπισμούς για $n - 1 = 5$ φορές (μέχρις ότου όλοι οι παίκτες να συγκροτήσουν μονήρεις), όπως παρουσιάζεται στο επόμενο Σχήμα 60.

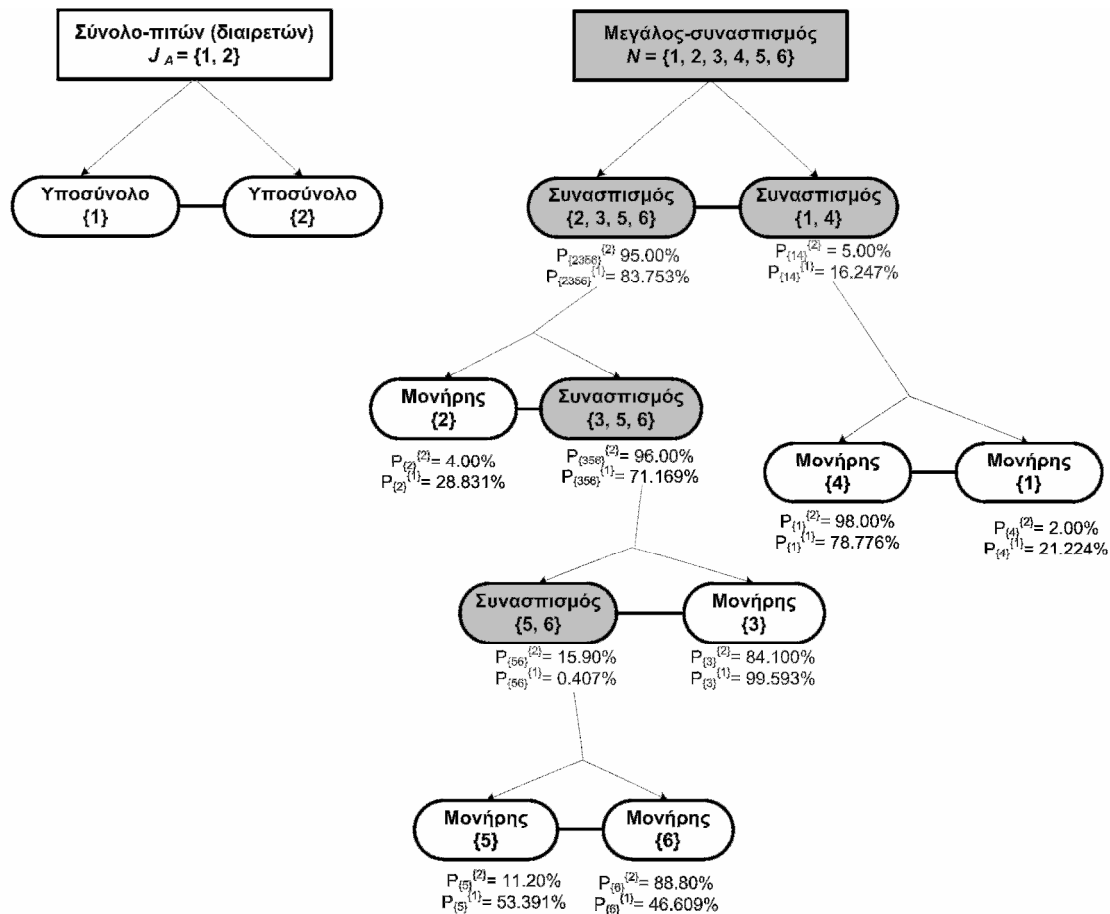
- **Βήμα 1.** Κατάτμηση του συνόλου-πιτών (διαιρετών) J_A σε δύο μή κενά υποσύνολα: $\{1\}$ και $\{2\}$.
- **Βήμα 2.** Τυχαία κατάτμηση του μεγάλου-συνασπισμού N σε δύο μή κενούς συνασπισμούς: $\{2, 3, 5, 6\}$ και $\{1, 4\}$.
- **Βήμα 3.** Ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης Μόντε Κάρλο (MCS), όπου τα μητρώα $[P]_{6 \times 2}^{j \in J_A}, [\Pi^j]_{2 \times 1}^{j \in J_A}, [P]_{6 \times 6}^{j \in J_B}, [\Pi^j]_{6 \times 1}^{j \in J_B}$ είναι εισερχόμενα και τα $\Pi_{\{2356\}}$ και $\Pi_{\{14\}}$, τα αντίστοιχα εξερχόμενα σύμφωνα με τις σχέσεις (5.51), (5.52):

$$\Pi_{\{2356\}} = p_{\{2356\}}^{(1)} \Pi^1 + p_{\{2356\}}^{(2)} \Pi^2 + \Pi^4 + \Pi^5 + \Pi^7 + \Pi^8 \quad (5.51)$$

$$\Pi_{\{14\}} = p_{\{14\}}^{(1)} \Pi^1 + p_{\{14\}}^{(2)} \Pi^2 + \Pi^3 + \Pi^6 \quad (5.52)$$

- **Βήμα 4.** Αρχικά, επιλέγουμε μία συγκεκριμένη τιμή: $p_{\{2356\}}^{(2)} = 0.97$. Για τη τιμή αυτή, είναι: $p_{\{14\}}^{(2)} = 1 - 0.97 = 0.03$, ενώ από τις παρακάτω σχέσεις (...), (...), υπολογίζουμε: $p_{\{2356\}}^{(1)} = 0.6858$ και $p_{\{14\}}^{(1)} = 1 - 0.6858 = 0.3141$:

$$\mu_{\{2356\}} = \mu_N (U_2 + U_3 + U_5 + U_6) = p_{\{2356\}}^{(1)} \mu^1 + p_{\{2356\}}^{(2)} \mu^2 + \mu^4 + \mu^5 + \mu^7 + \mu^8 \quad (27)$$



Σχήμα 60. Πρώτο σύνολο κατατμήσεων στη περιπτωσιολογική μελέτη

$$\mu_{\{14\}} = \mu_N (U_1 + U_4) = p_{\{14\}}^{(1)} \mu^1 + p_{\{14\}}^{(2)} \mu^2 + \mu^3 + \mu^6 \quad (28)$$

Για αυτό το σενάριο: $(p_{\{2356\}}^{(2)} = 0.97, p_{\{14\}}^{(2)} = 0.03, p_{\{2356\}}^{(1)} = 0.6858, p_{\{14\}}^{(1)} = 0.3142)$, εκτελούμε τη προσομοίωση MCS και λαμβάνουμε: $\sigma_{\{2356\}} = 39953$, και $\sigma_{\{14\}} = 2782$. Είναι ξεκάθαρο ότι αυτό το σενάριο δεν ικανοποιεί τη σχέση (24), καθώς:

$$\frac{\sigma_{\{2356\}}}{\sigma_{\{14\}}} = \frac{39953}{2782} \neq \frac{U_2 + U_3 + U_5 + U_6}{U_1 + U_4} = \frac{0.9369}{0.0631} = \frac{\mu_{\{2356\}}}{\mu_{\{14\}}} = \frac{776324}{52250}$$

Στη συνέχεια, εξετάζουμε εναλλακτικά σενάρια που προκύπτουν για διάφορες τιμές του $p_{\{2356\}}^{(1)}$, και υπολογίζουμε τα ακριβή ποσοστά που ικανοποιούν τη σχέση (5.33):

$$(p_{\{2356\}}^{(2)} = 0.95, p_{\{14\}}^{(2)} = 0.05, p_{\{2356\}}^{(1)} = 0.8375, p_{\{14\}}^{(1)} = 0.1624)$$

- **Βήμα 5.** Επιστρέφουμε στο Βήμα 2 και χρησιμοποιούμε τα ποσοστά : $(p_{\{14\}}^{(2)} = 0.05, p_{\{14\}}^{(1)} = 0.1624)$ στη κατάτμηση του συνασπισμού $\{1, 4\}$ σε δύο μονήρεις: $\{1\}$

και {4}. Σύμφωνα με αυτή τη κατάτμηση υπολογίζουμε τα μοναδικά ποσοστά: $(p_{\{1\}}^{\{1\}} = 0.7877, p_{\{4\}}^{\{1\}} = 0.2122, p_{\{1\}}^{\{2\}} = 0.98, p_{\{4\}}^{\{2\}} = 0.02)$.

Στη συνέχεια, επιστρέφουμε στο βήμα 2 και χρησιμοποιούμε τα ποσοστά $(p_{\{2356\}}^{\{2\}} = 0.95, p_{\{2356\}}^{\{1\}} = 0.8375)$ στη τυχαία κατάτμηση του συνασπισμού {2, 3, 5, 6} στους: {2} και {3, 5, 6}, προκειμένου να υπολογίσουμε τα αντίστοιχα μοναδικά ποσοστά: $(p_{\{2\}}^{\{1\}} = 0.2883, p_{\{356\}}^{\{1\}} = 0.7117, p_{\{2\}}^{\{2\}} = 0.04, p_{\{356\}}^{\{2\}} = 0.96)$. Συγκεκριμένα, τα Βήματα 2 έως και 5 επαναλαμβάνονται για $n - 1 = 5$ φορές.

- **Βήμα 6.** Υπολογίζουμε για κάθε παίκτη τα ποσοστά του σε ένα υποσύνολο: {1} και {2}, μέσω του γινομένου των αντίστοιχων ποσοστών των συνασπισμών στους οποίους ο κάθε παίκτης περιλαμβάνεται:

$$\begin{aligned}
 1) \quad p_1^1 &= (p_{\{14\}}^{\{1\}} p_{\{1\}}^{\{1\}}) = (0.1642)(0.7877) = 0.1279, \\
 p_1^2 &= (p_{\{14\}}^{\{2\}} p_{\{1\}}^{\{2\}}) = (0.05)(0.98) = 0.049 \\
 2) \quad p_2^1 &= (p_{\{2356\}}^{\{1\}})(p_{\{2\}}^{\{1\}}) = (0.8375)(0.2883) = 0.2414, \\
 p_2^2 &= (p_{\{2356\}}^{\{2\}})(p_{\{2\}}^{\{2\}}) = (0.95)(0.04) = 0.038 \\
 3) \quad p_3^1 &= (p_{\{2356\}}^{\{1\}})(p_{\{356\}}^{\{1\}})(p_{\{3\}}^{\{1\}}) = (0.8375)(0.7117)(0.9959) = 0.5936 \\
 p_3^2 &= (p_{\{2356\}}^{\{2\}})(p_{\{356\}}^{\{2\}})(p_{\{3\}}^{\{2\}}) = (0.95)(0.96)(0.841) = 0.7669 \\
 4) \quad p_4^1 &= (p_{\{14\}}^{\{1\}} p_{\{4\}}^{\{1\}}) = (0.1624)(0.2122) = 0.0344, \\
 p_4^2 &= (p_{\{14\}}^{\{2\}} p_{\{4\}}^{\{2\}}) = (0.05)(0.02) = 0.001 \\
 5) \quad p_5^1 &= (p_{\{2356\}}^{\{1\}})(p_{\{356\}}^{\{1\}})(p_{\{56\}}^{\{1\}})(p_{\{5\}}^{\{1\}}) = (0.8375)(0.7117)(0.04)(0.5339) = 0.1295 \\
 p_5^2 &= (p_{\{2356\}}^{\{2\}})(p_{\{356\}}^{\{2\}})(p_{\{56\}}^{\{2\}})(p_{\{5\}}^{\{2\}}) = (0.95)(0.96)(0.159)(0.112) = 0.0162 \\
 6) \quad p_6^1 &= (p_{\{2356\}}^{\{1\}})(p_{\{356\}}^{\{1\}})(p_{\{56\}}^{\{1\}})(p_{\{6\}}^{\{1\}}) = (0.8375)(0.7117)(0.04)(0.466) = 0.0113 \\
 p_6^2 &= (p_{\{2356\}}^{\{2\}})(p_{\{356\}}^{\{2\}})(p_{\{56\}}^{\{2\}})(p_{\{6\}}^{\{2\}}) = (0.95)(0.96)(0.159)(0.888) = 0.1287
 \end{aligned}$$

και σχηματίζουμε το ζητούμενο μητρώο $[P]_{6 \times 2}^{j \in JA}$:

$$[P]_{6 \times 2}^{j \in JA} = \begin{bmatrix} p_1^1 & p_1^2 & 0.1279 & 0.049 \\ p_2^1 & p_2^2 & 0.2414 & 0.038 \\ p_3^1 & p_3^2 & 0.5936 & 0.7669 \\ p_4^1 & p_4^2 & 0.034 & 0.001 \\ p_5^1 & p_5^2 & 0.1295 & 0.016 \\ p_6^1 & p_6^2 & 0.011 & 0.1287 \end{bmatrix} \tag{5.53}$$

- **Βήμα 7.** Προκειμένου να επαληθεύσουμε τα αποτελέσματα, αναπτύσσουμε ένα άλλο μοντέλο προσομοίωσης Μόντε Κάρλο, όπου το υπολογισμένο $[P]_{6 \times 2}^{j \in JA}$ καθώς και τα

$[II^j]_{2 \times 1}^{j \in J_A}$, $[P]_{6 \times 6}^{j \in J_B}$, $[II^j]_{6 \times 1}^{j \in J_B}$ μητρώα είναι τα εισερχόμενα, ενώ τα αντίστοιχα εξερχόμενα είναι το μητρώο των συνολικών αμοιβών που επιμερίζονται σε έκαστο παίκτη $[II_i]_{8 \times 1}$, σύμφωνα με τη χαρακτηριστική συνάρτηση (5.50):

$$[II_i]_{8 \times 1} = [P]_{6 \times 2}^{j \in J_A} [II^j]_{2 \times 1}^{j \in J_A} + [P]_{6 \times 6}^{j \in J_B} [II^j]_{6 \times 1}^{j \in J_B} \quad (5.50)$$

Εκτελούμε τη προσομοίωση που δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

$$\mu_1 = 48191.6, \mu_2 = 51138.1, \mu_3 = 618755.9, \mu_4 = 4060.6, \mu_5 = 12018.3, \mu_6 = 94409.8, \text{ και} \\ \sigma_1 = 2706.1, \sigma_2 = 2734.2, \sigma_3 = 36420.4, \sigma_4 = 234.4, \sigma_5 = 722.64, \sigma_6 = 5681.1.$$

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα επαληθεύουν ότι οι στοχαστικές μεταβλητές που στην εξεταζόμενη περίπτωση είναι οι 8 αμοιβές των μελετών, έχουν επιμεριστεί με δικαιοσύνη και σύμφωνα με το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα, καθώς τόσο οι μέσες τιμές όσο και οι τυπικές αποκλίσεις των συνολικών αμοιβών που λαμβάνει έκαστος παίκτης είναι σε αναλογία με το συμβατικό αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης:

$$\begin{aligned} \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{0.0582}{0.0617}, \quad \frac{\mu_1}{\mu_3} = \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{U_1}{U_3} = \frac{0.0582}{0.7468}, \quad \frac{\mu_1}{\mu_4} = \frac{\sigma_1}{\sigma_4} = \frac{U_1}{U_4} = \frac{0.0582}{0.0049}, \\ \frac{\mu_1}{\mu_5} = \frac{\sigma_1}{\sigma_5} = \frac{U_1}{U_5} = \frac{0.0582}{0.0145}, \quad \frac{\mu_1}{\mu_6} = \frac{\sigma_1}{\sigma_6} = \frac{U_1}{U_6} = \frac{0.0582}{0.1139}, \quad \frac{\mu_2}{\mu_3} = \frac{\sigma_2}{\sigma_3} = \frac{U_2}{U_3} = \frac{0.0617}{0.7468}, \\ \frac{\mu_2}{\mu_4} = \frac{\sigma_2}{\sigma_4} = \frac{U_2}{U_4} = \frac{0.0617}{0.0049}, \quad \frac{\mu_2}{\mu_5} = \frac{\sigma_2}{\sigma_5} = \frac{U_2}{U_5} = \frac{0.0617}{0.0145}, \quad \frac{\mu_2}{\mu_6} = \frac{\sigma_2}{\sigma_6} = \frac{U_2}{U_6} = \frac{0.0617}{0.1139}, \\ \frac{\mu_3}{\mu_4} = \frac{\sigma_3}{\sigma_4} = \frac{U_3}{U_4} = \frac{0.7468}{0.0049}, \quad \frac{\mu_3}{\mu_5} = \frac{\sigma_3}{\sigma_5} = \frac{U_3}{U_5} = \frac{0.7468}{0.0145}, \quad \frac{\mu_3}{\mu_6} = \frac{\sigma_3}{\sigma_6} = \frac{U_3}{U_6} = \frac{0.7468}{0.1139}, \\ \frac{\mu_4}{\mu_5} = \frac{\sigma_4}{\sigma_5} = \frac{U_4}{U_5} = \frac{0.0049}{0.0145}, \quad \frac{\mu_4}{\mu_6} = \frac{\sigma_4}{\sigma_6} = \frac{U_4}{U_6} = \frac{0.0049}{0.1139}, \quad \frac{\mu_5}{\mu_6} = \frac{\sigma_5}{\sigma_6} = \frac{U_5}{U_6} = \frac{0.0145}{0.1139} \end{aligned} \quad (5.54)$$

Με άλλα λόγια, ισχύει και επαληθεύεται η σχέση (5.21) του δικαϊκού αξιώματος:

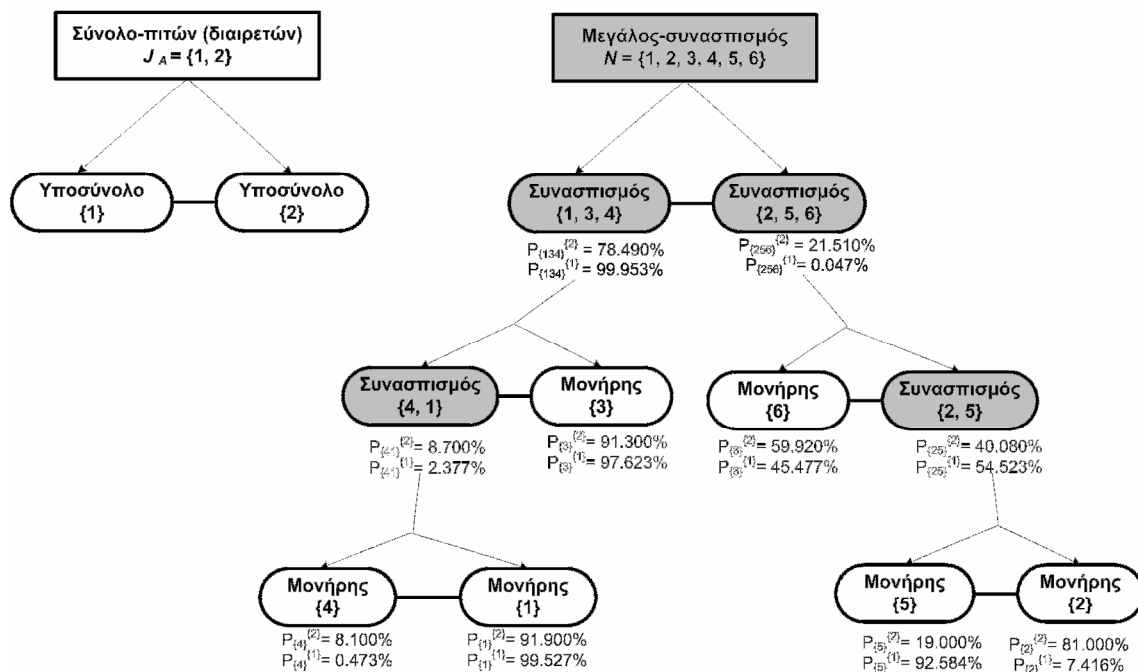
$$\frac{\mu_i}{\mu_k} = \frac{\sigma_i}{\sigma_k} = \frac{U_i}{U_k}, \quad \forall i, k \in N \quad (5.21)$$

5.4.5 Έτερες λύσεις

Όπως προκύπτει από το Θεώρημα 5.5 και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 38 της προηγούμενης παραγράφου, στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπου δύο στοχαστικές μεταβλητές (αμοιβές μελετών Τευχών Δημοπράτησης και ΣΑΥ-ΦΑΥ): $m = 2$ επιμερίζονται μεταξύ έξι παικτών (μελετητών): $n = 6$, υπάρχουν 945 διαφορετικά μητρώα

$[P]_{6 \times 2}^{j \in J_A}$ που περιλαμβάνουν τα ποσοστά επιμερισμού έκαστης αμοιβής που πρέπει να επιμεριστεί σε έκαστο παίκτη, τα οποία διασφαλίζουν τη δικαιοσύνη στο πλαίσιο του διαπραγματευτικού αποτελέσματος. Για παράδειγμα, αν ακολουθήσουμε ένα διαφορετικό σύνολο καταμήσεων, όπως αυτό που φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 61, δηλ. την ίδια κατάμηση του συνόλου των διαιρετών πιτών $J = \{1, 2\}$ και διαφορετικές καταμήσεις των συνασπισμών των παικτών σε ζεύγη για $n-1 = 5$ φορές, τότε υπολογίζουμε ένα άλλο μητρώο $[P]_{6 \times 2}^{j \in J_A}$:

$$[P]_{6 \times 2}^{j \in J_A} = \begin{bmatrix} p_1^1 & p_1^2 \\ p_2^1 & p_2^2 \\ p_3^1 & p_3^2 \\ p_4^1 & p_4^2 \\ p_5^1 & p_5^2 \\ p_6^1 & p_6^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0236 & 0.0627 \\ 0.0001 & 0.0698 \\ 0.9757 & 0.7166 \\ 0.0001 & 0.0055 \\ 0.0002 & 0.0163 \\ 0.0002 & 0.1288 \end{bmatrix} \quad (5.55)$$



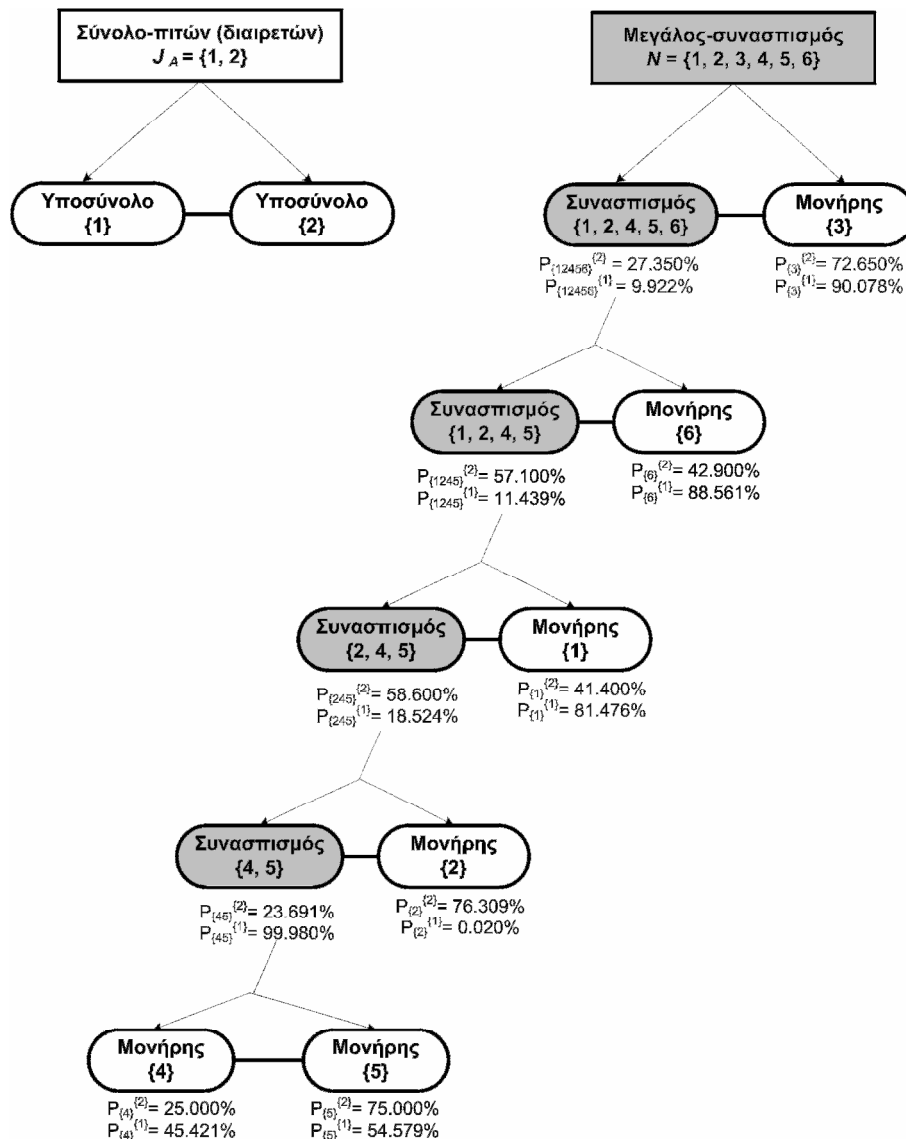
Σχήμα 61. Δεύτερο σύνολο καταμήσεων στη περιπτωσιολογική μελέτη

Ωστόσο, εάν χρησιμοποιήσουμε το υπόψη μητρώο καθώς και τα αντίστοιχα μητρώα $[II^j]_{2 \times 1}^{j \in J_A}$, $[P]_{6 \times 6}^{j \in J_B}$, $[II^j]_{6 \times 1}^{j \in J_B}$ ως εισερχόμενα, και το μητρώο των συνολικών αμοιβών που επιμερίζονται σε έκαστο παίκτη $[II_i]_{3 \times 1}$ ως τα εξερχόμενα σε ένα άλλο μοντέλο προσομοίωσης Μόντε Κάρλο, τότε η προσομοίωση δίνει:

$\mu_1 = 48192.9, \mu_2 = 51140.1, \mu_3 = 618757.9, \mu_4 = 4060.8, \mu_5 = 12018.5, \mu_6 = 94411.2$, και
 $\sigma_1 = 2890.8, \sigma_2 = 3102.5, \sigma_3 = 35659.7, \sigma_4 = 243.1, \sigma_5 = 733.1, \sigma_6 = 5664.1$.

