

Εισαγωγή στα Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων με το IBM SPSS AMOS

Βασίλης Παυλόπουλος
Τμήμα Ψυχολογίας ΕΚΠΑ

✉ vpavlop@psych.uoa.gr  users.uoa.gr/~vpavlop

ΠΜΣ «Κοινωνική Ψυχολογία των Συγκρούσεων», Πάντειο Πανεπιστήμιο, Μάιος 2022

Ευχαριστίες

Όσα έμαθα για τα μοντέλα δομικών εξισώσεων τα οφείλω σε δεκάδες ερευνητές και σε δασκάλους, όπως ο Jens Asendorpf, ο Karl Jöreskog, η Δέσποινα Ξανθοπούλου, ο Γιώργος Σιδερίδης, ο Γιάννης Τσαούσης, ο Fons van de Vijver και η Fan Yang-Wallentin.

Όσα δεν κατάφερα να μάθω, οφείλονται μόνο σε μένα...

Είναι παιδιά πολλών ανθρώπων τα λόγια μας
Γιώργος Σεφέρης

Διάγραμμα παρουσίασης

- Τα μοντέλα δομικών εξισώσεων
- Η επιβεβαιωτική ανάλυση παραγόντων
- Το λογισμικό IBM SPSS AMOS

Στο κείμενο δεν παρατίθενται βιβλιογραφικές αναφορές, προς διευκόλυνση της ροής της παρουσίασης. Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν, παρατίθενται στον κατάλογο της Βιβλιογραφίας και τα πλήρη κείμενά τους είναι διαθέσιμα εφόσον υπάρχει σχετικό ενδιαφέρον.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

- Τα Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων (Structural Equation Models) είναι μια οικογένεια **πολυμεταβλητών** στατιστικών αναλύσεων που αναφέρονται σε **γραμμικές συσχετίσεις** μεταξύ (ποσοτικών, κυρίως) μεταβλητών και έχουν **επικυρωτικό/επιβεβαιωτικό** χαρακτήρα.
- Δηλαδή, τα μοντέλα SEM επιτρέπουν:
 - ✓ την **απεικόνιση θεωρητικών σχημάτων-υποθέσεων**,
 - ✓ την **εκτίμηση των στατιστικών παραμέτρων** τους (π.χ. φορτία, διακυμάνσεις και συνδιακυμάνσεις παραγόντων, διακυμάνσεις σφαλμάτων υπολοίπων και σφαλμάτων μέτρησης), και
 - ✓ τον **έλεγχο της προσαρμογής** τους στα εμπειρικά δεδομένα.

Μοντέλα SEM και Γενικό Γραμμικό Μοντέλο

- Τα μοντέλα SEM αποτελούν προέκταση του Γενικού Γραμμικού Μοντέλου (ανάλυση παλινδρόμησης, ανάλυση συνδιακύμανσης, ανάλυση παραγόντων), με επιπλέον χαρακτηριστικά:
 - ✓ Περιλαμβάνουν **άμεσα μετρούμενες/παρατηρούμενες** (observed) ή/και **λανθάνουσες** (latent) μεταβλητές.
 - ✓ Εξετάζουν τις σχέσεις μεταξύ μίας ή **πολλαπλών εξαρτημένων** και ανεξάρτητων μεταβλητών, συγχρόνως.
 - ✓ Δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού και διόρθωσης του **σφάλματος μέτρησης**.
 - ✓ Παρέχουν **δείκτες προσαρμογής** του θεωρητικού μοντέλου στα εμπειρικά δεδομένα.

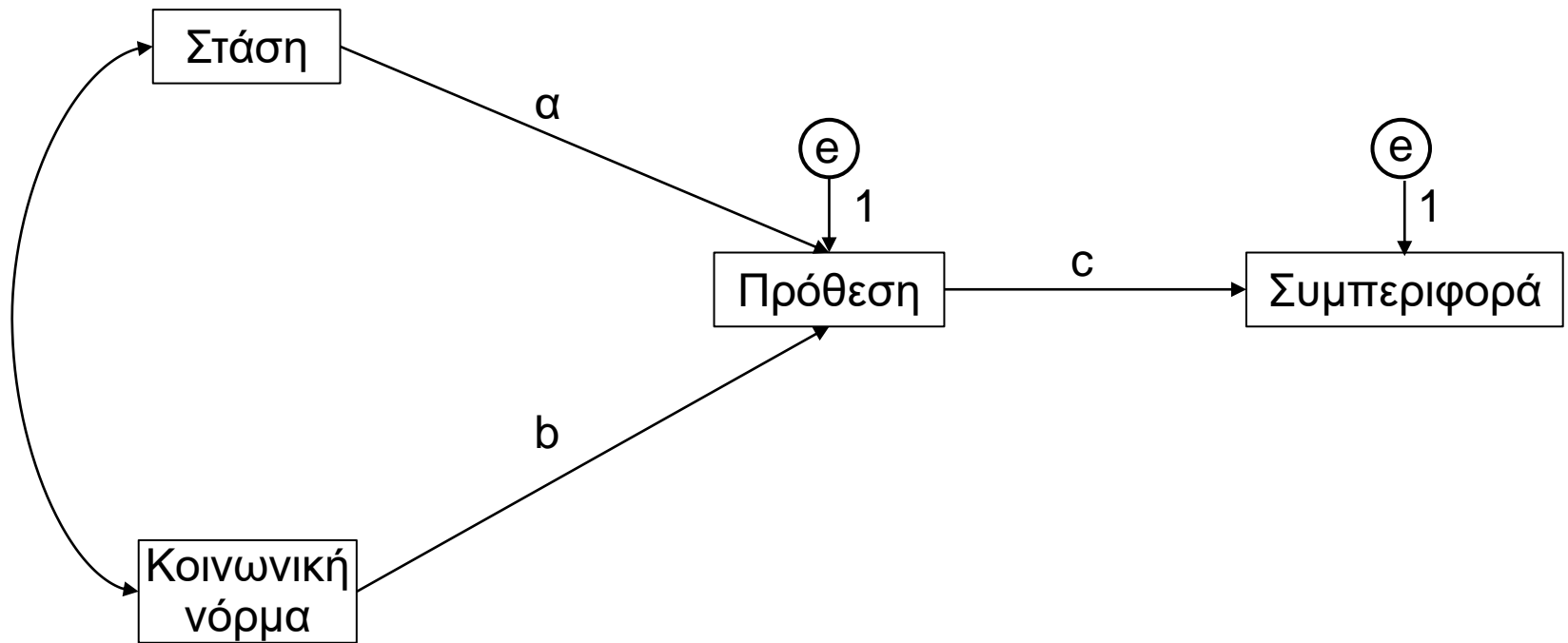
Μοντέλα SEM και αιτιότητα

- Οι δείκτες συνάφειας περιγράφουν **απλές συσχετίσεις**, ή αλλιώς τη στατιστική συμμεταβολή μεταξύ δύο μεταβλητών.
- Η ανάλυση παλινδρόμησης αναφέρεται σε **στατιστική πρόβλεψη** της εξαρτημένης μεταβλητής από έναν ή περισσότερους προβλεπτικούς παράγοντες.
- Τα μοντέλα SEM φιλοδοξούν να επιβεβαιώσουν **σύνθετα αιτιακά σχήματα** μεταξύ των μεταβλητών.
 - Ωστόσο, η αιτιότητα δεν προκύπτει από τη στατιστική, αλλά αντίθετα **είναι το μοντέλο SEM που βασίζεται στις θεωρητικές υποθέσεις των ερευνητών περί αιτιότητας!**
 - Εναλλακτικά μοντέλα SEM μπορεί να έχουν εξίσου ή παρόμοια καλή προσαρμογή στα ίδια εμπειρικά δεδομένα...