επαληθεύοντας ότι η σχέση (5.21) ικανοποιείται επίσης με αυτό το $[P]_{6 \times 2}^{j \in J_A}$ μητρώο.

Η σχέση (5.21) μπορεί επίσης να ικανοποιηθεί και με το σύνολο των καταμήσεων που παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα 62.



Σχήμα 62. Τρίτο σύνολο καταμήσεων στη περιπτώσιολογική μελέτη

Συγκεκριμένα, μέσω της κατάμησης του $J = \{1, 2\}$ στα υποσύνολα $\{1\}, \{2\}$ και τις συνεχείς καταμήσεις του $N = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ στους $\{1, 2, 4, 5, 6\}$ και $\{3\}$, και τις περαιτέρω καταμήσεις στους μονήρεις συνασπισμούς με την εξής σειρά: $\{6\}, \{1\}, \{2\}$, και $\{4\}, \{5\}$, υπολογίζουμε το παρακάτω μητρώο $[P]_{6 \times 2}^{j \in J_A}$:

$$[P]_{6 \times 2}^{j \in J_A} = \begin{bmatrix} p_1^1 & p_1^2 \\ p_2^1 & p_2^2 \\ p_3^1 & p_3^2 \\ p_4^1 & p_4^2 \\ p_5^1 & p_5^2 \\ p_6^1 & p_6^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0092 & 0.0646 \\ 0.0001 & 0.0698 \\ 0.9008 & 0.7265 \\ 0.0009 & 0.0054 \\ 0.0011 & 0.0162 \\ 0.0878 & 0.1173 \end{bmatrix} \tag{5.56}$$

, με το οποίο η προσομοίωση Μόντε Κάρλο δίνει:

$\mu_1 = 48192.6, \mu_2 = 51137.1, \mu_3 = 618748.9, \mu_4 = 4060.6, \mu_5 = 12018.2, \mu_6 = 94409.5$,και
 $\sigma_1 = 2869.9, \sigma_2 = 3023.2, \sigma_3 = 35652.8, \sigma_4 = 240.5, \sigma_5 = 713.4, \sigma_6 = 5573.6$.

5.4.6 Συμπεράσματα

Η μεθοδολογία και τα συμπεράσματα από τη παρούσα περιπτώσιολογική μελέτη συνοψίζονται ως εξής:

A) Κατόπιν διαπραγμάτευσης μεταξύ 6 μελετητών / γραφείων μελετών, συγκροτήθηκε μία Σύμπραξη (μεγάλος-συνασπισμός) N , με σκοπό τη συμμετοχή της σε ένα συγκεκριμένο δημόσιο διαγωνισμό για την εκπόνηση μελέτης. Ειδικότερα, το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης δύναται να απεικονιστεί από ένα διάνυσμα αναλογιών $U \in \mathcal{R}^N$, όπου οι συνιστώσες του διανύσματος U_i εκφράζουν την αναλογία της συνολικής αμοιβής που επιμερίζεται σε έκαστο μελετητή (παικτή) i επί της συνολικής αμοιβής του μεγάλου-συνασπισμού (άθροισμα των επιμέρους 8 μελετών, που έχουν δείκτη j). Οι αναλογίες αυτές δίνονται από τη σχέση:

$$U_i = \frac{\Pi_i}{\sum_{j=1}^8 \Pi^j}, \forall i \in N \tag{5.43}$$

Στη προκειμένη περίπτωση, η συγκεκριμένη κατανομή είναι αποτελεσματική:

$$\sum_{i=1}^6 U_i = 1, \quad 0 < U_i < 1, \quad \forall i \in N, \quad \text{καθώς ισχύει:}$$

$U = (U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6) = (0.0582, 0.0617, 0.7468, 0.0049, 0.0145, 0.1139)$. Κατά συνέπεια, ικανοποιούνται τα αξιώματα της εφικτότητας καθώς και της βελτιστότητας κατά Pareto (βλ. παράγραφο 5.3).

B) Στη συνέχεια, υπογράφηκε μία σύμβαση μεταξύ των 6 παικτών για τη κατανομή των επιμέρους αμοιβών μελετών. Οι εν λόγω κατανομές απεικονίζονται στο μητρώο $[P]_{6 \times 8} = [p_i^j]_{6 \times 8}$, όπου τα στοιχεία αυτού: p_i^j , καταδεικνύουν το ποσοστό της κατηγορίας μελέτης $j \in J$ που επιμερίζεται σε έκαστο μελετητή $i \in N$.

$$\begin{bmatrix} p_1^1 & p_1^2 & p_1^3 & p_1^4 & p_1^5 & p_1^6 & p_1^7 & p_1^8 & 0.0582 & 0.0582 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_2^1 & p_2^2 & p_2^3 & p_2^4 & p_2^5 & p_2^6 & p_2^7 & p_2^8 & 0.0617 & 0.0617 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_3^1 & p_3^2 & p_3^3 & p_3^4 & p_3^5 & p_3^6 & p_3^7 & p_3^8 & 0.7468 & 0.7468 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ p_4^1 & p_4^2 & p_4^3 & p_4^4 & p_4^5 & p_4^6 & p_4^7 & p_4^8 & 0.0049 & 0.0049 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ p_5^1 & p_5^2 & p_5^3 & p_5^4 & p_5^5 & p_5^6 & p_5^7 & p_5^8 & 0.0145 & 0.0145 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ p_6^1 & p_6^2 & p_6^3 & p_6^4 & p_6^5 & p_6^6 & p_6^7 & p_6^8 & 0.1139 & 0.1139 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [\quad] \quad (5.57)$$

Από τον παραπάνω Πίνακα κατανομής των αμοιβών μελετών φαίνεται ότι υπάρχουν 6 αμοιβές μελετών: 3,4,5,6,7, και 8, οι οποίες που είναι αδιάριτες και επιμερίζονται μονοσήμαντα (100%) στους μελετητές: 1,2,3,4,5, και 6, αντίστοιχα. Οι λοιπές 1 και 2 αμοιβές μελετών (1 και 2) επιμερίζονται αναλογικά μεταξύ των παικτών σύμφωνα με το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα $U \in \mathbb{R}^N$.

Γ) Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι τιμές των 8 αμοιβών μελετών είναι προεκτιμώμενες, είναι απόλυτα λογικό να υφίσταται αβεβαιότητα ως προς το τελικό μέγεθος τους, καθώς ενδέχεται οι αμοιβές μελετών που θα λάβει τελικά η Σύμπραξη να είναι μεγαλύτερες ή μικρότερες σε σχέση με τις αρχικές εκτιμήσεις. Κατά συνέπεια, αναπτύχθηκε ένα στοχαστικό μοντέλο, στο οποίο εγγράφηκαν κανονικές κατανομές πιθανότητας σε έκαστη αμοιβή, μέσω της προσθήκης μίας αναλογικής τυπικής απόκλισης στις αρχικά προεκτιμώμενες (μέσες) τιμές των 8 αμοιβών μελετών.

Δ) Μέσω της προσομοίωσης Μόντε Κάρλο (σύμφωνα με την οποία εκτελέστηκαν τυχαίες επαναλήψεις προσθήκης τιμών στις 8 αμοιβές), αποδείχτηκε ότι η κατανομή των επιμέρους αμοιβών που περιλαμβάνεται στη σύμβαση δεν μπορεί να θεωρηθεί ως δίκαιη. Τούτο τεκμηριώθηκε από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, σύμφωνα με τα οποία οι αναμενόμενες (μέσες) τιμές (μ) των αμοιβών όλων των παικτών διατηρούν την επιθυμητή αναλογία ως προς το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα (για κάθε ζεύγος μελετητών που ανήκουν στη Σύμπραξη), πλην όμως οι αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις των αμοιβών τους (σ) είναι δυσανάλογες τόσο ως προς τις μέσες τιμές τους, όσο και ως προς το διαπραγματευτικό αποτέλεσμα.

Ε) Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας το μοντέλο για το δίκαιο επιμερισμό πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών σε πολλαπλούς παίκτες, το οποίο παρουσιάστηκε στη Παράγραφο 5.3 διαπιστώθηκε ότι η διασφάλιση της δικαιοσύνης για τον επιμερισμό των αμοιβών μελετών επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης του υπολογιστικού αλγορίθμου του εν λόγω μοντέλου. Συγκεκριμένα, υφίστανται 945 διαφορετικά μητρώα $[P]_{6 \times 8} = [p_i^j]_{6 \times 8}$, τα οποία διασφαλίζουν ότι όχι μόνο η μέση τιμή αλλά και η τυπική απόκλιση της συνολικής αμοιβής που θα λάβει έκαστος παίκτης θα είναι ανάλογη του συμβατικού αποτελέσματος της διαπραγμάτευσης.

ΣΤ) Στη προκειμένη περιπτώσιολογική μελέτη, υπολογίστηκαν ενδεικτικά τρία διαφορετικά μητρώα $[P]_{6 \times 2}^{j \in JA}$ για τον επιμερισμό των διαιρετών αμοιβών μελετών (1 και 2), από τα οποία προκύπτουν τρία διαφορετικά μητρώα $[P]_{6 \times 8} = [p_i^j]_{6 \times 8}$ που περιέχουν τα ποσοστά επιμερισμού έκαστης αμοιβής μελέτης σε έκαστο μελετητή, ώστε να υφίσταται δικαιοσύνη ως προς το συμβατικό αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης:

$$1. \begin{bmatrix} p_1^1 & p_1^2 & p_1^3 & p_1^4 & p_1^5 & p_1^6 & p_1^7 & p_1^8 \\ p_2^1 & p_2^2 & p_2^3 & p_2^4 & p_2^5 & p_2^6 & p_2^7 & p_2^8 \\ p_3^1 & p_3^2 & p_3^3 & p_3^4 & p_3^5 & p_3^6 & p_3^7 & p_3^8 \\ p_4^1 & p_4^2 & p_4^3 & p_4^4 & p_4^5 & p_4^6 & p_4^7 & p_4^8 \\ p_5^1 & p_5^2 & p_5^3 & p_5^4 & p_5^5 & p_5^6 & p_5^7 & p_5^8 \\ p_6^1 & p_6^2 & p_6^3 & p_6^4 & p_6^5 & p_6^6 & p_6^7 & p_6^8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1279 & 0.0490 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2414 & 0.038 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5936 & 0.7669 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0340 & 0.0010 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0.1295 & 0.0160 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0.0110 & 0.1287 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$2. \begin{bmatrix} p_1^1 & p_1^2 & p_1^3 & p_1^4 & p_1^5 & p_1^6 & p_1^7 & p_1^8 \\ p_2^1 & p_2^2 & p_2^3 & p_2^4 & p_2^5 & p_2^6 & p_2^7 & p_2^8 \\ p_3^1 & p_3^2 & p_3^3 & p_3^4 & p_3^5 & p_3^6 & p_3^7 & p_3^8 \\ p_4^1 & p_4^2 & p_4^3 & p_4^4 & p_4^5 & p_4^6 & p_4^7 & p_4^8 \\ p_5^1 & p_5^2 & p_5^3 & p_5^4 & p_5^5 & p_5^6 & p_5^7 & p_5^8 \\ p_6^1 & p_6^2 & p_6^3 & p_6^4 & p_6^5 & p_6^6 & p_6^7 & p_6^8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0236 & 0.0627 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0001 & 0.0698 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.9757 & 0.7166 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0001 & 0.0055 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0.0002 & 0.0163 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0.0002 & 0.1288 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$3. \begin{bmatrix} p_1^1 & p_1^2 & p_1^3 & p_1^4 & p_1^5 & p_1^6 & p_1^7 & p_1^8 \\ p_2^1 & p_2^2 & p_2^3 & p_2^4 & p_2^5 & p_2^6 & p_2^7 & p_2^8 \\ p_3^1 & p_3^2 & p_3^3 & p_3^4 & p_3^5 & p_3^6 & p_3^7 & p_3^8 \\ p_4^1 & p_4^2 & p_4^3 & p_4^4 & p_4^5 & p_4^6 & p_4^7 & p_4^8 \\ p_5^1 & p_5^2 & p_5^3 & p_5^4 & p_5^5 & p_5^6 & p_5^7 & p_5^8 \\ p_6^1 & p_6^2 & p_6^3 & p_6^4 & p_6^5 & p_6^6 & p_6^7 & p_6^8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0092 & 0.0646 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0001 & 0.0698 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.9008 & 0.7265 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0009 & 0.0054 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0.0011 & 0.0162 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0.0878 & 0.1173 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Συγκεκριμένα, για όλα τα παραπάνω μητρώα ισχύει η σχέση του δικαϊκού αξιώματος:

$$\frac{\mu_i}{\mu_k} = \frac{\sigma_i}{\sigma_k} = \frac{U_i}{U_k}, \quad \forall i, k \in N \tag{5.21}$$

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι όταν τουλάχιστον δύο στοχαστικές μεταβλητές είναι διαιρετές μεταξύ ενός πεπερασμένου συνόλου μεταβλητών, δύναται να επιτευχθεί δικαιοσύνη σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο διαπραγματευτικό αποτέλεσμα. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερης αξίας και βρίσκει εφαρμογή στις Συμπράξεις μελετητών για συμμετοχή σε δημοπρατήσεις μελετών δημόσιων τεχνικών έργων. Αυτό συμβαίνει καθώς σε όλες τις περιπτώσεις υφίστανται τουλάχιστον δύο αμοιβές μελετών (Τεύχη δημοπράτησης και ΣΑΥ-ΦΑΥ) οι οποίες επιμερίζονται (στις περισσότερες των περιπτώσεων αναλογικά) μεταξύ των συμπραττούντων, ενώ οι λοιπές αμοιβές επιμερίζονται μονόσημαντα σύμφωνα με τη Τάξη Πτυχίου έκαστου μελετητή. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο υπολογιστικός αλγόριθμος προσδίδει τα επιθυμητά αποτελέσματα για οποιοδήποτε συμβατικό διαπραγματευτικό αποτέλεσμα, δηλ. ίσο, αναλογικό, ή άνισο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Συμπεράσματα

6.1 Εκπλήρωση του ερευνητικού στόχου

6.1.1 Αποτελέσματα

Ο αντικειμενικός στόχος της Διατριβής συγκεκριμενοποιήθηκε ως εξής:

«Η ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων και εργαλείων για την υποστήριξη των αποφάσεων βάσει του χρηματοοικονομικού κινδύνου κατά την αξιολόγηση επενδύσεων».

Ο υπόψη στόχος επετεύχθη στο ακέραιο, καθώς αναπτύχθηκε ένα σύνολο από εργαλεία υποστήριξης απόφασης για την αξιολόγηση επενδυτικών έργων, τα οποία λαμβάνουν υπόψη τόσο τη συμπεριφορά που δύναται να έχει ένας λήπτης απόφασης όταν αξιολογεί μεμονωμένα μία επένδυση όσο και τις ανόμοιες συμπεριφορές που δύναται να έχουν διαφορετικοί λήπτες απόφασης σε περιπτώσεις ομαδικής αξιολόγησης μίας επένδυσης. Επιπλέον, αναπτύχθηκε ένα δεύτερο σύνολο από εργαλεία υποστήριξης απόφασης για τις επενδυτικές συνεργασίες το οποίο περιλαμβάνει ένα εργαλείο για την αξιολόγηση χρηματοδοτικών σχημάτων συνεργασίας του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα, καθώς και τα αντίστοιχα εργαλεία για το δίκαιο (ίσο ή αναλογικό) επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου μίας επένδυσης μεταξύ των συνεργαζόμενων επενδυτών.

6.1.2 Συνεισφορά της Διατριβής

Η κύρια συνεισφορά της παρούσας Διατριβής είναι ότι δύναται να αποτελέσει ένα πολυ-εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων βάσει του χρηματοοικονομικού κινδύνου για την αξιολόγηση διαφόρων τύπων επενδύσεων. Τούτο τεκμηριώνεται από το γεγονός ότι περικλείει μία σειρά υποστηρικτικών εργαλείων απόφασης καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών περιπτώσεων αξιολόγησης μίας επένδυσης. Η πραγματοποιηθείσα έρευνα, αφού ανέδειξε την αλληλεπίδραση και συσχέτιση μεταξύ των προτιμήσεων των ληπτών αποφάσεων και της επιλογής της «βέλτιστης» εναλλακτικής μεθόδου υλοποίησης μίας επένδυσης, κατέληξε στην ανάπτυξη των απαιτούμενων υποστηρικτικών εργαλείων απόφασης, όπως περιγράφονται και αναλύονται στις συγκεκριμένες ενότητες της Διατριβής:

- Μέθοδος αξιολόγησης επένδυσης σύμφωνα με το κριτήριο της μέγιστης αναμενόμενης κερδοφορίας, η οποία δύναται να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις με λήπτες αποφάσεων που έχουν ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του χρηματοοικονομικού κινδύνου (risk-neutral decision-makers) (Ενότητα 4.1).

- Μέθοδος αξιολόγησης επένδυσης σύμφωνα με το κριτήριο του διαστήματος εμπιστοσύνης, η οποία δύναται να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις τόσο με κινδυνόφοβους (risk-averse) όσο και με κινδυνόφιλους (risk-seeking) λήπτες αποφάσεων (Ενότητα 4.2).

- Μέθοδος αξιολόγησης των εναλλακτικών μίας επένδυσης, η οποία δύναται να χρησιμοποιηθεί από πολλαπλούς λήπτες αποφάσεων με διαφορετικές προτιμήσεις (risk-averse/neutral/seeking) ως προς το χρηματοοικονομικό κίνδυνο (Ενότητα 4.3).

- Μέθοδος αξιολόγησης των εναλλακτικών χρηματοδοτικών σχημάτων (funding scheme) μίας επένδυσης που υλοποιείται μέσω σύμπραξης του δημόσιου με τον ιδιωτικό

τομέα (public private partnership), με την εφαρμογή της οποίας υπολογίζεται το εύρος διακύμανσης των χρηματοδοτικών σεναρίων που επιφέρουν αμοιβαίο όφελος στους συνεργαζόμενους (Ενότητα 5.1).

- Μηχανισμός επιμερισμού εσόδων και κόστους (revenue-cost sharing) για τον ίσο επιμερισμό του χρηματοοικονομικού κινδύνου μεταξύ συνεργαζόμενων επενδυτών, ο οποίος δύναται να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις με πολλαπλούς επενδυτές που έχουν ίσα δικαιώματα και πανομοιότυπες επιδιώξεις (Ενότητα 5.2).

- Μηχανισμός για το δίκαιο (αναλογικό) επιμερισμό πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών σε πολλαπλούς ανόμοιους παίκτες στο πλαίσιο της λύσης διαπραγμάτευσης του Nash, ο οποίος δύναται να εφαρμοστεί ως συνέχεια ενός συγκεκριμένου συμμετρικού ή ασύμμετρου διαπραγματευτικού αποτελέσματος για την υλοποίηση μίας επένδυσης (Ενότητα 5.3).

6.2 Κατευθύνσεις περαιτέρω έρευνας

Οι κατευθύνσεις περαιτέρω έρευνας από τη παρούσα Διατριβή, εντοπίζονται στους περιορισμούς και τις παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη μοντελοποίηση των εργαλείων υποστήριξης απόφασης που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα Κεφάλαια. Ειδικότερα, όπως αναφέρθηκε και στο 3^ο Κεφάλαιο της Διατριβής, η ερευνητική μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν η βαθμιδωτή χαλάρωση των περιορισμών που χρησιμοποιούνταν σε κάθε εξεταζόμενη περίπτωση αξιολόγησης επένδυσης. Κατά συνέπεια, μία παρόμοια μέθοδος δύναται να εφαρμοστεί για την επέκταση των ερευνητικών αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

Συγκεκριμένα, η μέθοδος αξιολόγησης των χρηματοδοτικών σχημάτων μίας επένδυσης που υλοποιείται μέσω σύμπραξης του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα, υπολογίζει το εύρος των σεναρίων που προσδίδουν αμοιβαίο όφελος. Αντικείμενο περαιτέρω έρευνας αποτελεί η μοντελοποίηση της διαπραγμάτευσης μεταξύ των δύο φορέων για την εξεύρεση του μοναδικού (βέλτιστου) χρηματοδοτικού σχήματος, το οποίο θα μεγιστοποιεί τη καθαρή ωφέλεια σε αμφότερους τους συμπραττούντες.

Επιπλέον, τόσο στο μοντέλο ίσου όσο και στο μοντέλο αναλογικού επιμερισμού του χρηματοοικονομικού κινδύνου περιλαμβάνεται η υπόθεση ότι οι συνεργαζόμενοι επενδυτές έχουν ουδέτερη συμπεριφορά έναντι του κινδύνου. Χωρίς αυτή τη παραδοχή, η ανάπτυξη αντίστοιχων μοντέλων σε περιπτώσεις όπου οι επενδυτές έχουν διαφορετική συμπεριφορά έναντι του κινδύνου (κινδυνόφοβοι, κινδυνόφιλοι και ουδέτεροι) και κατά συνέπεια δεν είναι αδιάφοροι μεταξύ των εσόδων και του κόστους ή των λοιπών επιμεριζόμενων στοχαστικών μεταβλητών, αποτελούν θέματα μελλοντικής έρευνας.

Αντικείμενο περαιτέρω διερεύνησης αποτελεί η εξέταση των περιπτώσεων όπου οι στοχαστικές μεταβλητές στα παραπάνω μοντέλα είναι αδιαίρετες ή ακολουθούν μή συμμετρικές κατανομές πιθανότητας, π.χ. λογαριθμικές, καθώς και η αντίστοιχη διερεύνηση δυναμικών περιπτώσεων, στις οποίες οι κατανομές πιθανότητας των επιμεριζόμενων μεταβλητών μεταβάλλονται με το χρόνο.

Ένα ακόμα ερευνητικό ερώτημα, προκύπτει από τα αποτελέσματα που προσδίδει ο υπολογιστικός αλγόριθμος στο μοντέλο αναλογικού επιμερισμού πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών. Ειδικότερα, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο εν λόγω αλγόριθμος δύναται να υπολογίσει ένα πεπερασμένο πλήθος δυνατών μητρώων διαστάσεων $n \times m$ (για n επενδυτές

και m μεταβλητές), ιδιαίτερη σημασία αποκτά η εύρεση ενός κανόνα για το ποιά πρέπει να είναι η αναλογία τυπικών αποκλίσεων και μέσων τιμών των επιμεριζόμενων μεταβλητών, έτσι ώστε το σύνολο των αποτελεσμάτων να περιέχει μητρώα με πολύ μικρές διαφορές στις τιμές των στοιχείων τους, οπότε να θεωρούνται ίδια.