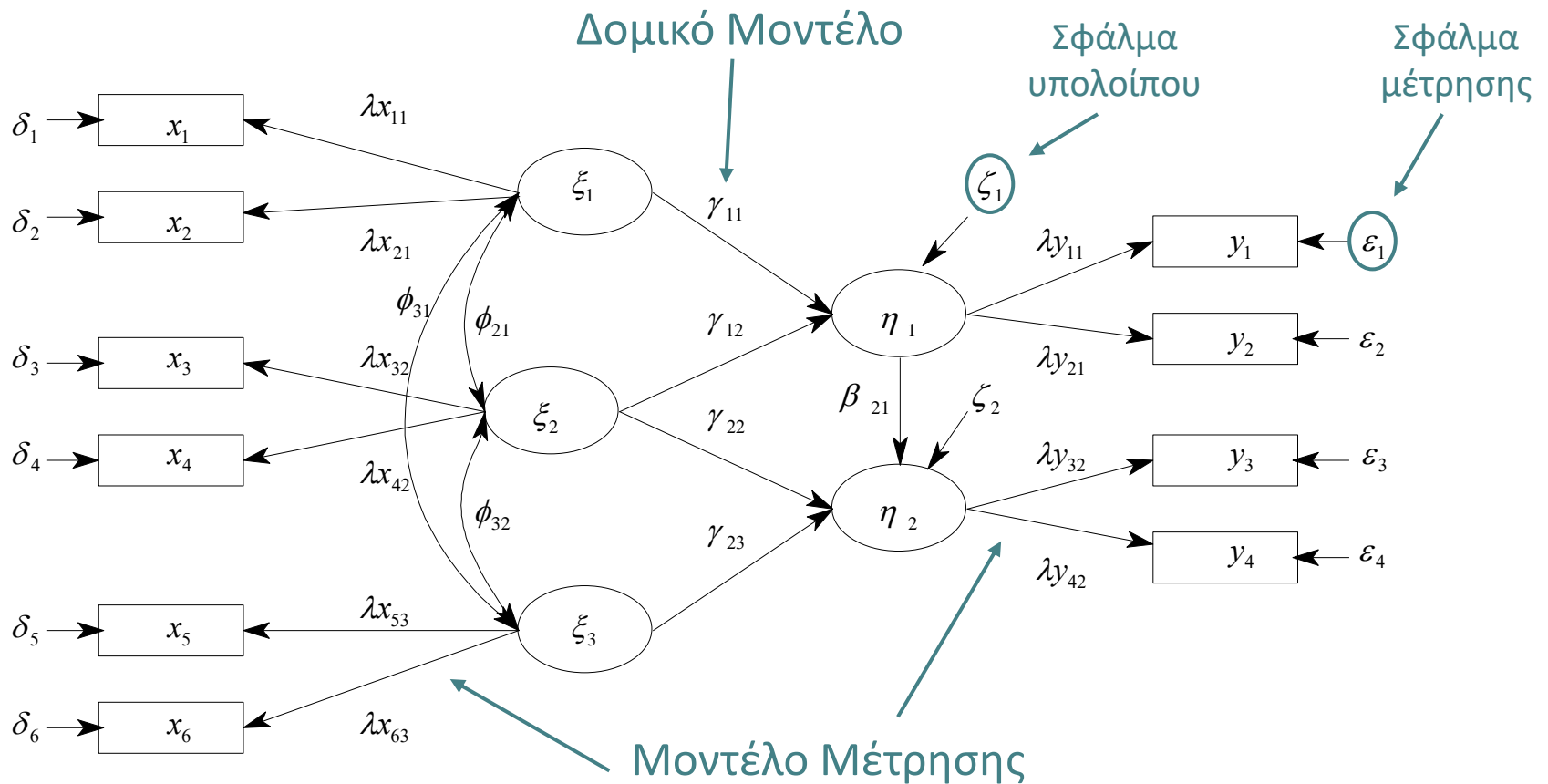
Ορολογία και παραλλαγές

- Η **ανάλυση διαδρομών** (path analysis) περιλαμβάνει μόνο παρατηρούμενες μεταβλητές.
- Η **επιβεβαιωτική ανάλυση παραγόντων** (Confirmatory Factor Analysis) περιλαμβάνει παρατηρούμενες, όσο και λανθάνουσες μεταβλητές.
 - Στη CFA το **μοντέλο μέτρησης** (measurement model) αφορά στις σχέσεις ανάμεσα στη λανθάνουσα μεταβλητή και τις παρατηρούμενες μεταβλητές που την προσδιορίζουν...
 - ...ενώ το **δομικό μοντέλο** (structural model) αναφέρεται στις αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των λανθανουσών μεταβλητών.
 - Οι λανθάνουσες μεταβλητές μπορεί να είναι **εξωγενείς** (δηλ. ανεξάρτητες: ξ) ή **ενδογενείς** (δηλ. εξαρτημένες: η).

Παράδειγμα Ανάλυσης Διαδρομών



Παράδειγμα Μοντέλου Δομικών Εξισώσεων



Ορολογία και παραλλαγές

- Οι **δείκτες καλής προσαρμογής** (goodness-of-fit ή, απλώς, fit indices) είναι ενδείξεις της απόκλισης των εμπειρικών δεδομένων από το υποθετικό θεωρητικό μοντέλο.
 - Δεν υπάρχει ένας ιδανικός δείκτης καλής προσαρμογής. Γι' αυτό, συνεκτιμώνται περισσότεροι του ενός (συνήθως, 3-4) δείκτες προκειμένου να ελεγχθεί η καταλληλότητα του μοντέλου.