Τέλος, σημαντικά ερευνητικά θέματα αποτελούν αφενός η προσθήκη ενός ή παραπάνω φυσικών αξιωμάτων στο μοντέλο του δίκαιου επιμερισμού πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών έτσι ώστε από το πεπερασμένο σύνολο των δυνατών λύσεων να επιλέγεται μία μοναδική ως βέλτιστη, και αφετέρου η εξέταση έτερων ντετερμινιστικών μοντέλων επιμερισμού πλεονάσματος, όπως π.χ. η αξία του Shapley (1953), ο πυρήνας (Gillies, 1959), και ο πυρηνικός (Schmeidler, 1969), σε περιπτώσεις όπου το μέγεθος του πλεονάσματος πάνω από το οποίο διαπραγματεύονται οι παίκτες δύναται να μεταβάλλεται στοχαστικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγγλική γλώσσα

- Abdel Aziz, (2007): Successful Delivery of Public-Private Partnerships for Infrastructure Development, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, December 2007, pp. 918 - 931
- Abeliotis K, Karaiskou K, Togia A, Lasaridi K, (2009): Decision support systems in solid waste management: A case study at the national and local level in Greece. *Global Nest Journal*, 11, pp. 117-126.
- Ackerman F, Heinzerling L, (2002): Pricing the priceless: Cost-Benefit Analysis of environmental protection, *University of Pennsylvania Law Review*, 150, pp. 1553-1584.
- ADB, (1997). *Guidelines for the Economic Analysis of a Project*, Asian Development Bank, Economics and Development Resource Centre, p. 167,
- ADB, (2000): *Technical Assistance for Public Private Community Partnerships in Urban Services for the poor*, Asian Development Bank, TAR:OTH 33492, August 2000, Appendix 2 page 1,2.
- ADB, (2002): *Handbook for Integrating Risk Analysis in the Economic Analysis of Projects*, Asian Development Bank, Philippines, pp.19, 87-96.
- Agarwal N, Rathod U, (2006): Defining Success for Software Projects, *International Journal of Project Management*, 24(4), pp. 358-370.
- Akalu MM, (2001): Re-examining project appraisal and control: developing a focus on wealth creation, *International Journal of Project Management*, 19 (7), pp. 375-383.
- Akalu MM, (2003): The process of investment appraisal: the experience of 10 large British and Dutch companies, *International Journal of Project Management*, 21 (5), pp. 355-362.
- Akintoye A, Beck M, Hardcastle C, (2003): *Public-Private Partnerships: Managing Risks and Opportunities*, Part One, Chapter 1, PPP Models, p.12
- Alain G, (1999): A primal-dual approach for capacity-constrained production planning with variable and fixed costs, *Computers & Industrial Engineering*, 37 (1-2), pp. 93-96.
- Albert W., (1972): *Turnpike Road System in England 1663-1840*: Cambridge University Press (Cambridge, Cambridgeshire)
- Alexander C, (2009): *Market Risk Analysis: Volume IV: Value at Risk Models*, Wiley Publishing, March 2009, pp.28-30
- Almansa C, Martínez-Paz JM, (2011): What weight should be assigned to future environmental impacts? A probabilistic cost benefit analysis using recent advances on discounting, *Science of the Total Environment*, 409, 1305-1314 .
- Al-Mansour F, Kožuh M, (2007): Risk analysis for CHP decision making within the conditions of an open electricity market, *Energy*, 32 (10), pp. 1905–1916.
- Alonso-Conde AB, Brown C, Rojo-Suarez J, (2007): Public private partnerships: Incentives, risk transfer and real options, *Review of Financial Economics*, 16(4), pp. 335–349.
- Anderson A, Enterprise LSE, (2000): *Value for Money Drivers in the Private Finance Initiative*, Report commissioned by the UK Treasury Task Force on Public–Private Partnerships.

- APM (2006): Body of Knowledge, 5th edition, Association of Project Management, *APM Body of Knowledge definitions*, accessed via <http://www.apm.org.uk/BOK.asp>, 4 Dec 2009
- Aravossis K, Anagnostopoulos P, Koungolos A, Vliamos S, (2001): A new methodology approach for the technical-economical evaluation of alternative waste disposal methods by use of multi criteria analysis, *Proceedings of the 7th International Conference on Environmental Science and Technology*, 40–51.
- Aravossis K, Vliamos S, Anagnostopoulos P, Kungolos A, (2003): An innovative cost-benefit analysis as a decision support system for the evaluation of alternative scenarios of water resources management, *Fresenius Environmental Bulletin*, 12(12), pp. 1433-1443.
- Aravossis K, Karydis V, (2004): Combination of monetary valuation techniques and application to environmental impact receptors, *Fresenius Environmental Bulletin*, 13, 283-288.
- Aristotle, “Nicomachean Ethics, 1130b-1132b”, in: *The complete works of Aristotle*, ed. Jonathan Barnes, Princeton: Princeton University Press, 1984.
- Asian Business, (1996). *Special Report on Asia's Infrastructure Boom*, March, p. 60–69
- Ashley DB, Lurie CS, Jaselskis EJ, (1987): Determinants of Construction Project Success, *Project Management Journal*, 18(2), pp. 69 – 79.
- Augenblick M, Scott CJB, (1990): *The build, operate and transfer (BOT) approach to infrastructure projects in the developing countries*. Working papers. World Bank, Washington: August 1990.
- Aye L, Widjaya ER, (2006): Environmental and economic analyses of waste disposal options for traditional markets in Indonesia, *Waste Management*, 26(10), pp. 1180-1191.
- Ball R, Heafey M, King D, (2003): Risk transfer and value for money in PFI projects, paper for *Public Management Review*, forthcoming.
- Balcombe KG, Smith LED, (1999): Refining the use of Monte Carlo Techniques for Risk Analysis in Project Planning, *Journal of Derivatives Studies*, 36, pp. 113-135.
- Balling M, (1983): Foreign exchange exposure in private investment projects. *International Journal of Project Management*, 1983, 1, (2), pp. 71–75.
- Bakopoulou S, Polyzos S, Kungolos A, (2007): Comparative analysis of decision-making methodologies used in environmental planning, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 102, pp. 419-425.
- Bakopoulou S, Polyzos S, Kungolos A, (2010): Investigation of farmers' willingness to pay for using recycled water for irrigation in Thessaly region, Greece, *Desalination*, 250(1), pp. 329-334.
- Barbanel JB, Brams SJ, (2004): Cake division with minimal cuts: envy-free procedures for three persons, four persons, and beyond, *Mathematical Social Sciences*, 48(3), pp. 251–269.
- Bardos RP, Mariotti C, Marot F, Sullivan T, (2001): Framework for decision support used in contaminated land management in Europe and North America, *Land Contamination and Recl.*, 9, pp. 149-163.
- Barnhart G, (1987): Common critical success factors for integrating mergers and acquisitions, *Journal of Construction Engineering and Management*, 3(1), pp. 38–46
- Belli P, Anderson JR, Barnum HN, Dixon JA, Tan J-P, (1997): *Economic Analysis of Investment Operations, Analytical tools and Practical Applications*, World Bank Institute Development Series, Washington D. C, pp. 85-88.

- Benedetti L, Bixio D, Claeys F, Peter A, Vanrolleghem PA, (2008): Tools to support a model-based methodology for emission/immission and benefit/cost/risk analysis of wastewater systems that considers uncertainty, *Environmental Modelling & Software*, 23 (8), pp. 1082-1091.
- Berkovitch E, (2004): Why the NPV Criterion does not Maximize NPV, *Review of Financial Studies*, 17(1), pp. 239-255.
- Beria P, Maltese I, Mariotti I, (2012): Multicriteria versus Cost Benefit Analysis: a comparative perspective in the assessment of sustainable mobility. *European Transportation and Resources Review*, DOI 10.1007/s12544-012-0074-9
- Berry C, (1991): Criteria for successful project financing, *Project Finance Yearbook 1991/1992*, Bedfordshire, U.K., pp. 15–20.
- Berry L, Brown MA, (1995): Using probability distributions to evaluate an energy conservation program: a technique for dealing with controversy, *Evaluation and Program Planning*, 18(3), pp. 209-217.
- Bettignies J-E, Ross TW, (2009): Public–private partnerships and the privatization of financing: An incomplete contracts approach, *International Journal of Industrial Organization*, 27, pp. 358–368.
- Binmore K, Shaked A, Sutton J, (1989): An outside option experiment, *The Quarterly Journal of Economics*, 104(4), pp. 753-770.
- Binmore K, (2001): *How and why did fairness norms evolve?* In: Runciman, W.G. (Ed.), *Proceedings of the British Academy*. Oxford University Press, New York.
- Binmore K, (2011): Commentary: Nash’s work in economics, *Games and Economic Behavior*, 71, pp. 2–5.
- Blackwell M, (2000): *The PFI/PPP and property*, Chandos publishing, Oxford, U.K.
- Bleichrodt H, Quiggin J, (1999): Life-cycle preferences over consumption and health: when is cost-effectiveness analysis equivalent to cost–benefit analysis?, *Journal of Health Economics*, 18, pp. 681–708.
- Birrer GE, Carrica JL, (1990): *Present Value Applications for Accountants and Financial Planners*, Quorum Books Publishing, January 1990, pp.15-17
- Boase JP, (1998): Beyond Government? The appeal of Public Private Partnerships, *Canadian Public Administration/Administration publique du Canada*, 43(1), (Spring /1998), pp. 75-92.
- Bohanec M, (2003): Decision support, in: Mladenić, D. Lavrač, N. Bohanec, M. Moyle S. (Eds.), *Data Mining and Decision Support: Integration and Collaboration*, Kluwer Academic Publishers, pp. 23–35.
- Bovaird T, (2004): Public–private partnerships: from contested concepts to prevalent practice, *International Review of Administrative Sciences*, 70(2), pp. 199-215.
- Brookhart SM, Casile WJ, McCown RR, (1997): Enhancing the possibility of success by measuring the probability of failure in an educational program, *Evaluation and Program Planning*, 20(1), pp. 17-25.
- Brown RJ, (2006): Sins of the IRR, *Journal of Real Estate Portfolio Management*, May – August 2006,
- BS 6079 (2000): *Guide to Project Management*, British Standards Institute, London
- Bughin J, (1999): Oligopoly profit-sharing contracts and the firm's systematic risk. *European Economic Review*, 43(3), pp. 549-558.

- Burke R, (2003): *Project Management, Planning and Controlling Techniques*, Wiley publishing, 2nd edition, p. 23-28,44
- Butt TE, Lockley E, Oduyemi KOK, (2008): Risk assessment of landfill disposal sites – State of the art, *Waste Management*, 28(6), pp. 952-964.
- Button M, (2008): *A Practical Guide to PPP in Europe*, Chapter 1: Introduction, edited by Maurice Button, City and Financial publishing, Surrey, p. 6-9.
- Campbell HF, Brown RPC, (2005): A multiple account framework for cost–benefit analysis, *Evaluation and Program Planning*, 28(1), pp.23-32.
- Carraro C, Marchiori C, Sgobbi A, (2005): *Advances in negotiation theory: Bargaining, coalitions and fairness*, World Bank Policy Research Working Paper 3642, June 2005, p. 20-21.
- Carson RT, (1995) : *A Bibliography of Contingent Valuation Papers and Studies*; NRDA: La Jolla, CA, 1995.
- Carson, RT, (1999): *Contingent Valuation : A user's guide*, University of California, Department of Economics, San Diego, La Jolla, California, 92093, 23 Dec 1999, pages 1-2.
- Çelik B, Girgin S, Yazıcı A, Ünlü K, (2010): A decision support system for assessing landfill performance, *Waste Management*, 30, pp. 72-81.
- Chang NB, Chang YH, (2001): Optimal shipping strategy of solid waste streams with respect to throughput and energy recovery goals of incineration facilities, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 18 (3), pp. 193-214.
- Chang NB, Wei YL, (2002): Comparative Study between the Heuristic Algorithm and the Optimization Technique for Vehicle Routing and Scheduling in a Solid Waste Collection System, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 19(1), pp. 41-65.
- Chatfield C, Johnson T, (2007): *Microsoft ® Office Project 2007, Step by Step*, publ. Microsoft, 1st edition, page 476
- Chauhan SS, Proth J-M, (2005): Analysis of a supply chain partnership with revenue sharing, *International Journal of Production Economics*, 97(1), pp. 44-51.
- Chazal M, Jouini E, Tahraoui R, (2003): Production planning and inventories optimization with a general storage cost function, *Nonlinear Analysis*, 54(8), pp. 1365-1395.
- Cheng EWL, Li H, Love PED, (2000): Establishment of critical success factors for construction partnering, *Journal of Construction Engineering and Management* , 16(2), pp. 84–92.
- Chiang YH, Cheng EWL, Lam PTI, (2009): Employing the NPV-Consistent IRR Methods for PFI Contracts, *Journal of Construction Engineering and Management*, posted ahead of print 16 December 2009.
- Chiu Wai-ip, (1998): *How to Launch a Successful BOT Project*, Edmond University of Hong – Kong. Thesis submitted, April 1998, page 34.
- Chou J-S, Yang I-T, Chong WK, (2009): Probabilistic simulation for developing likelihood distribution of engineering project cost, *Automation in Construction*, 18(5), pp. 570-577.
- Chou J-S, (2010): Cost simulation in an item-based project involving construction engineering and management, *International Journal of Project Management*, (2010), doi:10.1016/j.ijproman.2010.07.010
- Chua DKH, Kog YC, Loh PK, (1999): Critical success factor for different project objectives, *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(3), pp. 142 – 150.

- Chun Y, (1988): The proportional solution for rights problems, *Mathematical Social Sciences*, 15(3), 231-246.
- Cohn D, (2008): The new public autonomy? Public-private partnerships in a multi-level, multi-accountable, political environment: The case of British Columbia, Canada, *Policy and Society*, 27, pp. 29–42.
- Choynowski P, (2004): *Restructuring and Regulatory Reform in the Power Sector*, Asian and Development Bank, ERD Working Paper, No 52, May 2004., pp. 16-17, 24
- Coulson A, (2005): Public-private Partnerships, Local Government Studies, *Review Articles*, 31(3), pp. 367 – 371
- Csóka P, Herings PJ-J, Kóczy LA, (2009): Stable allocations of risk, *Games and Economic Behavior*, 67(1), pp. 266-276.
- Csóka P, Pintér M, (2011): On the Impossibility of Fair Risk Allocation. Accessed: <http://econpapers.repec.org/paper/hasdiscpr/1117.htm> 2011.
- Damgaard A, Riber C, Fruergaard T, Hulgaard T, Christensen TH, (2010): Life-cycle-assessment of the historical development of air pollution control and energy recovery in waste incineration, *Waste Management*, 30, pp. 1244-1250.
- Davis HA, (1996): *Project finance: Practical case studies*, Euromoney publishing, London, U.K.
- De Feo G, De Gisi S, (2010): Using an innovative criteria weighting tool for stakeholders involvement to rank MSW facility sites with the AHP, *Waste Management*, 30, pp. 2370–2382.
- Denning KC, Hulburt H, Ferris SP, (2006): Risk and wealth effects of U.S. firm joint venture activity, *Review of Financial Economics*, 15, pp. 271-285.
- Diamantas V, Kirytopoulos K, Leopoulos V, (2007): Project's duration prediction: traditional tools or simulation?, *World Review of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development*, 3(3/4), pp. 317-333.
- Dijkgraaf E, Vollebergh HRJ, (2004): Burn or bury? A social cost comparison of final waste disposal methods, *Ecological Economics*, 50, pp. 233– 247.
- Dinar A, (2000): *The Political Economy of Water Pricing Reforms*, Oxford University Press, p. 769.
- Ding H, Guo B, Liu Z, (2011): Information sharing and profit allotment based on supply chain cooperation, *International Journal of Production Economics*, 133(1), pp. 70-79.
- Dukovska SC, Percinkova B, (2010): Self-referenced multi-agent model, their information states and arrangements. In: NAUN-European Conference of Computer Science ECCS'10, Puerto De La Cruz, Tenerife, November 30-December 2, 2010.
- Dukovska SC, Percinkova B, (2011): A model that presents the states of consciousness of Self and Others, *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 5(3), pp. 602-609.
- El-Gohary NM, Osman H, El-Diraby TE, (2006): Stakeholder management for public private partnerships, *International Journal of Project Management*, 24, pp. 595–604.
- Emery A, Davies A, Griffiths A, Williams K, (2007): Environmental and economic modelling: A case study of municipal solid waste management scenarios in Wales, *Resources Conservation and Recycling*, 49(3), pp. 244-263.
- Engel E, Fischer R, Galetovic A, (2003) : Privatizing Highways in Latin America. Is it possible to fix what went wrong?, *Economia: The Journal of LACEA*, 4(1), pp. 129–158.

- Ergonul S, (2006): A probabilistic approach for economic analysis of a shopping center in seismic zone, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 23(2), pp. 57-63.
- ESCAP (2003): *Integrating Economic considerations into economic policy making process*. In: Virtual conference in economic and social commission for Asia and Pacific, 2003. <http://www.unescap.org/>.
- Essig M, Batran A, (2005): Public-private partnership—Development of long-term relationships in public procurement in Germany, *Journal of Purchasing & Supply Management*, 11, pp. 221–231.
- Estache A, (1990): *Privatization and regulation of transport infrastructure in the 1990s*, The World Bank Research Observer, 1990, 16(1), pp. 85–109.
- European Commission, (2001): Waste management options and climate change, Final Report, July, p. 30.
- European Commission, (2003): *Guidelines for Successful Public – Private Partnerships*, Directorate – General Policy, March 2003, p.14 – 16, 28,54-59
- European Commission, (2004): *Resource Book on PPP Case Studies*, Directorate – General Regional Policy, June 2004, p.9
- European Commission, (2005): *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on Public-Private Partnerships and Community Law on Public Procurement and Concessions*, Brussels, COM(2005), 569, Final, par. 2.3.1, 15.11.2005
- European Commission, (2008): *Project Performance Indicators: Annex C*, in: Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects, 16 Jun, p. 13-15, 18, 25, 32-44, 209-212, 233-239.
- European Parliament, (2006): *Report on public-private partnerships and Community law on public procurement and concessions*, Final, A6-0363/2006, 16.10.2006
- European Parliament, (2006): *Public-Private Partnerships National Experiences in the European Union*, Internal Policies of the Union, Directorate A, Economic and Scientific Policy, 10.02.2006.
- European Union Official Journal (2006): *Council Regulation (EC) No 1083/2006*, of 11 July, 2006: Chapter II, Section 2, Article 39: Content, A. 40: Information submitted to the Commission
- Evans G, Bowman D, (2005): *The Challenge of Public Private Partnerships: Learning from International experience*, Edited by Hodge G. & Greve C., Edward Elgar Publishing, Table 4.1: Public private partnerships models, p. 64
- Farazmand A, (2001): *Privatization and Public Enterprise Reform: Implications for Public Management*, Greenwood Publishing Group, Westport, CT.
- Federal Highway Administration (FHWA), (2005): *Synthesis of publicprivate partnership projects for roads, bridges and tunnels from around the world 1985–2004*, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., p. 9-11
- Fewings P, (2005): *Construction Project Management: An Integrated Approach*, Taylor and Francis publishing, Oxon, U.K., pp. 84-86
- Flinders M. (2005): *The Politics of Public-Private Partnerships*, *Political Studies Association*, 2005. Published by Blackwell Publishing Ltd, Vol.7, pp. 215–239
- Flyvbjerg B, Holm MS, Buhl S, (2002): Underestimating costs in public works projects: error or lie? *Journal of the American Planning Association*, 68(3), pp. 279–295.

- Flyvbjerg B, Skamris MK, Buhl SL, (2003): How common and how large are the cost overruns in transport infrastructure projects?, *Transport Review*, 23, pp. 71–88.
- Froud J, (2003): The private finance initiative: risk, uncertainty and the state, *Accounting, Organizations & Society*, 28, pp. 567– 589.
- Fu T-T, Liu J-T, Hammitt J, (1999) : Consumer willingness to pay for low-pesticide fresh produce in Taiwan, *Journal of Agricultural Economics*, 50, pp. 220-233.
- Galway LA, (2007): *Subjective probability distribution elicitation in cost risk analysis*, Technical Report, RAND Project U.S. Air Force, Chapter IV, Current Best Practices, p. 9-10.
- Gan XH, Sethi SP, Yan HM, (2004): Coordination of supply chains with risk-averse agents, *Production and Operations Management*, 13, pp. 135-149.
- Garfi M, Tondelli S, Bonoli A, (2009): Multi-criteria decision analysis for waste management in Saharawi refugee camps, *Waste Management*, 29, pp. 2729–2739.
- Garlic A, (2007): *Estimating Risk : A Management Approach*, Gower publishing Ltd, Part IV, Chapter 12, the triangle distribution, p. 182-183.
- Garvey PR, (2000): *Probability Methods for Cost Uncertainty Analysis, A System Engineering Perspective*, publ. Marcel Dekker Inc., New York, 71, p. 83-85, 148-150.
- Gentry B, Fernandez L, (1998): *Evolving Public-Private Partnerships: General Themes and Examples from the Urban Water Sector in OECD Proceedings: Globalisation and the environment*. Perspectives from OECD and Dynamic Non-Members Economies, Paris, p. 99–125.
- Ghali MA, (2003): Production-planning horizon, production smoothing, and convexity of the cost functions, *International Journal of Production Economics*, 81-82, pp. 67-74.
- Ghosh D, Roy S, (2009): Maintenance optimization using probabilistic cost-benefit analysis, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(4), pp. 403-407.
- Giannoccaro I, Pontrandolfo P, (2004): Supply chain coordination by revenue sharing contracts, *International Journal of Production Economics*, 89, pp.131-139.
- Giannoccaro I, Pontrandolfo P, (2009): ‘Negotiation of the revenue sharing contract: An agent-based systems approach, *International Journal of Production Economics*, 122, pp. 558-566.
- Gillies D, (1959): Solutions to General Nonzero Sum Games, *Annals of Mathematical Studies*, 40, pp. 47–85.
- Greve C, (2003): *When Public–Private Partnerships Fail. The Extreme Case of the NPM-Inspired Local Government of Farum in Denmark*, paper for the EGPA-conference, 3–6 September, Oerias, Portugal.
- Grimsey D, Lewis MK, (2002): Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects, *International Journal of Project Management*, 20, pp. 107-118
- Grimsey D, Lewis MK, (2005): Are Public Private Partnerships value for money? Evaluating alternative approaches and comparing academic and practitioner views, *Accounting Forum*, 29, pp. 345–378
- Grimsey D, Lewis MK, (2007): *Public Private Partnerships: The Worldwide Revolution in Infrastructure Provision and Project Finance*, Edward Elgar Publishing, Paperback edition 2007, 1: The nature of partnerships, p.6
- Guardiola LA, Meca A, Timmer J, (2007): Cooperation and profit allocation in distribution chains, *Decision Support Systems*, 44(1), pp. 17–27.