- Επίσης, είναι δυνατός ο έλεγχος της **αμεταβλητότητας/ισοδυναμίας** (invariance) της δομής ενός μοντέλου –συνήθως, μιας κλίμακας– σε πολλαπλές ομάδες (π.χ. ως προς το φύλο, την ηλικία, τη χώρα).

Τα βήματα μιας ανάλυσης SEM

1. Διαμόρφωση των θεωρητικών υποθέσεων
2. Προσδιορισμός της δομής του μοντέλου
3. Ταυτοποίηση της δομής του μοντέλου
4. Υπολογισμός των παραμέτρων
5. Αξιολόγηση των παραμέτρων
6. (Πιθανή) τροποποίηση του μοντέλου

Βήμα 1: Διαμόρφωση των θεωρητικών υποθέσεων

- Ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται οι υπό μελέτη εννοιολογικές κατασκευές καθοδηγείται από τις υπάρχουσες **θεωρίες** και την προηγούμενη **βιβλιογραφία**.
- Στο βήμα αυτό αποφασίζουμε:
 - ✓ ποιες **παρατηρούμενες μεταβλητές** θα συμπεριλάβουμε στο μοντέλο,
 - ✓ εάν θα δημιουργήσουμε **λανθάνουσες** μεταβλητές και από ποιες παρατηρούμενες μεταβλητές θα προσδιορίζονται,
 - ✓ ποιες είναι οι **αιτιακές διαδρομές** μεταξύ των μεταβλητών.
- Είναι δυνατή η διαμόρφωση και, κατ' επέκταση, ο συγκριτικός στατιστικός έλεγχος **εναλλακτικών** μοντέλων.

Βήμα 2: Προσδιορισμός της δομής του μοντέλου

- Τα **ορθογώνια παραλληλόγραμμα** αναπαριστούν τις παρατηρούμενες μεταβλητές.
- Οι **ελλείψεις** αναπαριστούν τις λανθάνουσες μεταβλητές.
- Τα **βέλη μονής κατεύθυνσης** δηλώνουν αιτιώδεις σχέσεις. Οι συντελεστές τους είναι συντελεστές παλινδρόμησης ή φορτία παραγόντων.
- Τα **βέλη διπλής κατεύθυνσης** δηλώνουν συνδιακυμάνσεις.
- Κάθε εξαρτημένη παρατηρούμενη μεταβλητή συνδέεται με **σφάλμα μέτρησης** (measurement error, απεικονίζεται ως έλλειψη).
- Κάθε εξαρτημένη λανθάνουσα μεταβλητή συνδέεται με **σφάλμα υπολοίπων** (residual error, απεικονίζεται ως έλλειψη).

Βήμα 2: Προσδιορισμός της δομής του μοντέλου

- Κάθε μεταβλητή που συμπεριλαμβάνεται στο μοντέλο πρέπει **να συσχετίζεται** με τουλάχιστον άλλη μία μεταβλητή (διαφορετικά η προσθήκη της δεν έχει λόγο ύπαρξης).
- Τα **σφάλματα** δεν πρέπει να συσχετίζονται με τις **λανθάνουσες μεταβλητές** (αυτό θα σήμαινε ότι κάποιες άγνωστες μεταβλητές επηρεάζουν συστηματικά το δομικό μοντέλο).
- Επιπλέον, προτείνεται **να αποφεύγεται η συσχέτιση μεταξύ των σφαλμάτων** (αυτό θα σήμαινε ότι κάποιο συστηματικό σφάλμα επηρεάζει τις ανεξάρτητες μεταβλητές).

Βήμα 3: Ταυτοποίηση της δομής του μοντέλου

- Έχουν προταθεί διάφοροι κανόνες σχετικά με το **μέγεθος του δείγματος**, ώστε να έχουμε επαρκή ισχύ για τον προσδιορισμό των παραμέτρων σε ένα μοντέλο SEM, όπως: ελάχιστος αριθμός 200 συμμετεχόντων ή 5-15 περιπτώσεις για κάθε άγνωστη παράμετρο ή 10-20 άτομα ανά μεταβλητή.
- Για την εκτίμηση ενός μοντέλου είναι ανάγκη να **προκαθοριστούν** ορισμένες παράμετροι (δεν γίνεται να είναι όλες άγνωστες). Αυτό ισχύει π.χ. για τους συντελεστές παλινδρόμησης των σφαλμάτων και για το φορτίο τουλάχιστον μίας παρατηρούμενης μεταβλητής πάνω στη λανθάνουσα μεταβλητή που προσδιορίζει.
 - Απαιτείται προσοχή σε εκ των υστέρων αλλαγές του μοντέλου, καθώς αυτές μπορεί να καταστήσουν την ταυτοποίησή του αδύνατη (διακοπή ανάλυσης, μήνυμα σφάλματος).

Βήμα 4: Υπολογισμός των παραμέτρων

- Οι παράμετροι μιας ανάλυσης SEM εκτιμώνται **ελαχιστοποιώντας την απόκλιση** ανάμεσα στη μήτρα συνδιακυμάνσεων, η οποία προκύπτει από τα εμπειρικά δεδομένα (S), και στη μήτρα συνδιακυμάνσεων που απορρέει από το υποθετικό μοντέλο (Σ).
- Υπάρχουν διάφορες στατιστικές τεχνικές για τη διαδικασία αυτή:
 - Οι μέθοδοι της **Μέγιστης Πιθανοφάνειας** (Maximum Likelihood) και των **Γενικευμένων Ελάχιστων Τετραγώνων** (Generalized Least Squares) προϋποθέτουν πολυμεταβλητή κανονικότητα, μεγάλα δείγματα και συνεχείς μεταβλητές.
 - Οι μέθοδοι των **Μη Σταθμισμένων Ελάχιστων Τετραγώνων** (Unweighted Least Squares) και της **Ασυμπτωματικά Ελεύθερης Κατανομής** (Asymptotically Distribution Free) δεν απαιτούν πολυμεταβλητή κανονικότητα.