- Guess GM, Farnham PG, (2000): *Cases in Public Policy Analysis*, Georgetown University Press, 2nd edition, p. 304
- Gupta MC, Narasimham SV, (1998): Discussion of CSFs in competitive tendering and negotiation model for BOT projects, by RLK Tiong, *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(5), p. 430
- Haarmayer D, Mody A, (1998): *Financing Water and Sanitation Projects – The Unique Risks*, The World Bank Group, Finance, Private Sector and Infrastructure Network, Note No. 151, September 1998.
- Hanss WG, (2001): Overcoming Competitive disadvantages of Public Enterprises by Public – Private Partnerships and their Financial Models, *Annals of Public and Cooperative Economics*, 72(3), pp. 393-411.
- Hammond R, (1966): Convention and Limitation in Benefit-Cost Analysis, *Natural Resources Journal*, 6(2), pp. 195-222.
- Hanke SH, Walker RA, (1974): Benefit-Cost Analysis reconsidered: An evaluation of the Mid-State project, *Water Resources Research*, 10, pp. 898-908.
- Harford JD, (2006): Congestion, pollution, and benefit-to-cost ratios of US public transit systems, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 11(1), pp. 45-58.
- Harsanyi JC, (1959): A bargaining model for the cooperative n-person game, pp. 324–356 in: Tucker, A.W., Luce, D.R., (Eds.). *Contributions to the Theory of Games*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Harsanyi JC, (1963). A simplified bargaining model for the n-person game, *International Economic Review*, 4, pp. 194-220.
- Hawken P, (1993): *The Ecology of Commerce*, New York, New York: Harper Business, p 144.
- Helbing D, Johansson A, (2010): Cooperation, Norms, and Revolutions: A Unified Game-Theoretical Approach, *PLoS ONE* 5(10): e12530. doi:10.1371/journal.pone.0012530
- Hennet J-C, Mahjoub S, (2010): Toward the fair sharing of profit in a supply network formation, *International Journal of Production Economics*, 127(1), pp. 112-120.
- Hertz DB, (1964): Risk analysis in capital investment, *Harvard Business Review*, 42(1), pp. 96–106.
- Hilton RW, (2005): *Capital Expenditure Decisions, in: Managerial Accounting*, sixth ed., Mc Graw-Hill, New York: pp. 674-690.
- HM Treasury, (1999): *How to appoint and work with a preferred bidder*. Technical Note No. 4. Treasury Taskforce – Private Finance.HMSO, London; 1999.
- HM Treasury, (2000): *Public Private Partnerships: The Government's Approach*, p.10
- HM Treasury, (2003): *The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government*, London, Chapter 6, par. 6.9, p. 39.
- HM Treasury Taskforce, (2003): Technical note No. 6 - *How to manage the delivery of long term PFI contracts*, London.
- HM Treasury, (2003): *PFI: Meeting the investment challenge*, London.
- HM Treasury, (2004): *Value for money assessment guidance*, London.
- HM Treasury, (2004): *The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government*, London, Annex 2: Valuing non-market impacts, p. 57-67.
- HM Treasury, (2006): *Quantitative Assessment User Guide*, London.
- HM Treasury, (2007): *VfM Quantitative Assessment User Guide*, London.

- HM Treasury, (2009): *PFI signed projects list*, available via: http://www.hm-treasury.gov.uk/d/pfi_signed_projects_list.xls
- Hodge GA, (2004): The risky business of public–private partnerships, *Australian Journal of Public Administration*, 63(4), pp. 37–49
- Hoefer M, (2012): Strategic cooperation in cost sharing games, *International Journal of Game Theory*, DOI 10.1007/s00182-011-0312-8.
- Hsu P-F, Wu C-R, Li Y-T, (2008): Selection of infectious medical waste disposal firms by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis, *Waste Management*, 28, pp. 1386–1394.
- Hull JK, (1990): Application of risk analysis techniques in the proposal assessment, *Journal of Project Management*, 8(3), pp. 152-157.
- Hung M-L, Ma H-W, Yang W-F, (2007): A novel sustainable decision making model for municipal solid waste management, *Waste Management*, 27, pp. 209–219
- Ingersoll JE, Ross SA, (1992): Waiting to invest: investment and uncertainty, *Journal of Business*, 65(1), pp. 20–29.
- Jacobson C, Choi SO, (2008): Success factors: public works and public-private partnerships, *International Journal of Public Sector Management*, 21(6), pp. 637-657.
- Jamasb T, Nepal R, (2010): Issues and options in waste management: A social cost–benefit analysis of waste-to-energy in the UK, *Resources Conservation and Recycling*, 54(12), pp. 1341-1352.
- Jha KN, Iyer KC, (2007): Commitment, coordination, competence and the iron triangle, *International Journal of Project Management*, 25(5), pp. 527-540
- Jones R, Noble G, (2008): Managing the Implementation of Public–Private Partnerships, *Public Money and Management*, April 2008, The Authors / Journal compilation, GIPFA
- Jorge J-D, de Rus G, (2004): Cost–benefit analysis of investments in airport infrastructure: a practical approach, *Journal of Air Transport Management*, 10(5), 2004, pp. 311-326
- Judjev K, Muller R, (2005): A retrospective look at our evolving understanding of project success, *Project Management Journal*, 36(4), pp. 19-31.
- Kaplan SN, Ruback RS, (1995): The Valuation of Cash Flow Forecasts: An Empirical Analysis, *Journal of Finance*, Blackwell Publishing for the American Finance Association, 50(4), pp. 1059-1093.
- Kahraman C, Tolga E, Ulukan Z, (2000): Justification of manufacturing technologies using fuzzy benefit/cost ratio analysis, *International Journal of Production Economics*, 66 (1), pp. 45-52.
- Karagiannidis A, Papageorgiou A, Perkoulidis G, Sanida G, Samaras P, (2010) : A multi-criteria assessment of scenarios on thermal processing of infectious hospital wastes: A case study for Central Macedonia, *Waste Management*, 30, pp. 251–262.
- Kalai E, (1977): Nonsymmetric Nash solutions and replications of 2-person bargaining, *International Journal of Game Theory*, 6(3), pp. 129-133.
- Kalai E, Samet D, (1985): Monotonic solutions to general cooperative games, *Econometrica*, 53(2), pp. 307-327.
- Karmperis AC, Sotirchos A, Aravossis K, Tatsiopoulou I, (2010): Funding Evaluation Model for the Implementation of Wastewater Treatment Projects through Public Private Partnerships, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 131, pp.147-159.

- Karmperis AC, Sotirchos A, Aravossis K, Tatsiopoulou I, (2011a): A cooperative game theory approach for the equal profit and risk allocation, *2nd European Conference of Systems (ECS'11)*, Puerto de La Cruz, Tenerife, 10-12 Dec., pp. 155-160.
- Karmperis AC, Sotirchos A, Aravossis K, Tatsiopoulou I, (2011b): Option evaluation process for the waste incineration projects, *Proceedings of the Third International Conference Environmental Management Engineering Planning & Economics (CEMEPE & SECOTOX 2011)*, Skiathos, Greece, 19-24 Jun., pp. 925-930.
- Karmperis AC, Sotirchos A, Aravossis K, Tatsiopoulou I, (2012a): Waste management project's alternatives: A risk-based multi-criteria assessment (RBMCA) approach, *Waste Management*, 32(1), pp. 194 – 212.
- Karmperis AC, Aravossis K, Sotirchos A, Tatsiopoulou I, (2012b): Coordination of multi-agents with a revenue-cost-sharing mechanism: A cooperative game theory approach, *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 6(1), pp. 209-221.
- Karmperis AC, Sotirchos A, Aravossis K, Tatsiopoulou I, (2012c): Risk based process for funding scheme evaluation of Public Private Partnerships, *6th International Conference on Applied Mathematics, Simulation, Modelling (ASM'12)*, Vouliagmeni, 7-9 Mar., pp.15 – 20.
- Karmperis AC, Tatsiopoulou I, Sotirchos A, Aravossis K, (2012d): On the financial and risk analysis of waste treatment projects in Greece, *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 7(2), pp. 252-262.
- Karmperis A. C., Sotirchos A., Aravossis K., Tatsiopoulou I., (2012e): Implementing wastewater treatment projects through Build Operate Transfer Contracts, *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 7(2), pp. 237-251.
- Karmperis AC, Aravossis K, Tatsiopoulou IP, Sotirchos A, (2012f) On the fair division of multiple stochastic pies to multiple agents within the Nash bargaining solution, *PLoS ONE*, 7(9) e44535. doi:10.1371/journal.pone.0044535
- Karmperis AC, Sotirchos A, Tatsiopoulou IP, Aravossis K, (2012g): Environmental project evaluation: IRR-based decision support with a Monte Carlo simulation algorithm, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 29(4), pp. 291-299
- Katz GI, Smith SW, (2003): BOT: The future of Public Construction?, *Journal of Construction Accounting and Taxation*, March/April 2003, pp. 37-48
- Ke Y, Liu X, Wang S, (2008): Equitable Financial Evaluation Method for Public-Private Partnership Projects, *Tsinghua Science and Technology*, 13(5), pp.702-707.
- Ke Y, Wang S, Chan APC, Lam PTI, (2010): Preferred risk allocation in China's public-private partnership (PPP) projects, *International Journal of Project Management*, 28(5), pp. 482–492.
- Kepaptsoglou K, Karlaftis MG, Li Z, (2010): Optimizing Pricing Policies in Park-and-Ride Facilities: A Model and Decision Support System with Application, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 10(5), pp.53-65.
- Khan S, Faisal MN, (2008): An analytic network process model for municipal solid waste disposal options, *Waste Management*, 28, pp. 1500–1508.
- Khan S, Mushtaq S, (2009): Regional partnerships to assist public-private investments in irrigation systems, *Agricultural Water Management*, 96, pp. 839 – 846

- Kiker GA, Bridges TS, Varghese A, Seager TP, Linkov I, (2005): Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making, *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1(2), pp. 95–108
- Klingelhofer HE, (2009): Investments in EOP - technologies and emissions trading – Results from a linear programming approach and sensitivity analysis, *European Journal of Operational Research*, 196(1), pp.370-383.
- Klijn E-H, (2009): *Public-Private Partnerships in the Netherlands: Policy, Projects and Lessons*, Journal compilation, Institute of Economic Affairs 2009, Published by Blackwell Publishing, Oxford, pp. 26-32
- Klijn E-H, Teisman GR, (2003): Institutional and Strategic Barriers to Public–Private Partnership: An Analysis of Dutch Cases, *Public Money and Management*, July 2003, GIPFA, pp. 137-146
- Kortanek KO, Medvedev VG, (2001): *Building and Using Dynamic Interest Rate Models*, Wiley Publishing, 1st Edition, November 2001, pp. 12-15.
- Kuhn H, Nasar S, (2002): *The Essential John Nash*. Princeton University Press, Princeton.
- Kunter M, (2012): Coordination via cost and revenue sharing in manufacturer-retailer channels, *European Journal of Operational Research*, 216(2), 477-486.
- Lai G, Debo LG, Sycara K, (2009): Sharing inventory risk in supply chain: The implication of financial constraint, *Omega*, 37(4), pp. 811-825.
- Lakhal SY, (2006): An operational profit sharing and transfer pricing model for network-manufacturing companies, *European Journal of Operational Research*, 175(1), pp. 543-565.
- Lavee D, (2010): A cost-benefit analysis of a deposit–refund program for beverage containers in Israel, *Waste Management*, 30(2), pp. 338-345.
- Leng M, Parlar M, (2009): Lead-time reduction in a two-level supply chain: Non-cooperative equilibria vs. coordination with a profit-sharing contract, *International Journal of Production Economics*, 118, pp. 521–544.
- Leng M, Parlar M, (2010): Game-theoretic analyses of decentralized assembly supply chains: Non-cooperative equilibria vs. coordination with cost-sharing contracts, *European Journal of Operational Research*, 204(1), pp. 96–104.
- Lewis JP, (2006): *Project Planning, Scheduling & Control*, 4th Edition: A Hands-On Guide to Bringing Projects in on Time and on Budget, McGraw-Hill Professional publishing, Chapter 1, p. 29
- Ley E, (2007): *Cost-Benefit Analysis: Evaluation Criteria*, Working paper 40619, World Bank, Washington D.C., 4 December 2007, pp.1-6.
- Ley E, (2007b): *On the Improper use of the Internal Rate of Return in Cost-Benefit Analysis*, World Bank Institute, Washington D.C.
- Li S, Zhu Z, Huang L, (2009): Supply chain coordination and decision making under consignment contract with revenue sharing, *International Journal of Production Economics*, 120, pp. 88-99.
- Lin C-H, Wen L, Tsai Y.-M, (2010): Applying decision-making tools to national e-waste recycling policy: An example of Analytic Hierarchy Process, *Waste Management*, 30, pp. 863–869.
- Linh CT, Hong Y, (2009): Channel coordination through a revenue sharing contract in a two-period newsboy problem, *European Journal of Operational Research*, 198, pp. 822-829.

- Link AN, Scott JT, (2001): Public / private partnerships: stimulating competition in a dynamic market, *International Journal of Industrial Organization*, 19, 2001, pp. 763–794
- Linkov I, Seager TP, (2011): Coupling multi-criteria decision analysis, life-cycle assessment, and risk assessment for emerging threats, *Environmental Science and Technology*, 45(12), pp. 5068-5074.
- Li-Ti Sang S. (1996) : *(BOT) Projects for Infrastructure Development*, Edmond University of Hong – Kong. Thesis submitted for the MBA, August 1996, p. 4
- Lo Nigro G, Abbate L, (2011). Risk assessment and profit sharing in business networks. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 234-241.
- Lo S-C, Ma H-W, Lo S-L, (2005): Quantifying and reducing uncertainty in life cycle assessment using the Bayesian Monte Carlo method, *Science of the Total Environment*, 340 (1-3), pp. 23-33.
- Lock D, (2007): *Project Management*, 9th edition, Gower publishing, Chapter 1: Introduction to Project Management, p. 2, fig. 1.1,
- Madani K, (2011): Hydropower Licensing and Climate Change: Insights from Cooperative Game Theory, *Advances in Water Research*, 34(2), pp. 174-183.
- Mairate A, (2010): *The rationale for economic evaluation in Europe. The case of EU regional policy*, European Commission and VUB, Madrid 15-16 November.
- Malini E, (1999): Build operate transfer municipal bridge projects in India. *Journal of Management Engineering*, 15(4), pp. 51–58.
- Martini CA, Lee DQ, (1996): Difficulties in infrastructure financing, *Journal of Applied Finance and Investment*, 1(1), pp. 24-27
- Martimort D, Pouyet J, (2008): To build or not to build: Normative and positive theories of public–private partnerships, *International Journal of Industrial Organization*, 26, pp. 393–411.
- Maskin E, Tirole J, (2008): Public–private partnerships and government spending limits, *International Journal of Industrial Organization*, 26, pp. 412–420.
- Maskin E, (2011): Commentary: Nash equilibrium and mechanism design, *Games and Economic Behavior*, 71, pp. 9–11.
- McCain RA, (2008): Cooperative games and cooperative organizations, *Journal of Socio-Economics*, 37(6), pp. 2155–2167.
- Metropolis N, Ulam S, (1949): The Monte Carlo Method, *Journal of American Statistics Association*, 44, pp. 335–341
- Medda F, (2007): A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships, *International Journal of Project Management*, 25, pp. 213–218
- Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management, (2002): *State of the Art for Waste Incineration Plants*, Austria, Vienna, pp. 144.
- Mitropoulou CC, Lagaros ND, Papadrakakis M, (2011): Life-cycle cost assessment of optimally designed reinforced concrete buildings under seismic actions, *Reliability Engineering and System Safety*, 96(10), pp. 1311-1331.
- Monod J, (1982): *The private sector and the management of public drinking water supply*, Washington, World Bank, 1982.
- Moreno M, Navas JF, (2003): On the robustness of least-squares Monte Carlo (LSM) for pricing American derivatives, *Review of Derivatives Research*, 6, pp. 107-128.
- Morledge R, Owen K, (1997): Developing a methodological approach to the identification of factors critical to success in privatized infrastructure projects in the UK, *Proc., CIB W92*

- and CIB TG 23 Joint Symp.: *Profitable Partnering in Construction Procurement*, pp. 487–498.
- Morrissey AJ, Browne J, (2004): Waste management models and their application to sustainable waste management, *Waste Management*, 24(3), pp. 297-308.
- Moulin H, (1987): Equal or Proportional Division of a Surplus, and Other Methods, *International Journal of Game Theory*, 16(3), 161-186.
- Murphy TJ, (2008): The case for public-private partnerships in infrastructure, *Canadian Public Administration*, 51(1), pp. 99-126.
- Musgrave RA, (1969): Cost-Benefit Analysis and the Theory of Public Finance, *Journal of Economic Literature*, 7, pp. 797-806.
- Nagarajan M, Susic G, (2008): Game-theoretic analysis of cooperation among supply chain agents: Review and extensions, *European Journal of Operational Research*, 187(3), pp. 719–745.
- Nagel SS, (1983): Dealing with unknown variables in policy/program evaluation, *Evaluation and Program Planning*, 6(1), pp. 7-18
- Najafi AA, Niaki STA, (2006): A genetic algorithm for resource investment problem with discounted cash flows, *Applied Mathematics and Computation*, 183(2), pp. 1057-1070.
- Nahman A, (2011): Pricing landfill externalities: Emissions and disamenity costs in Cape Town, South Africa, *Waste Management*, 31, pp. 2046-2056.
- Nash JF, (1950): The bargaining problem. *Econometrica* 18, 155–162.
- Nash JF, (1951): Non-cooperative games, *Annals of Mathematics*, 2nd Ser., 54(2), pp. 286–295.
- National Audit Office, (2001): *Managing the Relations to Secure a Successful Partnership in PFI projects*, A report by the Comptroller and Auditor General, HC 375, 29 November, the Stationery Office, London.
- National Audit Office, (2003): *PFI: Construction Performance*, reported by the Comptroller and Auditor General; London: HMSO, 2003.
- Ng ST, Xie J, Cheung YK, Jefferies M, (2007): A simulation model for optimizing the concession period of public–private partnerships schemes, *International Journal of Project Management*, 25, pp. 791–798
- Ng A, Loosemore M, (2007): Risk allocation in the private provision of public infrastructure, *International Journal of Project Management*, 25(1), pp.66–76.
- Ng ST, Xie J, Skitmore M, Cheung YK, (2007): A fuzzy simulation model for evaluating the concession items of public–private partnership schemes, *Automation in Construction*, 17(1), pp.22–29.
- Nordic Council of Ministers, (2007): *Nordic guideline for cost-benefit analysis in waste management*, Copenhagen, p. 96-98.
- Nyachhyon BL, (2006): *Prospects and constraints of public private partnership for urban waste management*, Government of Nepal, Ministry of Finance, Economic Policy Network, Policy Paper 15, May 2006, p.23
- Oehmke JF, (2000): Anomalies in net present value calculations, *Economics Letters*, 67(3), pp. 349-351
- Office of Government Commerce (2002): *Green public private partnerships*. Norwich: OGC, p.6

- Ohman KVH, Hettiarachi JPA, Ruwanpura J, Balakrishnan J, Achari G, (2007): Development of a landfill model to prioritise design and operating objectives, *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 135, pp. 85–97.
- Osborne MJ, (2010): A resolution to the NPV–IRR debate?, *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 50(2), pp. 234-239
- Partnerships Victoria, (2003): *Partnerships Victoria - Public sector comparator*, Department of Treasury and Finance, Victoria, Australia.
- Panggabean ATP, (2006): *Expanding Access to Basic Services in Asia and The Pacific Region: Public-Private Partnerships for Poverty Reduction*, Asian and Development Bank, ERD Working Paper, No 87, November 2006, p. 1, 7, 14
- Parfitt MK, Sanvido VE, (1993): Checklist of critical success factors for building projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, 9(3), pp. 243–249.
- Parthan SR, Milke MW, Wilson DC, Cocks JH, (2012): Cost estimation for solid waste management in industrialising regions – Precedents, problems and prospects, *Waste Management*, 32(3), pp. 584-594.
- Pearce D, (1998): Cost-Benefit Analysis and environmental policy, *Oxford Review of Economic Policy*, 14, pp. 84-100.
- Pearce D, Atkinson G, Mourato S, (2006): *Cost-Benefit Analysis and the Environment: Recent Developments*, OECD publishing, p. 253-267.
- Petch J, (1999): *Uncertainty & Risk Analysis*, *Business Dynamics*, PricewaterhouseCoopers, April 1999, pp. 40-42
- Petts J, (1992): Incineration risk perceptions and public concern: Experience in the U.K. improving risk communication, *Waste Management and Research*, 10(2), pp. 169-182.
- Philips JJ, (1997): *Return on Investment in Training and Performance Improvement Programs*, Gulf Professional Publishing, 1st Edition, July 1997, pp. 158-161
- Pickin J, (2008): Representations of environmental concerns in cost–benefit analyses of solid waste recycling, *Resources Conservation Recycling*, 53, pp. 79–85.
- PMI, (2008): *Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*, Project Management Institute, 4th edition, p.168, p. 296-298.
- PMI, (2009): *Practice Standard for Project Risk Management*, Project Management Institute, 4th edition, p.4
- Poli D, Pelacchi P, (2011): Security assessment of the results of the day-ahead electricity market, using a Monte Carlo power system simulator”, *International Journal of Energy*, 5(3), pp. 53-61.
- Pollitt C, (1993): *Managerialism and the Public Services*, Blackwell Publishing, 2nd edition, Oxford.
- Pongsiri N, (2002): Regulation and public-private partnerships, *International Journal of Public Sector Management*, 15(6), pp. 487-495.
- Porter RC, (1978): Social Benefit-Cost Analysis of Mandatory Deposits on Beverage Containers, *Journal of Environmental Economics and Management*, 5(4), pp. 351–375.
- Prest AR, Turvey R, (1965): Cost-Benefit Analysis: A Survey, *The Economic Journal*, 75, pp. 683-735.
- Promentilla MAB, Furuichi T, Ishii K, Tanikawa N, (2006): Evaluation of remedial countermeasures using the analytic network process, *Waste Management*, 26, pp. 1410–1421.

- Qureshi ME, Harrison SR, Wegener MK, (1999): Validation of multicriteria analysis models, *Agricultural Systems*, 62, pp. 105–116.
- Raftery J, (2003): *Risk analysis in project management*. London: E & FN Spon.
- Ramanathan R, (2002): Successful transfer of environmentally sound technologies for greenhouse gas mitigation: a framework for matching the needs of developing countries, *Ecological Economics*, 42, pp. 117–129.
- Reeves E, (2005): Public Private Partnerships in the Irish Roads Sector: An Economic Analysis, *Research in Transportation Economics*, 15, pp. 107–120.
- Remer DS, Nieto AP, (1995): A compendium and comparison of 25 project evaluation techniques. Part 1: Net present value and rate of return methods, *International Journal of Production Economics*, 42(1), pp. 79-96
- Renna P, Argoneto P, (2011): Capacity sharing in a network of independent factories: A cooperative game theory approach, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27(2), pp. 405-417.
- Rentizelas A, Tziralis G, Kirytopoulos K, (2007): Incorporating uncertainty in optimal investment decisions, *World Review of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development*, 3(3/4), pp. 273-283.
- Rezaie K, Amalnik MS, Gereie A, Ostadi B, Shakhsheniaee M, (2007): Using extended Monte Carlo simulation method for the improvement of risk management: Consideration of relationships between uncertainties, *Applied Mathematics and Computation*, 190(2), pp. 1492-1501.
- Rogers PJ, Stevens K, Boymal J, (2009): Qualitative cost–benefit evaluation of complex, emergent programs, *Evaluation and Program Planning*, 32(1), pp. 82-93.
- Ross D, (2010): Game Theory, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, (May 2010), available through: <http://plato.stanford.edu/entries/game-theory/>.
- Roth AE, (1979). *Axiomatic Models of Bargaining*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 170, Springer Verlag, p.19-20.
- Roumpoutsos A, Anagnostopoulos KP, (2008): Public–private partnership projects in Greece: risk ranking and preferred risk allocation, *Construction Management and Economics*, 26, pp. 751–763
- Ruuska I, Teigland R, (2009): Ensuring project success through collective competence and creative conflict in public–private partnerships – A case study of Bygga Villa, a Swedish triple helix e-government initiative, *International Journal of Project Management*, 27(4), pp. 323-334.
- Saaty TL, (1978): Exploring the interface between hierarchies, multiple objectives and fuzzy sets, *Fuzzy Sets Systems*, 1, pp. 57-68.
- Salling KB, Leleur S, (2011): Transport appraisal and Monte Carlo simulation by use of the CBA-DK model, *Transportation Policy*, 18, pp. 236-245.
- Sanvido V, Parfitt K, Guveris M, Coyle M, (1992): Critical success factors for construction projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, 118(1), pp. 94–111.
- Saunders HD, (2008): Fuel conserving (and using) production functions, *Energy Economics*, 30(5), pp. 2184-2235.
- Saleh Y, Gürler Ü, Berk E, (2011): Centralized and decentralized management of groundwater with multiple users, *European Journal of Operational Research*, 215(1), pp. 244-256.

- Schwartz E, (1993): *Theory and Application of the Interest Rate*, Praeger Publishing, March 1993, p. 19-21
- Schmeidler D, (1969). The Nucleolus of a Characteristic Function Game, *SIAM Journal of Applied Mathematics*, 17(6), pp. 1163-1170.
- Scipioni A, Mazzi A, Niero M, Boatto T, (2009): LCA to choose among alternative design solutions: The case study of a new Italian incineration line, *Waste Management*, 29(9), pp. 2462-2474.
- Sener S, Sener E, Nas B, Karagüzel R, (2010): Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beysehir catchment area (Konya, Turkey), *Waste Management*, 30, pp. 2037–2046
- Shapley LS, (1953): A Value for n-person Games. In: *Contributions to the Theory of Games*, Vol. II, ed. H.W. Kuhn and A.W. Tucker. *Annals of Mathematical Studies*, v. 28, pp. 307–317. Princeton University Press.
- Shi CV, Zhao X, Xia Y, (2010): The setting of profit targets for target oriented divisions. *European Journal of Operational Research*, 206(1), pp. 86-92.
- Shen L-Y, Platten A, Deng XP, (2006): Role of public private partnerships to manage risks in public sector projects in Hong Kong, *International Journal of Project Management*, 24, pp. 587–594.
- Shim JP, Warkentin M, Courtney JF, Power DJ, Sharda R, Carlsson C, (2002): Past, present, and future of decision support technology, *Decision Support Systems*, 33, pp. 111 –126.
- Siegel JJ, (1994): *Stocks for the Long Run*, Irwin Professional Publishing, Burr Ridge, IL.
- Skietrys E, Raipa A, Bartkus EV, (2008): Dimensions of the Efficiency of Public - Private Partnership, *Engineering Economics*, The Economic Conditions of Enterprise Functioning, 58(3), pp. 45-50
- Smith NJ, (2002) : *Engineering Project Management*, Blackwell publishing, 2nd edition, p. 4-5, 31, 307 - 308
- Smith LD, (2002): *Discounted Cash Flow Analysis: Methodology and Discount Rates: Light Metals*, CIM Bulletin, Vol. 95, No 1062, p.101-108
- Songer AD, Molenaar KR, (1997): Project Characteristics for Successful Public-Sector Design – Build, *Journal of Construction Engineering and Management*, 123(1), pp.34–40.
- Sotirchos A, Karmperis AC, Aravossis K, Tatsiopoulou I, (2011a): An algorithm for the equal profit allocation between multiple players, *2ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο στην Εφαρμοσμένη Οικονομική*, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 14-15 Απρ. 2011, Βόλος.
- Sotirchos A, Karmperis AC, Aravossis K, Tatsiopoulou I, (2011b): Financial sustainability of the waste treatment projects that follow PPP contracts in Greece: a formula for the calculation of the profit rate, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 144, pp.285-297.
- Soto GM, (2003): Duration Models and IRR Management: A question of Dimensions?, *Journal of Banking and Finance*, 28(5), pp. 1089-1110
- Spackman M, (1997): *The real return to UK equity: 6 or 12%?* Government Economic Service Working Paper 130.
- Spackman M, (2002): Public–private partnerships: lessons from the British approach, *Economic Systems*, 26, pp. 283–301

- Stubenvoll J, Böhmer S, Szednyj I, Zehetner G, (2002): *State of the Art for Waste Incineration Plants*, Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management, Vienna, pp. 119-148
- Sullivan T, (2002): *Evaluation of Environmental Decision Support Tools*, Environmental & Waste Technology Division, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973, pp. 3-7.
- Supatgiat C, Zhang RO, Birge JR, (2001). Equilibrium values in a competitive power exchange market. *Computational Economics*, 17(1), pp.93-121.
- Svensson E, Berntsson T, Stromberg A-B, Patriksson M, (2009): An optimization methodology for identifying robust process integration investments under uncertainty, *Energy Policy*, 37(2), pp. 680-685
- Talvitie AP, Sikow C, (1992): Analysis of productivity in highway construction using alternative average cost definitions, *Transportation Research Part B: Methodological*, 26(6), pp. 461-478.
- Tang L, Shen Q, Cheng EWL, (2010): A review of studies on Public–Private Partnership projects in the construction industry, *International Journal of Project Management*, 28(7), pp.683-694.
- Takashima R, Yagi K, Takamori H, (2010): Government guarantees and risk sharing in public–private partnerships, *Review of Financial Economics*, 19(2), pp.78–83.
- Tatsiopoulou I, (2004): Special Issue Editorial: Purchasing and E-procurement, *Production Planning and Control*, 15(7), pp. 631-633.
- Tesfamariam S, Sanchez-Silva M, (2011) : A model for earthquake risk management based on the life-cycle performance of structures, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 28(3), pp. 261-271.
- Tetrevova L, (2006): Theoretical and Practical Aspects of PPP Projects, *VABYDA / MANAGEMENT*, 2006, No. 3-4 (12-13), pp.105-110
- Thackway R, Olsson K, (1999): Public/private partnerships and protected areas: selected Australian case studies, *Landscape and Urban Planning*, 44, pp. 87-97.
- Threadgold A, (1996): Private financing of infrastructure and other long – term capital projects, *Journal of Applied Finance and Investment*, 1(1), pp. 7-12.
- Tijs SH, Driessen TSH, (1986): Game theory and cost allocation problems, *Management Science*, 32(8), pp.1015-1028.
- Tiong RLK, Yeo KT, McCarthy SC, (1992): Critical success factors in winning BOT contracts, *Journal of Construction Engineering and Management*, 118(2), pp. 217–228.
- Tiong RLK, (1996): CSFs in competitive tendering and negotiation model for BOT projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, 122(3), pp. 205–211.
- Tiong RLK, Alum J, (1997): Distinctive winning elements in BOT tender, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 4(2), pp. 83–94.
- Tol RSJ, (2003): Is the uncertainty about climate change too large?, *Climatic Change* 56, pp. 265–289.
- Tolis A, Rentizelas A, Aravossis K, Tatsiopoulou I, (2010a): Electricity and combined heat and power from municipal solid waste; theoretically optimal investment decision time and emissions trading implications, *Waste Management & Research*, 28(11), pp. 985-995.
- Tolis A, Doukelis A, Tatsiopoulou I, (2010b): Stochastic interest rates in the analysis of energy investments: Implications on economic performance and sustainability, *Applied Energy*, 87(8), pp. 2479-2490.

- Tolis A, Rentizelas A, Tatsiopoulou I, (2010c): Time-dependent opportunities in energy business: A comparative study of locally available renewable and conventional fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), pp. 384–393.
- Trujillo L, Quinet E, Estache A, (2002): Dealing with demand forecasting games in transport privatization, *Transport Policy*, 9, pp. 325–334.
- Tsagarakis KP, Mara DD, Angelakis AN, (2003): Application of cost criteria for selection of municipal wastewater treatment systems, *Water, Air and Soil Pollution*, 142, Kluwer Academic Publishers.
- Tsamboulas DA, Kapros S, (2003): Freight village evaluation under uncertainty with public and private financing, *Transportation Policy*, 10(2), pp.141-156.
- Tziralis G, Kirytopoulos K, Rentizelas A, Tatsiopoulou I, (2009): Holistic Investment Assessment: Optimization, Risk Appraisal and Decision Making, *Managerial and Decision Economics*, 30(6), pp. 393–403.
- Turner RK, (2007): Limits to CBA in UK and European environmental policy: retrospects and future prospects, *Environmental Resources Economics*, 37, pp. 253-269.
- TuTurner JR, (2009): *The Handbook of project-based management*, McGraw-Hill publishing, Part I: The Context of Projects, p. 10.
- UK DfT, (2002): *Green Public Private Partnerships Department for Transport*, p.4, publ. 30 August 2002
- UK Office of Government Commerce (OGC), (2007): *Management of Risks, Guidance for Practitioners*, London UK: The Stationery Office, 12 Mar 2007, p. 1.
- UNECE, (2008): *Guidebook on Promoting Good Governance in Public Private Partnerships* United Nations Economic Commission for Europe, Geneva, pp. 60-61.
- United Nations, (1987): *Our Common Future*, World Commission On Environment And Development. Oxford, England: Oxford University Press, 1987.
- United States National Council for Public-Private Partnerships (2003): *Critical choices: The debate over public-private partnerships and what it means for America's future*, Washington, D.C.
- United States Department of Transportation, (2004): *Report to congress on Public-Private Partnerships*, Federal Highway Administration, Washington D.C. December 2004, page 1, 14-18
- van den Brink R, van der Laan G, Moes N, (2011): Fair agreements for sharing international rivers with multiple springs and externalities, *Journal of Environmental Economics and Management*, doi: 10.1016/j.jeem.2011.11.003
- van Ham H, Koppenjan J, (2002): Building Public-Private Partnerships, Assessing and managing risks in port development, *Public Management Review*, 4(1), pp. 593–616.
- van Herper GWEB, (2002): *Public Private Partnerships, the Advantages and Disadvantages Examined*, Association for European Transport 2002, Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management
- Vilcu GE, (2011): A geometric perspective on the generalized Cobb–Douglas production functions, *Applied Mathematics Letters*, 24(5), pp. 777-783.
- von Neumann J, Morgenstern O, (1944): *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Wang Y, Jiang L, Shen Z., (2004): Channel performance under consignment contract with revenue sharing, *Management Science*, 50, pp. 34–47.

- Wedley WC, Choo EU, Schoner B, (2001): Magnitude adjustment for AHP benefit/cost ratios, *European Journal of Operational Research*, 133(2), pp. 342-351.
- Wei T, (2007): Impact of energy efficiency gains on output and energy use with Cobb–Douglas production function, *Energy Policy*, 35(4), pp. 2023-2030.
- Wendland A, (2005): Lesson C2, Operation Costs of wastewater Treatment Plants, EMWATER e-Learning course, project financed by the European Union, pp. 13-15.
- Wilson D, Whiteman A, Tormin A, (2001): *Strategic Planning Guide for Municipal Solid Waste Management*, For the Collaborative Working Group on Solid Waste Management in Low and Middle Income Countries (CWG). World Bank, Washington DC. accessed via: www.worldbank.org/urban/solid_wm/erm/start_up.pdf .
- Wisitorsasak A, Triampo W, Triampo D, Modchang C, Lenbury Y, (2009): Investigating the heterodimerization process among receptors by Monte Carlo cellular automaton simulation, *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 3(4), pp. 335-345.
- Wong KKL, (2010): A Geometrical Perspective for the Bargaining Problem. PLoS ONE 5(4): e10331. doi:10.1371/journal.pone.0010331
- World Bank, (1997): *Global Development Finance*, Washington, DC.
- World Bank, (2003): *Cities in Transition: Urban sector review of in an era of decentralization in Indonesia*, East Asia Urban Working Paper Series 2003: Paper No 7, 30 June 2003, p. 59-61.
- World Bank, (2006): *Approaches to Private Participation in Water Services: A TOOLKIT*. Infrastructure Advisory Facility & the World Bank, Washington, USA.
- World Bank Group, (2009): *PPP in Developing Countries, 2007 data results from the PPI Project Database*, The World Bank Group, Public Private Infrastructure Advisory Facility, p. 13, 19, accessed via <http://ppi.worldbank.org/>, 3 Dec. 2009.
- Worn TW, (2008): *Unlocking the Value of Business: How to increase it, measure it, and negotiate an actual sale price – Valuation in easy, step by step terms*, Charter Oak Press Publishing, 3rd Edition, March 2008, p. 41-42.
- Wu DD, Olson D, (2010): Enterprise risk management: a DEA VaR approach in vendor selection, *International journal of Production Research*, 48(16), pp. 4919-4932.
- Wu J, Wang SB, Chao X, Ng CT, Cheng TCE, (2010): Impact of risk aversion on optimal decisions in supply contracts, *International Journal of Production Economics*, 128, pp. 569-576.
- Xie G, Yue W, Wang S, Lai KK, (2011): Quality investment and price decision in a risk-averse supply chain, *European Journal of Operational Research*, 214(2), pp. 403-410.
- Yang KL, Chu P, Chouhuang W-T, (2004): Note on incremental benefit/cost ratios in analytic hierarchy process, *Mathematical and Computer Modelling*, 39 (2-3), pp. 279-286.
- Yang D, Xiao T, Shen H, (2009): Pricing, service level and lot size decisions of a supply chain with risk-averse retailers: implications to practitioners, *Production Planning and Control*, 20, pp. 320-331.
- Ye SD, Tiong RLK, (2000): NPV-at-risk method in infrastructure project investment evaluation, *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(3), pp. 227-233.
- Yeo KT, Qiu F, (2003): The value of management flexibility-a real option approach to investment evaluation, *International Journal of Project Management*, 21(4), pp. 243-250.
- Yescombe ER, (2007): *Public-Private Partnerships: Principles of Policy and Finance*, Elsevier Publishing, Chapter 2, § 2.12: Flexibility, p.26

- Yongjian K, Xinping L, Shouqing W, (2008): Equitable Financial Evaluation Method for Public-Private Partnership Projects, *Tsinghua Science and Technology*, 13(5), pp. 702-707.
- Young HP, (1985). Monotonic Solutions of Cooperative Games, *International Journal of Game Theory*, 14(2), pp. 65-72.
- Young SD, O'Byrne SF, (2000): *EVA and Value Based Management: A Practical Guide to Implementation*, Mc Graw-Hill Publishing, 1st Edition, November 2000, p. 25-26
- Yu O-Y, Guikema S-D, Briaud J-L, Burnett D, (2011): Quantitative decision tools for system selection in environmentally friendly drilling, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 28(3), pp. 185-208.
- Zanakis SH, Theofanides S, Kontaratos AN, Tassios TP, (2003): Ancient Greeks' Practices and Contributions in Public and Entrepreneurship Decision Making, *Interfaces*, 33(6), pp.72-88.
- Zhang XQ, (2004): Improving concessionaire selection protocols in public/private partnered infrastructure projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(5), pp.670–679.
- Zhang X, (2005): Critical Success Factors for Public–Private Partnerships in Infrastructure Development, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, January, pp. 3-14.
- Zhang XQ, Kumaraswamy MM. (2001): Hong Kong experience in managing BOT projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 2001, 127(2), pp. 154–162.
- Zhao Y, Wang S, Cheng TCE, Yang X, Huang Z, (2010): Coordination of supply chains by option contracts: A cooperative game theory approach, *European Journal of Operational Research*, 207, pp. 668-675
- Zitron J, (2006): Public–private partnership projects: Towards a model of contractor bidding decision-making, *Journal of Purchasing & Supply Management*, 12, pp. 53–62.
- Zhu A, (2009): Side-payment contracts in two-person nonzero-sum supply chain games: Review, discussion and applications, *European Journal of Operational Research*, 196(2), pp. 600–618.

Ελληνική γλώσσα

- Αραβώσης, Κ., (2007): *Κατάρτιση και Αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων και Προγραμμάτων*, εκδ. Νομική Βιβλιοθήκη, σελ. 97-108.
- Αραβώσης Κ, Καρμπέρης Αθ, Σωτήρχος Α, (2012): *Τεχνικοοικονομική Αξιολόγηση Επενδύσεων*, Εκδ: Νομική Βιβλιοθήκη, σελ. 504.
- Αριστοτέλης(384 - 322 π.Χ.) : *Ηθικά Νικομάχεια*, εκδόσεις Κάκτος 1993, 1106α, 22-24, Αθήνα
- Εθνικό Δίκαιο, (2009) : Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 43101: περί Εφαρμογής του Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 1429 «Διαχειριστική Επάρκεια Οργανισμών για την Υλοποίηση Έργων Δημόσιου Χαρακτήρα – Απαιτήσεις, για τη Προγραμματική Περίοδο 2007-2013, Φ.Ε.Κ. 1914, 8 Σεπ. 2009
- ΕΛΟΤ EN ISO 8402 : *Διαχείριση της Ποιότητας και Διασφάλιση της Ποιότητας – Λεξιλόγιο*, Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, Ελλάδα
- ΕΛΟΤ (2008) : ΕΛΟΤ 1429 : *Διαχειριστική Επάρκεια Οργανισμών για την Υλοποίηση Έργων Δημόσιου Χαρακτήρα – Απαιτήσεις*, παρ. 7.2 : Διεργασίες σχεδιασμού, σελ. 15-17, παρ. 7.4 : Παρακολούθηση της εκτέλεσης του έργου, σελ. 18-20, παρ. 3: Όροι και Ορισμοί εννοιών, 3.36, σελ. 10, Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, Ελλάδα
- ΕΛΟΤ (2008) : ΕΛΟΤ EN ISO 9001/2008: *Συστήματα Διαχείρισης της Ποιότητας – Απαιτήσεις*, Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, Ελλάδα
- Μέργος, Γ. Ι., (2006): *Κοινωνικο-οικονομική αξιολόγηση επενδύσεων και πολιτικών*, εκδ. Μπένου, τόμος Α, 2η έκδοση, σελ. 69-79.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Α. Αποδείξεις Προτάσεων και Θεωρημάτων

Α.1 Απόδειξη Προτάσεων και Θεωρημάτων για το μοντέλο ίσου επιμερισμού του χρηματοοικονομικού κινδύνου

Απόδειξη Πρότασης 5.1

Ισχύουν οι σχέσεις:

$$R_i \in (0,1) \text{ and } \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n C_i = 1 \quad (\text{A.1})$$

$$P_i = R(R_i) - C(C_i) - c_i > 0, \quad \forall i \in N \quad (\text{A.2})$$

Το κέρδος για κάθε παίκτη $i = 1, 2, 3, \dots, n$ που ανήκει στον μεγάλο-συνασπισμό N δίνεται:

$$P_i = RR_i - CC_i - c_i \quad (\text{A.3})$$

Είναι προφανές ότι υπάρχουν άπειρα ποσοστά επιμερισμού εσόδων-κόστους (revenue-cost-sharing) $(R_i), (C_i)$, καθώς ακόμα και στη πλέον απλή περίπτωση με δύο παίκτες: ($n = 2$), τα κέρδη του μεγάλου-συνασπισμού P_N δίνονται από τη σχέση (A.4):

$$P_N = R - C - c_1 - c_2 \quad (\text{A.4})$$

Προκειμένου να υπολογιστούν τα ποσοστά επιμερισμού εσόδων-κόστους των παικτών: $(R_1, R_2), (C_1, C_2)$, με τα οποία τα κέρδη του συνασπισμού επιμερίζονται ίσα μεταξύ τους, έχουμε ένα σύστημα 4 εξισώσεων με 4 αγνώστους $(R_1, R_2), (C_1, C_2)$, όπως παρακάτω:

$$P_1 = RR_1 - CC_1 - c_1 = \frac{P_N}{2} \quad (\text{A.5})$$

$$P_2 = RR_2 - CC_2 - c_2 = \frac{P_N}{2} \quad (\text{A.6})$$

$$R_1 + R_2 = C_1 + C_2 = 1 \quad (\text{A.7})$$

Από το άθροισμα των σχέσεων (A.5) και (A.6) έχουμε:

$$R(R_1 + R_2) - C(C_1 + C_2) - (c_1 + c_2) = P_N \Leftrightarrow 0 = 0 \quad (\text{A.7})$$

Επιπλέον, επισημαίνεται ότι σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, όπου $n > 2$, πρέπει να υπολογίσουμε $2n$ αγνώστους, ενώ οι διαθέσιμες εξισώσεις θα είναι: $n + 2 < 2n$.

Απόδειξη Πρότασης 5.2

Λαμβάνοντας υποψη ότι αμφότερα τα επιμεριζόμενα έσοδα R και το επιμεριζόμενο κόστος C του μεγάλου-συνασπισμού ακολουθούν κανονικές κατανομές πιθανότητας, συμπεραίνουμε ότι τα κέρδη P_1, P_2, P_3, \dots , και P_n που επιμερίζονται στους παίκτες $1,2,3,\dots$, και n , αντίστοιχα, ακολουθούν επίσης κανονικές κατανομές πιθανότητας:

$$P_1(\mu_1, \sigma_1^2) = (1/\sqrt{2\pi}\sigma_1) e^{-\frac{(P_1-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}},$$

$$P_2(\mu_2, \sigma_2^2) = (1/\sqrt{2\pi}\sigma_2) e^{-\frac{(P_2-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}}, \dots,$$

$$P_n(\mu_n, \sigma_n^2) = (1/\sqrt{2\pi}\sigma_n) e^{-\frac{(P_n-\mu_n)^2}{2\sigma_n^2}} \text{ για τους παίκτες } i = 1,2,\dots, \text{ και } n, \text{ αντίστοιχα.}$$

Από αυτές τις σχέσεις, τα κέρδη και οι κίνδυνοι επιμερίζονται ίσα όταν ισχύει:

$$P_1(\mu_1, \sigma_1^2) \equiv P_2(\mu_2, \sigma_2^2) \equiv \dots \equiv P_n(\mu_n, \sigma_n^2) \Leftrightarrow$$

$$\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n \text{ και } \sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_n \tag{A.8}$$

Απόδειξη Θεωρήματος 5.1

Οι κατανομές πιθανότητας των κερδών για τους παίκτες 1 και 2 δίνονται από:

$$P_1 = \Pi_R R_1 - \Pi_C C_1 - c_1, \text{ και } P_2 = \Pi_R R_2 - \Pi_C C_2 - c_2.$$

Σύμφωνα με τη Πρόταση 5.2, οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις στο ίδιο διάστημα εμπιστοσύνης, π.χ. το δεύτερο: $(\mu \pm 2\sigma)$, θα πρέπει να είναι ίσες.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι από τη σχέση (A.1) είναι: $R_1 + R_2 = 1$ και $C_1 + C_2 = 1$, όπου τα $R_1, R_2 \in (0,1)$, ορίζουμε ότι τα C_1, C_2 δύναται να λάβουν οποιαδήποτε τιμή ικανοποιώντας πάντα τις σχέσεις (A.1) και (A.2), ώστε να διασφαλίσουμε ότι υπάρχει τουλάχιστον μία λύση $(R_1^*, R_2^*), (C_1^*, C_2^*)$, η οποία δίνει: $\mu_1 = \mu_2, \sigma_1 = \sigma_2$. Επιπλέον, προκειμένου να αποδείξουμε τη μοναδικότητα αυτής της λύσης, θεωρούμε ότι υπάρχει μία δεύτερη λύση, η οποία συμβολίζεται με $(R_1^{**}, R_2^{**}), (C_1^{**}, C_2^{**})$, η οποία επίσης ικανοποιεί τη σχέση (A.8). Συγκεκριμένα, προκειμένου να είναι διαφορετικές οι δύο λύσεις, τουλάχιστον ένα στοιχείο μεταξύ των θα πρέπει να είναι διαφορετικό: $R_1^* \neq R_1^{**}$, ή $R_2^* \neq R_2^{**}$, ή $C_1^* \neq C_1^{**}$, ή $C_2^* \neq C_2^{**}$, ενώ σε αμφότερες τη πρώτη και δεύτερη λύση ισχύει:

$$R_1^* + R_2^* = R_1^{**} + R_2^{**} = C_1^* + C_2^* = C_1^{**} + C_2^{**} = 1 \quad (\text{A.8})$$

Λαμβάνουμε υπόψη ότι οι λύσεις $(R_1^*, R_2^*), (C_1^*, C_2^*)$ και $(R_1^{**}, R_2^{**}), (C_1^{**}, C_2^{**})$ ικανοποιούν τις σχέσεις (A.10), (A.12) και (A.11), (A.13), αντίστοιχα:

$$\mu_1 = \mu_2 \Leftrightarrow \mu_R R_1^* - \mu_C C_1^* - c_1 = \mu_R R_2^* - \mu_C C_2^* - c_2 \quad (\text{A.10})$$

$$\mu_1 = \mu_2 \Leftrightarrow \mu_R R_1^{**} - \mu_C C_1^{**} - c_1 = \mu_R R_2^{**} - \mu_C C_2^{**} - c_2 \quad (\text{A.11})$$

$$\mu_1 \pm 2\sigma_1 = \mu_2 \pm 2\sigma_2 \Leftrightarrow \Pi_R R_1^* - \Pi_C C_1^* - c_1 = \Pi_R R_2^* - \Pi_C C_2^* - c_2 \quad (\text{A.12})$$

$$\mu_1 \pm 2\sigma_1 = \mu_2 \pm 2\sigma_2 \Leftrightarrow \Pi_R R_1^{**} - \Pi_C C_1^{**} - c_1 = \Pi_R R_2^{**} - \Pi_C C_2^{**} - c_2 \quad (\text{A.13})$$

Από τη σχέση (A.10) αφαιρούμε την (A.11) και έχουμε:

$$(A.10) - (A.11) \Leftrightarrow$$

$$\mu_R (R_1^* - R_2^* - R_1^{**} + R_2^{**}) - \mu_C (C_1^* - C_2^* + C_2^{**} - C_1^{**}) = 0 \quad (\text{A.14})$$

ομοίως από την αφαίρεση της (A.12) με την (A.13):

$$(A.12) - (A.13) \Leftrightarrow$$

$$\Pi_R (R_1^* - R_2^* - R_1^{**} + R_2^{**}) - \Pi_C (C_1^* - C_2^* + C_2^{**} - C_1^{**}) = 0 \quad (\text{A.15})$$

Ισχύει ότι: $\mu_R > \mu_C, \Pi_R > \Pi_C$ και κατά συνέπεια αμφότερες οι παρενθέσεις στις σχέσεις (A.14) και (A.15) ισούνται με μηδέν:

$$\begin{aligned} R_1^* - R_2^* - R_1^{**} + R_2^{**} = 0 \quad (\text{A.9}) \quad 1 - R_2^* - R_2^* - 1 + R_2^{**} + R_2^{**} = 0 \quad \Leftrightarrow R_2^{**} = R_2^* \quad (\text{A.9}) \quad R_1^{**} = R_1^* \\ C_1^* - C_2^* - C_1^{**} + C_2^{**} = 0 \quad \Leftrightarrow 1 - C_2^* - C_2^* - 1 + C_2^{**} + C_2^{**} = 0 \quad \Leftrightarrow C_2^{**} = C_2^* \quad \Leftrightarrow C_1^{**} = C_1^* \end{aligned}$$

Με άλλα λόγια, κάθε δεύτερη λύση είναι ίση με τη πρώτη: $R_1^* = R_1^{**}, R_2^* = R_2^{**}, C_1^* = C_1^{**}, C_2^* = C_2^{**}$ και κατά συνέπεια υπάρχει μία μοναδική λύση: $(R_1^*, R_2^*), (C_1^*, C_2^*)$ για τον ίσο επιμερισμό του κέρδους και των κινδύνων μεταξύ των παικτών 1 και 2.

Απόδειξη Θεωρήματος 5.2

Προκειμένου να τεκμηριωθεί ότι τα κέρδη και οι κίνδυνοι του μεγάλου-συνασπισμού επιμερίζονται ίσα μεταξύ όλων των παικτών, τόσο οι μέσες τιμές όσο και οι τιμές των επιμεριζόμενων κερδών στα διαστήματα εμπιστοσύνης: $(\mu \pm \sigma)$, $(\mu \pm 2\sigma)$ και $(\mu \pm 3\sigma)$ θα πρέπει να είναι ίσες για όλους τους συνεργαζόμενους παίκτες. Επισημαίνεται ότι αυτά τα

διαστήματα εμπιστοσύνης περιλαμβάνουν τις τιμές καθαρού κέρδους για κάθε παίκτη με 68.27%, 95.45% και 99.73% πιθανότητες, αντίστοιχα. Οι κατανομές πιθανότητας των κερδών των συνασπισμών N_A , N_B , δίνεται από:

$$P_A = \Pi_R R_A - \Pi_C C_A - \sum_{a=1}^h c_a \quad (\text{A.16})$$

$$P_B = \Pi_R R_B - \Pi_C C_B - \sum_{b=h+1}^n c_b \quad (\text{A.17})$$

Σύμφωνα με τη Πρόταση 5.2, οι μέσες τιμές και οι τιμές κέρδους στο ίδιο διάστημα εμπιστοσύνης, δηλ. $(\mu \pm \sigma)$, ή $(\mu \pm 2\sigma)$, ή $(\mu \pm 3\sigma)$, θα πρέπει να είναι ίσες. Όμοια με την απόδειξη του Θεωρήματος 5.1, υποθέτουμε ότι υπάρχουν δύο λύσεις: $(R_A^*, R_B^*), (C_A^*, C_B^*)$ και $(R_A^{**}, R_B^{**}), (C_A^{**}, C_B^{**})$, οι οποίες ικανοποιούν τις επόμενες σχέσεις (A.18) and (A.19):

$$\begin{aligned} \mu_A = h(\mu_i), \quad \mu_B = (n-h)(\mu_i) &\Leftrightarrow \mu_A = \frac{h}{n-h} \mu_B \Leftrightarrow \\ (\mu_R R_A^* - \mu_C C_A^* - \sum_{a=1}^h c_a) - \frac{h}{n-h} (\mu_R R_B^* - \mu_C C_B^* - \sum_{b=h+1}^n c_b) = \\ (\mu_R R_A^{**} - \mu_C C_A^{**} - \sum_{a=1}^h c_a) - \frac{h}{n-h} (\mu_R R_B^{**} - \mu_C C_B^{**} - \sum_{b=h+1}^n c_b) = 0 \end{aligned} \quad (\text{A.18})$$

$$\begin{aligned} (\Pi_R R_A^* - \Pi_C C_A^* - \sum_{a=1}^h c_a) - \frac{h}{n-h} (\Pi_R R_B^* - \Pi_C C_B^* - \sum_{b=h+1}^n c_b) = \\ (\Pi_R R_A^{**} - \Pi_C C_A^{**} - \sum_{a=1}^h c_a) - \frac{h}{n-h} (\Pi_R R_B^{**} - \Pi_C C_B^{**} - \sum_{b=h+1}^n c_b) = 0 \end{aligned} \quad (\text{A.19})$$

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με την Απόδειξη του Θεωρήματος 5.1, λύνουμε τις σχέσεις (A.18), (A.19) και λαμβάνουμε: $R_A^* = R_A^{**}, R_B^* = R_B^{**}, C_A^* = C_A^{**}, C_B^* = C_B^{**}$. Συνεπώς, υπάρχει μία μοναδική λύση: $(R_A^*, R_B^*), (C_A^*, C_B^*)$ για κάθε ένα ζεύγος από μη-κενούς συνασπισμούς N_A, N_B , στους οποίους δύναται ο μεγάλος-συνασπισμός να διαιρεθεί, σύμφωνα με την οποία τα κέρδη και οι κίνδυνοι της κοινοπραξίας επιμερίζονται ίσα μεταξύ όλων των συνεργαζόμενων παικτών.

Απόδειξη Θεωρήματος 5.3

Από το Θεώρημα 5.2, έχουμε ότι για κάθε ζεύγος από μη-κενούς συνασπισμούς: N_A, N_B , στους οποίους ο μεγάλος-συνασπισμός δύναται να διαιρεθεί, υπάρχει μία μοναδική λύση: $(R_A^*, R_B^*), (C_A^*, C_B^*)$. Ωστόσο, εάν θεωρήσουμε τη περαιτέρω διαίρεση του συνασπισμού N_A

που περιλαμβάνει h παίκτες σε ένα άλλο ζεύγος συνασπισμών, δηλ. τους N_{AA} και N_{AB} , όπου ο N_{AA} περιλαμβάνει t παίκτες ο N_{AB} περιλαμβάνει τους υπόλοιπους $h-t$ παίκτες, τότε σύμφωνα με το Θεώρημα 5.2, υπάρχει μία μοναδική λύση: $(R_{AA}^*, R_{AB}^*), (C_{AA}^*, C_{AB}^*)$. Επιπλέον, οι υπόλοιποι παίκτες $n-h$ του συνασπισμού N_B δύναται επίσης να διαιρεθούν σε δύο άλλους συνασπισμούς, δηλ. τους N_{BA} , N_{BB} , και με την ίδια θεώρηση υπάρχει επίσης μία μοναδική λύση: $(R_{BA}^*, R_{BB}^*), (C_{BA}^*, C_{BB}^*)$. Θεωρούμε λοιπόν επαναλαμβανόμενες διαιρέσεις σε ζεύγη συνασπισμών, μέχρις ότου όλοι οι n παίκτες του μεγάλου-συνασπισμού να συγκροτήσουν μονήρεις συνασπισμούς: $\{\{1\}, \{2\}, \dots, \{n\}\}$. Λαμβάνοντας υπόψη ότι για κάθε συνασπισμό που εξετάζεται υπάρχει μία μοναδική λύση, συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μία μοναδική λύση για κάθε παίκτη που περιλαμβάνεται σε συγκεκριμένους συνασπισμούς. Αυτή υπολογίζεται μέσω του γινομένου των λύσεων όλων των συνασπισμών που τον περιλαμβάνουν. Για παράδειγμα, η λύση για τον παίκτη i , ο οποίος περιλαμβάνεται στους N_B , N_{BA} , N_{BAA} , N_{BAAB} συνασπισμούς, δίνεται από:

$$R_i = (R_B)(R_{BA})(R_{BAA})(R_{BAAB}), \text{ και } C_i = (C_B)(C_{BA})(C_{BAA})(C_{BAAB}).$$

Είναι προφανές ότι κάθε φορά που θεωρούμε τη διαίρεση ενός συνόλου N σε ένα ζεύγος συνασπισμών με h και $n-h$ παίκτες, όπου $1 \leq h < n$, υφίστανται πολλαπλοί δυνατοί συνδυασμοί τοποθέτησης των παικτών στους δύο συνασπισμούς, όπου έκαστος συνδυασμός οδηγεί και σε διαφορετική λύση για το σύνολο των συνεργαζόμενων παικτών: $(R_1^*, R_2^*, \dots, R_n^*), (C_1^*, C_2^*, \dots, C_n^*)$. Κατά συνέπεια, ο αριθμός των πιθανών λύσεων του συστήματος, σύμφωνα με τις οποίες τα κέρδη και οι κίνδυνοι του μεγάλου-συνασπισμού επιμερίζονται ίσα μεταξύ όλων παικτών, είναι ίσος με τον αριθμό των πιθανών συνδυασμών για τις καταμήσεις των παικτών σε συνασπισμούς, μέχρις ότου όλοι να συγκροτήσουν μονήρεις.

Συμβολίζουμε με $s(n)$ τον αριθμό των λύσεων για ένα μεγάλο-συνασπισμό με $n \geq 2$ παίκτες. Επισημαίνεται ότι ο $s(n)$ αυξάνεται με τον αριθμό των παικτών, καθώς για ένα μεγάλο-συνασπισμό με 3 παίκτες, δηλ. $N = \{1,2,3\}$, υπάρχουν 3 συνδυασμοί κατάμησης σε συνασπισμούς 2-παικτών:

$$\{\{1,2\}=\{2,1\},\{3\}\} \text{ που δίνει μία μοναδική λύση: } (R_1^{*1}, R_2^{*1}, R_3^{*1}), (C_1^{*1}, C_2^{*1}, C_3^{*1})$$

$$\{\{1,3\}=\{3,1\},\{2\}\} \text{ που δίνει μία δεύτερη λύση: } (R_1^{*2}, R_2^{*2}, R_3^{*2}), (C_1^{*2}, C_2^{*2}, C_3^{*2})$$

$$\{\{2,3\}=\{3,2\},\{1\}\} \text{ που δίνει μία Τρίτη λύση: } (R_1^{*3}, R_2^{*3}, R_3^{*3}), (C_1^{*3}, C_2^{*3}, C_3^{*3})$$

Έκαστη από τις λύσεις αυτές επιμερίζει τα κέρδη και τον κίνδυνο το μεγάλου-συνασπισμού ίσα μεταξύ όλων των παικτών, οπότε: $s(3)=3$.

Ειδικότερα, παρόλο που τα ποσοστά επιμερισμού εσόδων και κόστους είναι διαφορετικά μεταξύ των λύσεων, οι μέσες τιμές των κερδών είναι ίσες για όλους τους παίκτες σε όλες τις λύσεις: $\mu_i^j = \mu_N / n$, $\forall i = 1,2,3$, $j = 1,2,3$ όπως επίσης ίσες είναι και οι τυπικές αποκλίσεις τους: $\sigma_i^j, \forall j = 1,2,3$, $i = 1,2,3$.

Περισσότερο, για το μεγάλο-συνασπισμό με 4 παίκτες, δηλ. $N = \{1,2,3,4\}$, υπάρχουν

$$\frac{4!}{3!(4-3)!} = 4 \text{ συνδυασμοί για τη διαίρεση των 4 παικτών σε συνασπισμούς των 3-παικτών:}$$

$\{\{1,2,3\},\{4\}\}$, $\{\{1,2,4\},\{3\}\}$, $\{\{1,3,4\},\{2\}\}$ και $\{\{2,3,4\},\{1\}\}$, όπου κάθε ένας συνασπισμός εμπεριέχει 3 πιθανές λύσεις, ενώ υπάρχουν επιπλέον 3 συνδυασμοί κατάτμησης των 4 παικτών σε συνασπισμούς των 2-παικτών: $\{\{1,2\},\{3,4\}\}$, $\{\{1,3\},\{2,4\}\}$, $\{\{1,4\},\{2,3\}\}$ όπου έκαστο ζεύγος έχει μία λύση, οπότε έχουμε: $s(4) = 4s(3) + 3s(2) = 4(3) + 3(2) = 15$. Για τις περιπτώσεις με παραπάνω παίκτες, ο ακριβής αριθμός των λύσεων υπολογίζεται από τις αναδρομικές σχέσεις του θεωρήματος, ανάλογα αν ο n είναι άρτιος ή περιτός αριθμός.

Απόδειξη Πρότασης 5.3

Σύμφωνα με την απόδειξη του Θεωρήματος 5.2, πάرخει μία μοναδική λύση: $(R_A^*, R_B^*), (C_A^*, C_B^*)$ για κάθε ζεύγος συνασπισμών $N_A = \{1, 2, \dots, h\}$, και $N_B = \{h + 1, h + 2, \dots, n\}$, στους οποίους δύναται ο μεγάλος-συνασπισμός N να κατατμηθεί. Θεωρούμε τις επαναλαμβανόμενες κατατμήσεις του N σε ζεύγη συνασπισμών, όπου ο πρώτος συνασπισμός σε κάθε ζεύγος είναι μονήρης. Στη πρώτη κατάτμηση οι υπολογισμοί δίνουν:

$R_A^* = R_1^*, C_A^* = C_1^*$, και $R_B^* = R_{n-1}^*, C_B^* = C_{n-1}^*$. Στη δεύτερη κατάτμηση, ο συνασπισμός με τους $n-1$ παίκτες διαιρείται στον παίκτη 2 (πρώτος συνασπισμός) και στο δεύτερο συνασπισμό με τους $n-2$ παίκτες. Στη τρίτη κατάτμηση, ο συνασπισμός με τους $n-2$ παίκτες διαιρείται στον παίκτη 3 (πρώτος συνασπισμός) και στο δεύτερο συνασπισμό με τους $n-3$ παίκτες, κ.ο.κ. Συγκεκριμένα, το αρχικό σύνολο N διαιρείται σε ζεύγη συνασπισμών για $n-1$ φορές, μέχρις ότου όλοι οι παίκτες να συγκροτήσουν μονήρεις συνασπισμούς. Ωστόσο, ο αριθμός των απαιτούμενων κατατμήσεων είναι ίδιος: $n-1$, για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς κατάτμησης, ενώ το σύνολο των πιθανών λύσεων $s(n)$ δίνει το ίδιο αποτέλεσμα: $P_1 = P_2 = P_3 = \dots = P_n$. Κατά συνέπεια, συμπεραίνουμε ότι μία λύση επιμερισμού των εσόδων και του κόστους για ένα μεγάλο-συνασπισμό N , δύναται να υπολογιστεί μέσω των τυχαίων κατατμήσεων των παικτών του N σε ζεύγη για $n-1$ φορές και τον υπολογισμό των ποσοστών επιμερισμού εσόδων και κόστους για κάθε ένα συνασπισμό: $(R_i), (C_i) \forall i \in N, i = 1, 2, 3, \dots, n$.

A.2 Απόδειξη Προτάσεων και Θεωρημάτων για το μοντέλο του δίκαιου (αναλογικού) επιμερισμού πολλαπλών στοχαστικών μεταβλητών σε πολλαπλούς παίκτες σύμφωνα με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash

Απόδειξη Θεωρήματος 5.4

Προκειμένου να διασφαλιστεί η δικαιοσύνη κατά τον επιμερισμό του πλεονάσματος S στο πλαίσιο της λύσης διαπραγμάτευσης του Nash (Nash Bargaining Solution: NBS), τα στοχαστικά μερίδια που επιμερίζονται στους συνασπισμούς των παικτών $\{1, \dots, h\}$ και $\{h+1, \dots, n\}$, θα πρέπει να ακολουθούν αναλογικές κατανομές πιθανότητας, ικανοποιώντας τη σχέση (A.20):

$$\frac{\mu_{\{1,\dots,h\}}}{\mu_N \sum_{i=1}^h U_i} = \frac{\mu_{\{h+1,\dots,n\}}}{\mu_N \sum_{i=h+1}^n U_i} \Leftrightarrow \frac{\mu_{\{1,\dots,h\}}}{\mu_{\{h+1,\dots,n\}}} = \frac{\sum_{i=1}^h U_i}{\sum_{i=h+1}^n U_i} \quad \text{και} \quad \frac{\mu_{\{1,\dots,h\}}}{\sigma_{\{1,\dots,h\}}} = \frac{\mu_{\{h+1,\dots,n\}}}{\sigma_{\{h+1,\dots,n\}}} \Rightarrow$$

$$\frac{\mu_{\{1,\dots,h\}}}{\mu_{\{h+1,\dots,n\}}} = \frac{\sigma_{\{1,\dots,h\}}}{\sigma_{\{h+1,\dots,n\}}} = \frac{\sum_{i=1}^h U_i}{\sum_{i=h+1}^n U_i} \quad (\text{A.20})$$

Ωστόσο, οι κατανομές πιθανότητας των μεριδίων των συνασπισμών $\{1,\dots,h\}$ και $\{h+1,\dots,n\}$, δίνονται από τις σχέσεις (A.21) και (A.22), αντίστοιχα:

$$\Pi_{\{1,\dots,h\}} = S \sum_{i=1}^h U_i = p_{\{1,\dots,h\}}^{\{1,\dots,g\}} \sum_{j=1}^g \Pi^j + p_{\{1,\dots,h\}}^{\{g+1,\dots,m\}} \sum_{j=g+1}^m \Pi^j - \sum_{i=1}^h C_i \quad (\text{A.21})$$

$$\Pi_{\{h+1,\dots,n\}} = S \sum_{i=h+1}^n U_i = p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{1,\dots,g\}} \sum_{j=1}^g \Pi^j + p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{g+1,\dots,m\}} \sum_{j=g+1}^m \Pi^j - \sum_{i=h+1}^n C_i \quad (\text{A.22})$$

Λαμβάνοντας υποψη ότι ο μόνος περιορισμός που θεωρείται είναι ο αποτελεσματικός επιμερισμός όλων των πιτών:

$$p_{\{1,\dots,h\}}^{\{1,\dots,g\}} + p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{1,\dots,g\}} = p_{\{1,\dots,h\}}^{\{g+1,\dots,m\}} + p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{g+1,\dots,m\}} = 1 \quad (\text{A.23})$$

δηλ. τα ποσοστά $p_{\{1,\dots,h\}}^{\{1,\dots,g\}}$, $p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{1,\dots,g\}}$, $p_{\{1,\dots,h\}}^{\{g+1,\dots,m\}}$, $p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{g+1,\dots,m\}}$ μπορούν να λάβουν οποιοσδήποτε τιμές πληρώντας τη σχέση (A.23), συμπεραίνουμε ότι υπάρχει τουλάχιστον ένα μητρώο $[P]_{2 \times 2}$

matrix: $\begin{bmatrix} p_{\{1,\dots,h\}}^{\{1,\dots,g\}} * & p_{\{1,\dots,h\}}^{\{g+1,\dots,m\}} * \\ p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{1,\dots,g\}} * & p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{g+1,\dots,m\}} * \end{bmatrix}_{2 \times 2}$ που ικανοποιεί τη σχέση (A.20).

Προκειμένου να αποδείξουμε τη μοναδικότητα αυτής της λύσης, υποθέτουμε ότι υπάρχει ένα άλλο μητρώο $[P]_{2 \times 2}$: $\begin{bmatrix} p_{\{1,\dots,h\}}^{\{1,\dots,g\}} ** & p_{\{1,\dots,h\}}^{\{g+1,\dots,m\}} ** \\ p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{1,\dots,g\}} ** & p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{g+1,\dots,m\}} ** \end{bmatrix}_{2 \times 2}$, το οποίο επίσης ικανοποιεί την (A.20).

Ωστόσο, τουλάχιστον ένα στοιχείο μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου μητρώου θα πρέπει να είναι διαφορετικό: $p_{\{1,\dots,h\}}^{\{1,\dots,g\}} * \neq p_{\{1,\dots,h\}}^{\{1,\dots,g\}} **$, ή $p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{1,\dots,g\}} * \neq p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{1,\dots,g\}} **$, ή $p_{\{1,\dots,h\}}^{\{g+1,\dots,m\}} * \neq p_{\{1,\dots,h\}}^{\{g+1,\dots,m\}} **$, ή $p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{g+1,\dots,m\}} * \neq p_{\{h+1,\dots,n\}}^{\{g+1,\dots,m\}} **$.

Θεωρούμε τις επόμενες σχέσεις (A.24) και (A.25) για τις μέσες τιμές των πιτών και τις σχέσεις (A.26) και (A.27) για όλες τις υπόλοιπες τιμές:

$$\mu_{\{1,\dots,h\}} = \mu_N \sum_{i=1}^h U_i = p_{\{1,\dots,h\}}^{\{1,\dots,g\}} * \sum_{j=1}^g \mu^j + p_{\{1,\dots,h\}}^{\{g+1,\dots,m\}} * \sum_{j=g+1}^m \mu^j - \sum_{i=1}^h C_i =$$

$$= p_{\{1,\dots,h\}}^{\{1,\dots,g\}} ** \sum_{j=1}^g \mu^j + p_{\{1,\dots,h\}}^{\{g+1,\dots,m\}} ** \sum_{j=g+1}^m \mu^j - \sum_{i=1}^h C_i \quad (\text{A.24})$$

$$\begin{aligned} \mu_{\{h+1, \dots, n\}} &= \mu_N \sum_{i=h+1}^n U_i = p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} * \sum_{j=1}^g \mu^j + p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} * \sum_{j=g+1}^m \mu^j - \sum_{i=h+1}^n C_i = \\ &= p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} ** \sum_{j=1}^g \mu^j + p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} ** \sum_{j=g+1}^m \mu^j - \sum_{i=h+1}^n C_i \end{aligned} \quad (\text{A.25})$$

$$\begin{aligned} \Pi_{\{1, \dots, h\}} &= S \sum_{i=1}^h U_i = p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} * \sum_{j=1}^g \Pi^j + p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} * \sum_{j=g+1}^m \Pi^j - \sum_{i=1}^h C_i = \\ &= p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} ** \sum_{j=1}^g \Pi^j + p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} ** \sum_{j=g+1}^m \Pi^j - \sum_{i=1}^h C_i \end{aligned} \quad (\text{A.26})$$

$$\begin{aligned} \Pi_{\{h+1, \dots, n\}} &= S \sum_{i=h+1}^n U_i = p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} * \sum_{j=1}^g \Pi^j + p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} * \sum_{j=g+1}^m \Pi^j - \sum_{i=h+1}^n C_i = \\ &= p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} ** \sum_{j=1}^g \Pi^j + p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} ** \sum_{j=g+1}^m \Pi^j - \sum_{i=h+1}^n C_i \end{aligned} \quad (\text{A.27})$$

Εντούτοις, από τις σχέσεις (A.24) έως (A.27), έχουμε:

$$(p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} * -p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} **) \sum_{j=1}^g \mu^j + (p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} * -p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} **) \sum_{j=g+1}^m \mu^j = 0 \quad (\text{A.28})$$

$$(p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} * -p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} **) \sum_{j=1}^g \mu^j + (p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} * -p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} **) \sum_{j=g+1}^m \mu^j = 0 \quad (\text{A.29})$$

$$(p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} * -p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} **) \sum_{j=1}^g \Pi^j + (p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} * -p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} **) \sum_{j=g+1}^m \Pi^j = 0 \quad (\text{A.30})$$

$$(p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} * -p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} **) \sum_{j=1}^g \Pi^j + (p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} * -p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} **) \sum_{j=g+1}^m \Pi^j = 0 \quad (\text{A.31})$$

από το άθροισμα της (A.28) με την (A.30) και της (A.29) με την (A.31), προκύπτει:

$$(p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} * -p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} **) \left(\sum_{j=1}^g \mu^j + \sum_{j=1}^g \Pi^j \right) + (p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} * -p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} **) \left(\sum_{j=g+1}^m \mu^j + \sum_{j=g+1}^m \Pi^j \right) = 0 \quad (\text{A.30})$$

$$(p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} * -p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} **) \left(\sum_{j=1}^g \mu^j + \sum_{j=1}^g \Pi^j \right) + (p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} * -p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} **) \left(\sum_{j=g+1}^m \mu^j + \sum_{j=g+1}^m \Pi^j \right) = 0 \quad (\text{A.31})$$

Εξαιτίας του ότι σε αμφότερες τις σχέσεις (A.30), (A.31), είναι: $(\sum_{j=1}^g \mu^j + \sum_{j=1}^g \Pi^j) > 0$, και

$(\sum_{j=g+1}^m \mu^j + \sum_{j=g+1}^m \Pi^j) > 0$, εξάγεται το ότι αμφότερες η 1η και 3η παρένθεση σε κάθε σχέση θα

πρέπει να ισούται με μηδέν, δηλαδή:

$$p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} * = p_{\{1, \dots, h\}}^{\{1, \dots, g\}} **, \quad p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} * = p_{\{1, \dots, h\}}^{\{g+1, \dots, m\}} **, \quad p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} * = p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{1, \dots, g\}} **, \quad p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} * = p_{\{h+1, \dots, n\}}^{\{g+1, \dots, m\}} ** \quad (\text{A.32})$$

Κατά συνέπεια, το δεύτερο μητρώο είναι ίσο με το πρώτο και συμπεραίνουμε ότι υπάρχει ένα μοναδικό μητρώο $[P]_{2 \times 2}$ για κάθε δύο ζεύγη μή κενών συνασπισμών που δύναται να προκύψουν από τις κατατμήσεις του μεγάλου-συνασπισμού N και του συνασπισμού-πιτών J .

Απόδειξη Πρότασης 5.4

Στη κατάτμηση του συνασπισμού-πιτών $J = \{1, \dots, m\}$ σε δύο μή κενούς συνασπισμούς $\{1, \dots, g\}$ και $\{g+1, \dots, m\}$, δε λαμβάνεται υπόψη κανένας περιορισμός για τις $m \geq 2$ πίτες, δηλ. έκαστη πίτα δύναται να τοποθετηθεί είτε στον πρώτο είτε στο δεύτερο συνασπισμό, στους οποίους η σειρά των παικτών δεν παίζει κάποιο ρόλο. Συγκεκριμένα, υπάρχουν: $m!/(m-1)!$ συνδυασμοί για ένα ζεύγος με συνασπισμούς 1-πίτας και $(m-1)$ πιτών, αντίστοιχα. Ωστόσο, εάν $m =$ περιττός, τότε ο αριθμός των συνδυασμών σε συνασπισμούς με: 2-πίτες και $(m-2)$ -πίτες, 3-πίτες και $(m-3)$ -πίτες, ..., δίνεται από: $m!/(m-l)!!$, όπου $l = 3, 5, 7, \dots, (m-1)/2$. Αντιθέτως, οι αντίστοιχοι συνδυασμοί εάν ο $m =$ άρτιος, δίνεται από: $m!/(m-l)!! + m!/2((m/2)!)^2$, δηλ. για $l = 4, 6, 8, \dots, (m/2)-1$.

Κατά συνέπεια, ο αριθμός των πιθανών ζευγών μή κενών συνασπισμών που δύναται να προκύψουν μέσω της κατάτμησης του συνασπισμού-πιτών J , υπολογίζεται από τη σχέση (A.33):

$$g(m) = \frac{m!}{(m-1)!} + \sum_{l=2}^{\frac{m-1}{2}} \frac{m!}{(m-l)!!}, \quad m = \text{odd}$$

$$g(m) = \frac{m!}{(m-1)!} + \sum_{l=2}^{\frac{m}{2}-1} \frac{m!}{(m-l)!!} + \frac{m!}{\left(\frac{m}{2}!\right)^2} \frac{1}{2}, \quad m = \text{even} \quad (\text{A.33})$$

Απόδειξη Θεωρήματος 5.5

Από τη Πρόταση 5.3 λαμβάνουμε τη σχέση (A.33), ενώ οι ίδιοι συνδυασμοί ισχύουν για τη κατάτμηση του μεγάλου-συνασπισμού σε δύο μή κενούς συνασπισμούς. Ωστόσο, στη κατάτμηση ενός μεγάλου-συνασπισμού: $N = \{1, \dots, n\}$ σε δύο συνασπισμούς: $\{1, \dots, h\}$ και $\{h+1, \dots, n\}$, ο αριθμός των πιθανών λύσεων που παράγονται από έκαστη κατάτμηση ισούται με τις αντίστοιχες δυνατές λύσεις που περιέχονται σε αυτόν το συνασπισμό.

▪ Για παράδειγμα, όταν $n = 2$, δηλ. $N = \{1, 2\}$, υπάρχει μόνο μία εφικτή κατάτμηση του N που είναι στους $\{1\}$ και $\{2\}$. Κατά συνέπεια, από Θεώρημα 5.4 υπάρχει ένα μοναδικό μητρώο

$$[P]_{2 \times 2}: \begin{bmatrix} p_{\{1\}}^{\{1, \dots, g\}} & p_{\{1\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \\ p_{\{2\}}^{\{1, \dots, g\}} & p_{\{2\}}^{\{g+1, \dots, m\}} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \text{ και το } f(2) = 1.$$

▪ Επιπλέον, όταν $n = 3$, δηλ. $N = \{1, 2, 3\}$, υπάρχουν 3 πιθανές κατατμήσεις σε ένα ζεύγος συνασπισμών με 1-παίκτη και 2-παίκτες:

(i) $\{1\}$ και $\{2, 3\}$ με την επόμενη κατάτμηση σε $\{2\}$ και $\{3\}$, που δίνει ένα πρώτο μητρώο

$$[P]_{3 \times 2}: \begin{bmatrix} p_1^{\{1, \dots, g\}} & p_1^{\{g+1, \dots, m\}} \\ p_2^{\{1, \dots, g\}} & p_2^{\{g+1, \dots, m\}} \\ p_3^{\{1, \dots, g\}} & p_3^{\{g+1, \dots, m\}} \end{bmatrix}_{3 \times 2}$$

(ii) $\{2\}$ και $\{1,3\}$ με την επόμενη κατάτμηση σε $\{1\}$ και $\{3\}$ που δίνει ένα δεύτερο μητρώο

$$[P]_{3 \times 2} = \begin{bmatrix} p_1^{\{1,\dots,g\}} & p_1^{\{g+1,\dots,m\}} \\ p_2^{\{1,\dots,g\}} & p_2^{\{g+1,\dots,m\}} \\ p_3^{\{1,\dots,g\}} & p_3^{\{g+1,\dots,m\}} \end{bmatrix}$$

(iii) $\{3\}$ και $\{1,2\}$ με την επόμενη κατάτμηση σε $\{1\}$ and $\{2\}$ που δίνει ένα τρίτο μητρώο $[P]$

$$[P]_{3 \times 2} = \begin{bmatrix} p_1^{\{1,\dots,g\}} & p_1^{\{g+1,\dots,m\}} \\ p_2^{\{1,\dots,g\}} & p_2^{\{g+1,\dots,m\}} \\ p_3^{\{1,\dots,g\}} & p_3^{\{g+1,\dots,m\}} \end{bmatrix}$$

Κατά συνέπεια: $f(3) = 3$.

▪ Για $N = \{1,2,3,4\}$, υπάρχουν: $4!/(3!(4-3)!)=4$ πιθανές κατατμήσεις σε ένα ζεύγος συνασπισμών με 1-παίκτη και 3-παίκτης:

- i. $\{1,2,3\}$ και $\{4\}$,
- ii. $\{1,2,4\}$ και $\{3\}$,
- iii. $\{1,3,4\}$ και $\{2\}$,
- iv. $\{2,3,4\}$ και $\{1\}$,

όπου κάθε κατάτμηση περιέχει 3 δυνατές λύσεις (για τις εν συνεχεία κατατμήσεις των συνασπισμών 3-παικτών). Επιπλέον, υφίστανται τρεις πιθανές κατατμήσεις του N σε ένα ζεύγος συνασπισμών με 2-παίκτης και 2-παίκτης:

- i. $\{1,2\}$ και $\{3,4\}$,
- ii. $\{1,3\}$ και $\{2,4\}$,
- iii. $\{1,4\}$ και $\{2,3\}$,

όπου έκαστος περιλαμβάνει 1 λύση (για τις περαιτέρω κατατμήσεις των συνασπισμών 2-παικτών σε μονήρεις). Συνεπώς: $f(4) = 4f(3) + 3f(2) = 15$

▪ Για $n \geq 5$, ο αριθμός των δυνατών λύσεων που παρέχεται από τις συνεχόμενες κατατμήσεις όλων των συνασπισμών των παικτών σε ένα ζεύγος μη κενών συνασπισμών, υπολογίζεται μέσω της σχέσης (A.34).

$$f(n) = \frac{n!}{(n-1)!} f(n-1) + \sum_{k=2}^{n-1} \frac{n!}{(n-k)!k!} f(n-k)f(k), \quad n = \text{odd}$$

$$f(n) = \frac{n!}{(n-1)!} f(n-1) + \sum_{k=2}^{n-1} \frac{n!}{(n-k)!k!} f(n-k)f(k) + \frac{n!}{(\frac{n}{2}!)^2} f(\frac{n}{2})^2 \frac{1}{2}, \quad n = \text{even} \tag{A.34}$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε κατάτμηση του συνασπισμού-πιτών μπορεί να συνδυαστεί με οποιαδήποτε κατάτμηση του συνασπισμού από παίκτης σε ζεύγη μη κενών, εξάγεται ότι ο συνολικός αριθμός των δυνατών λύσεων ($[P]_{n \times m}$ μητρώων) δίνεται μέσω της σχέσης (A.35), δηλ. από το γινόμενο $f(n)$ και $g(m)$:

$$\text{δυνατά } [P]_{n \times m} = f(n)g(m) \quad (\text{A.35})$$

, όπου:

$$f(n) = \frac{n!}{(n-1)!} f(n-1) + \sum_{k=2}^{\frac{n-1}{2}} \frac{n!}{(n-k)!k!} f(n-k)f(k), \quad n = \text{odd}$$

$$f(n) = \frac{n!}{(n-1)!} f(n-1) + \sum_{k=2}^{\frac{n-1}{2}} \frac{n!}{(n-k)!k!} f(n-k)f(k) + \frac{n!}{(\frac{n}{2}!)^2} f(\frac{n}{2})^2 \frac{1}{2}, \quad n = \text{even} \quad (\text{A.34})$$

$$g(m) = \frac{m!}{(m-1)!} + \sum_{l=2}^{\frac{m-1}{2}} \frac{m!}{(m-l)!l!}, \quad m = \text{odd}$$

$$g(m) = \frac{m!}{(m-1)!} + \sum_{l=2}^{\frac{m}{2}-1} \frac{m!}{(m-l)!l!} + \frac{m!}{(\frac{m}{2}!)^2} \frac{1}{2}, \quad m = \text{even} \quad (\text{A.33})$$

Εντούτοις, όπως φαίνεται στη παραπάνω σχέση (A.35), ο αριθμός των πιθανών λύσεων εξαρτάται μόνο από τον αριθμό των πιτών m και τον αριθμό των παικτών n . Εξαιτίας του ότι αμφότερα τα N, J είναι πεπερασμένα σύνολα, εξάγεται ότι τα μητρώα $[P]_{n \times m}$ που διασφαλίζουν ότι τα στοχαστικά μερίδια που επιμερίζονται στους παίκτες ακολουθούν κατανομές πιθανότητας που είναι σε αναλογία (με δικαιοσύνη) στο πλαίσιο της λύσης διαπραγμάτευσης NBS, είναι πεπερασμένα.

Παράρτημα Β. Έννοιες και ορισμοί

Αγοραία τιμή:

Η τιμή για την οποία ένα αγαθό ή μία υπηρεσία δύναται να ανταλλαγεί με άλλο αγαθό ή υπηρεσία ή για τα χρήματα και αποτελεί τη τιμή που χρησιμοποιείται στη χρηματοοικονομική ανάλυση.

Ανάδοχος:

Φυσικό ή νομικό πρόσωπο στον οποίο έχει ανατεθεί με δημόσια σύμβαση από τον οργανισμό, η εκτέλεση έργου ή μέρους του.

Σημ. 1: Ανάδοχος αναφέρεται (ΠΔ 60/2007) ως «οικονομικός φορέας» που συνάπτει σύμβαση/εις με την «Αναθέτουσα Αρχή/ες» και νοείται κάθε φυσικό ή νομικό πρόσωπο ή φορέας του δημοσίου ή κοινοπραξία αυτών των προσώπων ή/και οργανισμών, που προσφέρει την εκτέλεση εργασιών ή/και έργων ή/και τη προμήθεια προϊόντων ή/και τη παροχή υπηρεσιών.

Σημ. 2: Ο ανάδοχος μπορεί να αναφέρεται και ως προμηθευτής ή εργολάβος ή εργολήπτης ή πάροχος υπηρεσιών.

Ανάλυση ευαισθησίας:

Η αναλυτική τεχνική για τον συστηματικό έλεγχο της αποδοτικότητας ενός έργου, στη περίπτωση που τα γεγονότα διαφέρουν από τις εκτιμήσεις που περιλαμβάνει ο σχεδιασμός. Πραγματοποιείται με τη μεταβολή στη τιμή μίας μεταβλητής και με τον υπολογισμό της επίδρασης από αυτή την αλλαγή στα αποτελέσματα του έργου.

Ανάλυση κινδύνου:

Μια μελέτη των αποδόσεων του έργου σύμφωνα με το επιθυμητό ποσοστό κέρδους και τον πιθανότερο βαθμό διακύμανσης, σε σχέση με τη καλύτερη εκτίμηση, του συντελεστή απόδοσης. Η ανάλυση κινδύνου γενικά παρέχει μια καλύτερη βάση αξιολόγησης ενός μεμονωμένου έργου, έναντι της ανάλυσης ευαισθησίας, καθώς βοηθά στον εντοπισμό των κινδύνων προκειμένου να παρθούν τα απαραίτητα μέτρα πρόληψης και διαχείρισης.

Ανάλυση Κόστους Οφέλους:

Εννοιολογικό πλαίσιο που εφαρμόστηκε σε κάθε συστηματική, ποσοτική αξιολόγηση ενός δημόσιου ή ιδιωτικού σχεδίου έργου για να καθοριστεί αν, και σε ποιο βαθμό, το έργο διαθέτει αξιόλογη κοινωνική προοπτική. Η Ανάλυση Κόστους Οφέλους διαφέρει από την απλή οικονομική εκτίμηση, καθώς χρησιμοποιεί λογιστικές τιμές για να υπολογίσει όλα τα κέρδη (οφέλη) και τις απώλειες (κόστος) εκ μέρους του κοινωνικού συνόλου.

Ανάλυσης Κόστους Αποτελέσματος:

Είναι μία τεχνική αξιολόγησης και χρησιμοποιείται κυρίως όταν δεν μπορούν να αποτιμηθούν χρηματικά τα οφέλη. Συνήθως εκτελείται με τους υπολογισμούς του κόστους ανά μονάδα οφέλους, για τη σύγκριση εναλλακτικών δυνατοτήτων, ενώ δεν υπολογίζει την οικονομική αξία του οφέλους.

Ανάλυση Οικονομικών Επιπτώσεων:

Η ανάλυση του συνόλου των επιπτώσεων στο επίπεδο της οικονομικής δραστηριότητας, δηλ. στη παραγωγή, στο εισόδημα και στην απασχόληση, που συνδέονται με την εκάστοτε σχεδιαζόμενη παρέμβαση. Αυτού του είδους η ανάλυση, επικεντρώνεται σε μακροοικονομικούς δείκτες και προβλέψεις για την επιρροή που θα έχει το έργο στους δείκτες αυτούς.

Ανάλυση Πολλαπλών Κριτηρίων (Πολυκριτήρια ανάλυση):

Μία μεθοδολογία αξιολόγησης που θέτει πολλαπλούς στόχους με την απόδοση ενός συντελεστή βαρύτητας σε έκαστο μετρήσιμο στόχο, σε αντίθεση με την Ανάλυση Κόστους Οφέλους, που εστιάζει σε ένα μοναδικό κριτήριο, τη μεγιστοποίηση της κοινωνικής πρόνοιας. Η πολυκριτήρια ανάλυση είναι ένα εργαλείο για την αξιολόγηση μίας σειράς αντικειμενικών στόχων, οι οποίοι δεν μπορούν να αναλυθούν μέσω των λογιστικών τιμών και του μετρούμενου οφέλους, όπως συμβαίνει στην ΑΚΟ.

Ανάλυση Σεναρίου:

Μία παραλλαγή της τεχνικής που χρησιμοποιείται στην ανάλυση ευαισθησίας, με τη διαφορά ότι αξιολογεί την επίδραση από το σύνολο των κρίσιμων μεταβλητών, στα όρια που έκαστη δύναται να κινηθεί.

Αποδοτικότητα:

Σχέση αποτελεσμάτων και χρησιμοποιούμενων πόρων

Αποτελεσματικότητα:

Ο βαθμός επίτευξης των αντικειμενικών στόχων παραγωγής που έχουν τεθεί.

Διαδικασία:

Καθορισμένος τρόπος για την εκτέλεση μιας διεργασίας ή δραστηριότητας.

Διαχείριση έργου:

Σχεδιασμός, οργάνωση, παρακολούθηση, έλεγχος και αναφορά όλων των θεμάτων ενός έργου και η παρακίνηση των ενδιαφερομένων στην επίτευξη των στόχων του έργου.

Διεργασία:

Σύνολο αλληλένδετων δραστηριοτήτων με αλληλεπιδράσεις που μετασχηματίζουν εισερχόμενα σε αποτελέσματα με σκοπό τη προσθήκη αξίας.

Δημόσια τεχνικά έργα:

Δημόσιες συμβάσεις που έχουν ως αντικείμενο την υλοποίηση τεχνικών έργων
ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1: Τα δημόσια τεχνικά έργα αναφέρονται ως δημόσιες συμβάσεις έργων ή ως δημόσιες συμβάσεις τεχνικών έργων ή ως δημόσια έργα.

Δημόσιες συμβάσεις:

Συμβάσεις εξ επαχθούς αιτίας, οι οποίες συνάπτονται γραπτώς μεταξύ ενός ή περισσότερων οικονομικών φορέων και μιας ή περισσότερων αναθετουσών Αρχών και έχουν ως αντικείμενο την εκτέλεση έργων, τη προμήθεια προϊόντων ή τη παροχή υπηρεσιών

Σημείωση: Ο ορισμός προέρχεται από τις Κοινοτικές Οδηγίες για τις δημόσιες συμβάσεις 2004/17/EK και 2004/18/EK και τα σχετικά εθνικά κείμενα εναρμόνισης με αυτές.

Δημόσιες συμβάσεις προμηθειών ή υπηρεσιών:

δημόσιες συμβάσεις, πλην των δημοσίων τεχνικών έργων, οι οποίες έχουν ως αντικείμενο τη παροχή υπηρεσιών, την αγορά, τη χρηματοδοτική μίσθωση, τη μίσθωση ή τη μίσθωση-πώληση, με ή χωρίς δικαίωμα αγοράς, προϊόντων, όπως επίσης και οι δημόσιες συμβάσεις οι οποίες έχουν ως αντικείμενο τη προμήθεια προϊόντων και καλύπτουν και εργασίες τοποθέτησης και εγκατάστασης

Εκτέλεση του Έργου :

Σύνολο δραστηριοτήτων που απαιτούνται για τη παραγωγή των παραδοτέων του έργου.

Σημ.: Η εκτέλεση έργου αποτελεί φάση της υλοποίησης του έργου που αφορά τη παραγωγή των παραδοτέων του έργου σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στο σχεδιασμό.

Ελαστικότητα:

Η ελαστικότητα του προϊόντος (εκροής) ως προς το συντελεστή παραγωγής (εισροή) ισούται με το πηλίκο της ποσοστιαίας μεταβολής της ποσότητας του προϊόντος, η οποία προκύπτει από τη ποσοστιαία μεταβολή του συντελεστή παραγωγής και είναι καθαρός αριθμός.

Εξωτερική Επίδραση:

Η εξωτερική επίδραση συνίσταται από την ύπαρξη επηρεασμού, θετικού ή αρνητικού, στην ευημερία ενός τρίτου μέρους, το οποίο δεν λαμβάνει αποζημίωση, και προέρχεται από τη παραγωγή ή κατανάλωση ενός αγαθού ή τη χρήση μίας υπηρεσίας σε μία άλλη αγορά. Στην ανάλυση του έργου, οι εξωτερικές επιδράσεις δεν προσμετρώνται στους περιλαμβάνονται στους λογαριασμούς του έργου και κατά συνέπεια δεν αποτιμώνται.

Επιτελεστικότητα (ή επίδοση, ή απόδοση):

Η επιτελεστικότητα συνδυάζει τη παραγωγικότητα και την αποτελεσματικότητα. Προέρχεται από το ρήμα επι-τελώ (από το τέλος) και σημαίνει πραγματοποιώ κάτι που μου ανατέθηκε, πράττω κάτι εις το ακέραιον. Ειδικότερα, η επιτελεστικότητα περικλείει τη προσδοκία για επίτευξη της μέγιστης αποτελεσματικότητας μίας παραγωγικής διεργασίας ή διαδικασίας, δηλ. τον μέγιστο βαθμό επίτευξης των αντικειμενικών στόχων που έχουν τεθεί με τη χρησιμοποίηση των κατάλληλων πόρων. Συνήθως, μετράται ως ο λόγος των εξερχομένων προς τα αντίστοιχα εισερχόμενα της οικονομικής διεργασίας ή δραστηριότητας (θετικές προς αρνητικές χρηματοροές, όφελος προς κόστος, εκροές προς εισροές).

Έργο:

Η μη πάγια διεργασία του οργανισμού που εκτελείται για την επίτευξη μοναδικού αποτελέσματος το οποίο ικανοποιεί προκαθορισμένες και επαληθεύσιμες απαιτήσεις συμπεριλαμβανομένων των περιορισμών σε χρόνο, κόστος και πόρους.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1: Ένα έργο μπορεί να αποτελείται από επιμέρους έργα τα οποία ονομάζονται υποέργα.

Έργο δημοσίου χαρακτήρα:

Το έργο ή η προμήθεια ή η παροχή υπηρεσίας ή ο συνδυασμός αυτών, με ή χωρίς τεχνικό αντικείμενο, που λαμβάνει δημόσια χρηματοδότηση για το κοινό όφελος.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1: Τα έργα δημοσίου χαρακτήρα εντάσσονται στο πλαίσιο της κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης, καλύπτουν ανάγκες του κοινωνικού συνόλου και γενικώς αποσκοπούν στην ανάπτυξη, τη κοινωνική συνοχή και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών.

Επιτόκιο προεξόφλησης:

Το επιτόκιο που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η Παρούσα Αξία μίας σειράς μελλοντικών εισροών ή εκροών. Το επιτόκιο αυτό καθορίζεται από τον επενδυτικό φορέα, στο πλαίσιο των κανόνων της αγοράς αλλά με υποκειμενικά κατά βάση κριτήρια. Εκφράζει είτε το κόστος κεφαλαίου της επιχείρησης, είτε το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο για τον λήπτη αποφάσεων, προκειμένου να καλυφθεί ο κίνδυνος της εξεταζόμενης επένδυσης έναντι μίας πιο ασφαλούς τοποθέτησης. Για την Ανάλυση Κόστους Οφέλους, το προεξοφλητικό επιτόκιο χρησιμοποιείται κατά τη χρηματοοικονομική ανάλυση, ενώ κατά την οικονομική ανάλυση χρησιμοποιείται το κοινωνικό προεξοφλητικό επιτόκιο/κοινωνικός συντελεστής προεξόφλησης.

Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (ΕΣΑ):

Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης σε μία επένδυση, ισούται με τη τιμή που πρέπει να λάβει το προεξοφλητικό επιτόκιο ώστε η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης να λαμβάνει μηδενική τιμή. Αποδίδει τη μέγιστη αναμενόμενη ετήσια καθαρή απόδοση της σχεδιαζόμενης επένδυσης. Για την Ανάλυση Κόστους Οφέλους, χρησιμοποιούνται οι δείκτες του Χρηματοοικονομικού ΕΣΑ (ΧΣΑ) και του Οικονομικού ΕΣΑ (ΟΣΑ).

Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ):

Ορίζεται ως η τιμή που προκύπτει από την αφαίρεση του συνόλου των προεξοφλημένων ταμειακών εκροών μίας επένδυσης από το σύνολο των αντίστοιχων εισροών. Στη πράξη υπολογίζεται από την ακολουθία των μελλοντικών ροών (εισροές–εκροές) που προκύπτει εφόσον καταρτιστεί ο λογαριασμός ταμειακών ροών. Για την Ανάλυση Κόστους Οφέλους, χρησιμοποιούνται οι δείκτες της Χρηματοοικονομικής ΚΠΑ (ΧΚΠΑ) και της Οικονομικής ΚΠΑ (ΟΚΠΑ).

Κοινωνικός συντελεστής προεξόφλησης:

Χρησιμοποιείται για τη προεξόφληση των ροών κατά την οικονομική ανάλυση και αντικατοπτρίζει τη κοινωνική άποψη για τον τρόπο με τον οποίο οι μελλοντικές ροές θα πρέπει να αποτιμώνται κατά το παρόν.

Κόστος ευκαιρίας:

Η αξία των πόρων μέσω της βέλτιστης εναλλακτικής χρησιμοποίησής τους. Για τη χρηματοοικονομική ανάλυση το κόστος ευκαιρίας ενός αγαθού/υπηρεσίας που αγοράζεται είναι η τιμή αγοράς του. Στην οικονομική ανάλυση, το κόστος ευκαιρίας ενός αγαθού ή μίας υπηρεσίας που αγοράζεται, αντιπροσωπεύει την οριακή κοινωνική αξία που αυτό θα είχε μέσω της βέλτιστης εναλλακτικής χρησιμοποίησής του για ενδιάμεσα αγαθά ή υπηρεσίες, ή την αξία του λόγω χρήσης, εφόσον πρόκειται για αγαθό ή υπηρεσία.

Κύκλος ζωής έργου:

Η λογική ακολουθία δραστηριοτήτων για την επίτευξη των σκοπών ή στόχων του έργου. Ο κύκλος ζωής έργου μπορεί να αποτελείται από τις φάσεις της έναρξης (σύλληψης), του σχεδιασμού, της εκτέλεσης (υλοποίησης) και της παρακολούθησης της εκτέλεσης (λειτουργίας). Ενδέχεται να προστίθεται και η τελική φάση των ελέγχων και του κλεισίματος του έργου.

Λογιστικές τιμές:

Το κόστος ευκαιρίας των αγαθών, ενίοτε διαφορετικές από τις πραγματικές αγοραίες τιμές και από τα ρυθμιζόμενα τιμολόγια. Χρησιμοποιούνται κατά την οικονομική ανάλυση ώστε να αντικατοπτρίζει καλύτερα το πραγματικό κόστος των εισροών εκ μέρους της κοινωνίας, καθώς και τα πραγματικά οφέλη των αποτελεσμάτων του έργου. Συχνά χρησιμοποιείται ως συνώνυμο για τις σκιώδεις ή οικονομικές τιμές.

Μελέτη σκοπιμότητας:

Προκαταρκτική μελέτη που προσδιορίζει την αναγκαιότητα και βιωσιμότητα του έργου. Αποτελεί την αρχική μελέτη του προτεινόμενου έργου, όπου αναφέρεται κατά πόσον η πρόταση είναι αρκετά ελκυστική για να δικαιολογήσει περισσότερο λεπτομερή αξιολόγηση. Περιέχει τις λεπτομερείς τεχνικές πληροφορίες που είναι αναγκαίες για τη χρηματοοικονομική και την οικονομική αξιολόγηση.

Μεροληπτική αισιοδοξία:

Η προκατελλειμένη τάση που έχουν οι εξεταστές των έργων, να είναι υπερβολικά αισιόδοξοι για την υλοποίηση των σχεδίων που καταρτίζουν, με αποτέλεσμα να υποτιμούν το κόστος και να υπερεκτιμούν τα οφέλη. Στη βιβλιογραφία συναντάται ως (optimism bias).

Μη εμπορεύσιμα αγαθά:

Είναι τα αγαθά που δεν μπορούν να εξαχθούν ή να εισαχθούν, π.χ. τοπικές υπηρεσίες, ανειδίκευτη εργασία και η αγοραπωλησίες γης. Στην οικονομική ανάλυση, τα μη εμπορεύσιμα αγαθά αποτιμώνται στο μακροπρόθεσμο οριακό τους κόστος, αν πρόκειται για ενδιάμεσα αγαθά ή υπηρεσίες, ή σύμφωνα με το κριτήριο της βούλησης προς πληρωμή (willingness-to-pay), αν πρόκειται για τελικά αγαθά ή υπηρεσίες.

Οικονομική ανάλυση:

Η ανάλυση που πραγματοποιείται με τη χρήση οικονομικών αξιών, αντιπροσωπεύοντας τις αξίες που η κοινωνία θα είναι διατεθειμένη να πληρώσει για ένα συγκεκριμένο αγαθό ή υπηρεσία. Γενικότερα, η οικονομική ανάλυση αποτιμά όλα τα στοιχεία στην αξία τους κατά τη χρήση ή στο κοινωνικό κόστος ευκαιρίας και χρησιμοποιείται ως βασικό τμήμα της Ανάλυσης Κόστους Οφέλους.

Όφελος / Κόστος:

Η καθαρή παρούσα αξία των ωφελειών του έργου διαιρούμενη με τη καθαρή παρούσα αξία του κόστους αυτού. Το κριτήριο αξιολόγησης μέσω του δείκτη Ο/Κ, είναι η αποδοχή του έργου όταν ο συγκεκριμένος δείκτης λαμβάνει τιμή μεγαλύτερη ή ίση της μονάδας, ενώ αντίστοιχα η απόρριψη του έργου όταν ο δείκτης Ο/Κ λάβει τιμή μικρότερη της μονάδας. Χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει ανεξάρτητα έργα, ενώ αποκλείεται η

χρησιμοποίησή του για σύγκριση έργων, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα.

Προεξόφληση:

Η διαδικασία για τη προσαρμογή των μελλοντικών τιμών των ταμειακών ροών του έργου, εισροών και εκροών, στη παρούσα αξία τους, χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο προεξοφλητικό επιτόκιο.

Σενάριο «Καμία Επέμβαση»:

Χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση εναλλακτικών δυνατοτήτων του έργου ως ένα σενάριο αναφοράς, το οποίο υποθέτει ότι οι μελλοντικές εξελίξεις θα είναι μια επέκταση των σημερινών τάσεων. Το σενάριο είναι συνώνυμο με: «χωρίς το έργο» (Business as usual).

Σενάριο «Μερικής Επέμβασης»:

Χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση εναλλακτικών δυνατοτήτων του έργου και περιλαμβάνει μόνο τις απαραίτητο επίπεδο δαπανών συντήρησης και το ελάχιστο ύψος των επενδυτικών δαπανών ή αναγκαιών βελτιώσεων σε υποδομές και εγκαταστάσεις, προκειμένου να αποφευχθεί ή να καθυστερήσει σημαντική φθορά τους, ή να συμμορφωθούν με τα πρότυπα ασφαλείας.

Σενάριο «Ολικής Επέμβασης»:

Χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση εναλλακτικών δυνατοτήτων του έργου και περιλαμβάνει διαφορετική αντιμετώπιση του εξεταζόμενου προβλήματος, σε σχέση με τα Σενάρια «Καμίας Επέμβασης» ή «Μερικής Επέμβασης».

Συντελεστής μετατροπής:

Ο συντελεστής που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της τιμής εγχώριας αγοράς ή της τιμής ενός αγαθού ή ενός συντελεστή παραγωγής στην αντίστοιχη λογιστική τιμή τους, μέσω του πολλαπλασιασμού τους με αυτόν.

Προθυμία για πληρωμή:

Το ποσό που οι καταναλωτές είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν για ένα τελικό αγαθό ή υπηρεσία (Willingness-to-pay). Εάν ένας καταναλωτής έχει προθυμία να πληρώσει για ένα αγαθό ή μια υπηρεσία περισσότερο από τη τιμή αυτή, τότε ο καταναλωτής απολαμβάνει το αποκαλούμενο «πλεόνασμα του καταναλωτή».

Προϋπολογισμός του έργου :

Η εκτιμώμενη δαπάνη για την υλοποίηση του έργου.

Σκιάδεις τιμές: (βλέπε λογιστικές τιμές).

Συγχρηματοδοτούμενο Έργο :

Έργο χρηματοδοτούμενο από Εθνικούς και Κοινοτικούς πόρους.

Σύμβαση:

Η γραπτή συμφωνία για την εκτέλεση του έργου ή μέρους αυτού, όπου

προσδιορίζονται το φυσικό αντικείμενο του έργου, η χρονική διάρκεια και οι τυχόν ενδιάμεσες προθεσμίες, ο προϋπολογισμός έργου, το εφαρμοστέο νομικό και κανονιστικό πλαίσιο εκτέλεσης του έργου, οι όροι παραλαβής από το φορέα καθώς και τα δικαιώματα και οι υποχρεώσεις των συμβαλλομένων.

Σύμβαση παραχώρησης δημοσίων έργων ή υπηρεσιών:

Ορίζεται η σύμβαση η οποία παρουσιάζει τα ίδια χαρακτηριστικά με μια δημόσια σύμβαση έργων ή αντίστοιχα υπηρεσιών, εκτός από το γεγονός ότι το εργολαβικό αντάλλαγμα συνίσταται είτε αποκλειστικά στο δικαίωμα εκμετάλλευσης του έργου είτε στο δικαίωμα αυτό σε συνδυασμό με καταβολή αμοιβής

Σύμβαση ΣΔΙΤ:

Συμβάσεις Σύμπραξης είναι οι έγγραφες συμβάσεις συνεργασίας από επαχθή αίτια, που συνάπτουν οι Δημόσιοι Φορείς σε τομείς της αρμοδιότητάς τους με νομικά πρόσωπα του ιδιωτικού τομέα (Ιδιωτικοί Φορείς) για την εκτέλεση έργων ή τη παροχή υπηρεσιών.

Συμπράξεις Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα:

Μια σχέση εταιρική μορφής μεταξύ του δημόσιου τομέα και του ιδιωτικού τομέα με σκοπό τη παράδοση ενός έργου ή μιας υπηρεσίας οι οποίες παραδοσιακά παρέχονταν από το δημόσιο τομέα.

Υπολειμματική αξία:

Η τρέχουσα καθαρή αξία του ενεργητικού κατά τη λήξη του τελευταίου έτους της περιόδου (χρονικός ορίζοντας), που έχει επιλεγεί για την αξιολόγηση του έργου.

Χρηματοοικονομική ανάλυση:

Η ανάλυση που πραγματοποιείται εκ μέρους του φορέα εκμετάλλευσης του έργου. Η ανάλυση αυτή επιτρέπει:

- 1) να επαληθεύσει και να επιβεβαιώσει την ύπαρξη ρευστότητας (χρηματοοικονομική βιωσιμότητα),
- 2) να υπολογίσει τους δείκτες της χρηματοοικονομικής απόδοσης των εμπλεκόμενων στο εξεταζόμενο επενδυτικό σχέδιο με βάση τη καθαρή χρονική προεξόφληση των ταμειακών ροών για έκαστο εξ'αυτών.

Χρηματοοικονομική ανάλυση βιωσιμότητας:

Η ανάλυση που διενεργείται για να διαπιστωθεί ότι οι χρηματοοικονομικοί πόροι είναι επαρκείς για να καλύψουν όλες τις χρηματοοικονομικές εκροές, χρόνο με τον χρόνο, για το σύνολο του χρονικού ορίζοντα του έργου. Η χρηματοοικονομική βιωσιμότητα επαληθεύεται όταν το σύνολο των καθαρών ταμειακών ροών παρουσιάζει θετικό πρόσημο κατά τη διάρκεια όλων των εξεταζόμενων ετών.

Χρονοδιάγραμμα του έργου:

Έγγραφο που παρουσιάζει, λεκτικά ή/και διαγραμματικά, κατ' ελάχιστο τις προβλεπόμενες ημερομηνίες εκτέλεσης των δραστηριοτήτων του έργου, τα ορόσημα και τις ενδιάμεσες ή τμηματικές προθεσμίες του.

Παράρτημα Γ. Συντελεστές Ανατοκισμού και Προεξόφλησης**ΠΙΝΑΚΑΣ Γ1.** Μελλοντική αξία νομισματικής μονάδας (€, \$, κ.α.) Σχέση: $(1+r)^n$
(r) = επιτόκιο αναγωγής, (n) = έτη

(n)	(r)	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
1		1,010	1,020	1,030	1,040	1,050	1,060	1,070	1,080
2		1,020	1,040	1,061	1,082	1,103	1,124	1,145	1,166
3		1,030	1,061	1,093	1,125	1,158	1,191	1,225	1,260
4		1,041	1,082	1,126	1,170	1,216	1,262	1,311	1,360
5		1,051	1,104	1,159	1,217	1,276	1,338	1,403	1,469
6		1,062	1,126	1,194	1,265	1,340	1,419	1,501	1,587
7		1,072	1,149	1,230	1,316	1,407	1,504	1,606	1,714
8		1,083	1,172	1,267	1,369	1,477	1,594	1,718	1,851
9		1,094	1,195	1,305	1,423	1,551	1,689	1,838	1,999
10		1,105	1,219	1,344	1,480	1,629	1,791	1,967	2,159
11		1,116	1,243	1,384	1,539	1,710	1,898	2,105	2,332
12		1,127	1,268	1,426	1,601	1,796	2,012	2,252	2,518
13		1,138	1,294	1,469	1,665	1,886	2,133	2,410	2,720
14		1,149	1,319	1,513	1,732	1,980	2,261	2,579	2,937
15		1,161	1,346	1,558	1,801	2,079	2,397	2,759	3,172
16		1,173	1,373	1,605	1,873	2,183	2,540	2,952	3,426
17		1,184	1,400	1,653	1,948	2,292	2,693	3,159	3,700
18		1,196	1,428	1,702	2,026	2,407	2,854	3,380	3,996
19		1,208	1,457	1,754	2,107	2,527	3,026	3,617	4,316
20		1,220	1,486	1,806	2,191	2,653	3,207	3,870	4,661
21		1,232	1,516	1,860	2,279	2,786	3,400	4,141	5,034
22		1,245	1,546	1,916	2,370	2,925	3,604	4,430	5,437
23		1,257	1,577	1,974	2,465	3,072	3,820	4,741	5,871
24		1,270	1,608	2,033	2,563	3,225	4,049	5,072	6,341
25		1,282	1,641	2,094	2,666	3,386	4,292	5,427	6,848
26		1,295	1,673	2,157	2,772	3,556	4,549	5,807	7,396
27		1,308	1,707	2,221	2,883	3,733	4,822	6,214	7,988
28		1,321	1,741	2,288	2,999	3,920	5,112	6,649	8,627
29		1,335	1,776	2,357	3,119	4,116	5,418	7,114	9,317
30		1,348	1,811	2,427	3,243	4,322	5,743	7,612	10,063

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ2. Μελλοντική αξία νομισματικής μονάδας (€, \$, κ.α.) Σχέση: $(1+r)^n$
 (r) = επιτόκιο αναγωγής, (n) = έτη

(n)	(r)	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%
1		1,090	1,100	1,110	1,120	1,130	1,140	1,150	1,160
2		1,188	1,210	1,232	1,254	1,277	1,300	1,323	1,346
3		1,295	1,331	1,368	1,405	1,443	1,482	1,521	1,561
4		1,412	1,464	1,518	1,574	1,630	1,689	1,749	1,811
5		1,539	1,611	1,685	1,762	1,842	1,925	2,011	2,100
6		1,677	1,772	1,870	1,974	2,082	2,195	2,313	2,436
7		1,828	1,949	2,076	2,211	2,353	2,502	2,660	2,826
8		1,993	2,144	2,305	2,476	2,658	2,853	3,059	3,278
9		2,172	2,358	2,558	2,773	3,004	3,252	3,518	3,803
10		2,367	2,594	2,839	3,106	3,395	3,707	4,046	4,411
11		2,580	2,853	3,152	3,479	3,836	4,226	4,652	5,117
12		2,813	3,138	3,498	3,896	4,335	4,818	5,350	5,936
13		3,066	3,452	3,883	4,363	4,898	5,492	6,153	6,886
14		3,342	3,797	4,310	4,887	5,535	6,261	7,076	7,988
15		3,642	4,177	4,785	5,474	6,254	7,138	8,137	9,266
16		3,970	4,595	5,311	6,130	7,067	8,137	9,358	10,748
17		4,328	5,054	5,895	6,866	7,986	9,276	10,761	12,468
18		4,717	5,560	6,544	7,690	9,024	10,575	12,375	14,463
19		5,142	6,116	7,263	8,613	10,197	12,056	14,232	16,777
20		5,604	6,727	8,062	9,646	11,523	13,743	16,367	19,461
21		6,109	7,400	8,949	10,804	13,021	15,668	18,822	22,574
22		6,659	8,140	9,934	12,100	14,714	17,861	21,645	26,186
23		7,258	8,954	11,026	13,552	16,627	20,362	24,891	30,376
24		7,911	9,850	12,239	15,179	18,788	23,212	28,625	35,236
25		8,623	10,835	13,585	17,000	21,231	26,462	32,919	40,874
26		9,399	11,918	15,080	19,040	23,991	30,167	37,857	47,414
27		10,245	13,110	16,739	21,325	27,109	34,390	43,535	55,000
28		11,167	14,421	18,580	23,884	30,633	39,204	50,066	63,800
29		12,172	15,863	20,624	26,750	34,616	44,693	57,575	74,009
30		13,268	17,449	22,892	29,960	39,116	50,950	66,212	85,850

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ3. Παρούσα αξία νομισματικής μονάδας (€, \$, κ.α.) Σχέση: $1 / (1 + r)^n$
(r) = προεξοφλητικό επιτόκιο, (n) = έτη

(n)	(r)	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
1		0,990	0,980	0,971	0,962	0,952	0,943	0,935	0,926
2		0,980	0,961	0,943	0,925	0,907	0,890	0,873	0,857
3		0,971	0,942	0,915	0,889	0,864	0,840	0,816	0,794
4		0,961	0,924	0,888	0,855	0,823	0,792	0,763	0,735
5		0,951	0,906	0,863	0,822	0,784	0,747	0,713	0,681
6		0,942	0,888	0,837	0,790	0,746	0,705	0,666	0,630
7		0,933	0,871	0,813	0,760	0,711	0,665	0,623	0,583
8		0,923	0,853	0,789	0,731	0,677	0,627	0,582	0,540
9		0,914	0,837	0,766	0,703	0,645	0,592	0,544	0,500
10		0,905	0,820	0,744	0,676	0,614	0,558	0,508	0,463
11		0,896	0,804	0,722	0,650	0,585	0,527	0,475	0,429
12		0,887	0,788	0,701	0,625	0,557	0,497	0,444	0,397
13		0,879	0,773	0,681	0,601	0,530	0,469	0,415	0,368
14		0,870	0,758	0,661	0,577	0,505	0,442	0,388	0,340
15		0,861	0,743	0,642	0,555	0,481	0,417	0,362	0,315
16		0,853	0,728	0,623	0,534	0,458	0,394	0,339	0,292
17		0,844	0,714	0,605	0,513	0,436	0,371	0,317	0,270
18		0,836	0,700	0,587	0,494	0,416	0,350	0,296	0,250
19		0,828	0,686	0,570	0,475	0,396	0,331	0,277	0,232
20		0,820	0,673	0,554	0,456	0,377	0,312	0,258	0,215
21		0,811	0,660	0,538	0,439	0,359	0,294	0,242	0,199
22		0,803	0,647	0,522	0,422	0,342	0,278	0,226	0,184
23		0,795	0,634	0,507	0,406	0,326	0,262	0,211	0,170
24		0,788	0,622	0,492	0,390	0,310	0,247	0,197	0,158
25		0,780	0,610	0,478	0,375	0,295	0,233	0,184	0,146
26		0,772	0,598	0,464	0,361	0,281	0,220	0,172	0,135
27		0,764	0,586	0,450	0,347	0,268	0,207	0,161	0,125
28		0,757	0,574	0,437	0,333	0,255	0,196	0,150	0,116
29		0,749	0,563	0,424	0,321	0,243	0,185	0,141	0,107
30		0,742	0,552	0,412	0,308	0,231	0,174	0,131	0,099

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ4. Παρούσα αξία νομισματικής μονάδας (€, \$, κ.α.) Σχέση: $1 / (1 + r)^n$
(r) = προεξοφλητικό επιτόκιο, (n) = έτη

(n)	(r)	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%
1		0,917	0,909	0,901	0,893	0,885	0,877	0,870	0,862
2		0,842	0,826	0,812	0,797	0,783	0,769	0,756	0,743
3		0,772	0,751	0,731	0,712	0,693	0,675	0,658	0,641
4		0,708	0,683	0,659	0,636	0,613	0,592	0,572	0,552
5		0,650	0,621	0,593	0,567	0,543	0,519	0,497	0,476
6		0,596	0,564	0,535	0,507	0,480	0,456	0,432	0,410
7		0,547	0,513	0,482	0,452	0,425	0,400	0,376	0,354
8		0,502	0,467	0,434	0,404	0,376	0,351	0,327	0,305
9		0,460	0,424	0,391	0,361	0,333	0,308	0,284	0,263
10		0,422	0,386	0,352	0,322	0,295	0,270	0,247	0,227
11		0,388	0,350	0,317	0,287	0,261	0,237	0,215	0,195
12		0,356	0,319	0,286	0,257	0,231	0,208	0,187	0,168
13		0,326	0,290	0,258	0,229	0,204	0,182	0,163	0,145
14		0,299	0,263	0,232	0,205	0,181	0,160	0,141	0,125
15		0,275	0,239	0,209	0,183	0,160	0,140	0,123	0,108
16		0,252	0,218	0,188	0,163	0,141	0,123	0,107	0,093
17		0,231	0,198	0,170	0,146	0,125	0,108	0,093	0,080
18		0,212	0,180	0,153	0,130	0,111	0,095	0,081	0,069
19		0,194	0,164	0,138	0,116	0,098	0,083	0,070	0,060
20		0,178	0,149	0,124	0,104	0,087	0,073	0,061	0,051
21		0,164	0,135	0,112	0,093	0,077	0,064	0,053	0,044
22		0,150	0,123	0,101	0,083	0,068	0,056	0,046	0,038
23		0,138	0,112	0,091	0,074	0,060	0,049	0,040	0,033
24		0,126	0,102	0,082	0,066	0,053	0,043	0,035	0,028
25		0,116	0,092	0,074	0,059	0,047	0,038	0,030	0,024
26		0,106	0,084	0,066	0,053	0,042	0,033	0,026	0,021
27		0,098	0,076	0,060	0,047	0,037	0,029	0,023	0,018
28		0,090	0,069	0,054	0,042	0,033	0,026	0,020	0,016
29		0,082	0,063	0,048	0,037	0,029	0,022	0,017	0,014
30		0,075	0,057	0,044	0,033	0,026	0,020	0,015	0,012