Βήμα 4: Υπολογισμός των παραμέτρων

- Για το μοντέλο μέτρησης υπολογίζεται το **παραγοντικό φορτίο** (loading: λ) της κάθε παρατηρούμενης μεταβλητής πάνω στη λανθάνουσα μεταβλητή (δηλ. στον παράγοντα) που προσδιορίζει.
- Για το δομικό μοντέλο υπολογίζεται ο **συντελεστής διαδρομής** (path coefficient: γ), δηλ. ένας συντελεστής παλινδρόμησης που δηλώνει σε ποιο βαθμό μια ενδογενής μεταβλητή εξηγείται από μια εξωγενή. Όταν πρόκειται για τη συσχέτιση (συνδιακύμανση) μεταξύ δύο ενδογενών μεταβλητών, ο συντελεστής διαδρομής συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα β .
- Οι **μη τυποποιημένοι** (non standardized) συντελεστές εκφράζουν συσχετίσεις με βάση την κλίμακα μέτρησης. Οι **τυποποιημένοι** (standardized) συντελεστές, προς διευκόλυνση της μεταξύ τους σύγκρισης, εκτιμώνται προαιρετικά.

Βήμα 4: Υπολογισμός των παραμέτρων

- Η ανάλυση SEM υπολογίζει τις **διακυμάνσεις** των παρατηρούμενων και των λανθανουσών μεταβλητών, καθώς και τους **μέσους όρους** και τις **αποτέμνουσες** (intercepts) των παρατηρούμενων μεταβλητών (και, προαιρετικά, των λανθανουσών μεταβλητών).
- Οι παράμετροι ενός μοντέλου SEM μπορεί να είναι ελεύθερες, προκαθορισμένες ή περιορισμένες:
 - ✓ οι **ελεύθερες** (free) παράμετροι είναι άγνωστες και χρειάζεται να εκτιμηθούν,
 - ✓ οι **προκαθορισμένες** (fixed) παράμετροι λαμβάνουν εκ των προτέρων μια δεδομένη τιμή (συνήθως, 0 ή 1) προκειμένου να καταστεί δυνατή η ταυτοποίηση του μοντέλου,
 - ✓ οι **περιορισμένες** (constrained) παράμετροι είναι άγνωστες, αλλά λογίζονται εκ των προτέρων ίσες με άλλες παραμέτρους.

Βήμα 4: Υπολογισμός των παραμέτρων

- Επιπλέον, υπολογίζονται οι **δείκτες καλής προσαρμογής** (goodness of fit indices) του μοντέλου SEM, οι οποίοι δηλώνουν κατά πόσο αυτό είναι συμβατό με τα εμπειρικά δεδομένα. Υπάρχουν τρεις ομάδες δεικτών καλής προσαρμογής, με κριτήρια:
 - ✓ την **απόλυτη** προσαρμογή του μοντέλου συγκριτικά με το υποθετικό μοντέλο,
 - ✓ την **επαυξητική** προσαρμογή του μοντέλου συγκριτικά με άλλα μοντέλα, και
 - ✓ τη **φειδωλότητα (οικονομία)** του μοντέλου, δηλαδή με πόσο λίγες παραμέτρους μπορεί να υπολογιστεί.

Βήμα 5: Αξιολόγηση των δεικτών προσαρμογής

- Δείκτες **απόλυτης** προσαρμογής:
 - ✓ Κριτήριο χ^2 (chi-square): δηλώνει το βαθμό ανεξαρτησίας μεταξύ θεωρητικών και εμπειρικών δεδομένων. Επιθυμητή η στατιστική ασημαντότητα. Πολύ ευαίσθητος στο μέγεθος του δείγματος.
 - ✓ χ^2/df ή CMIN/df: προσαρμογή του δείκτη χ^2 για τους βαθμούς ελευθερίας. Επιθυμητές τιμές < 3 ή $< 2-5$.
 - ✓ Δείκτης καλής προσαρμογής (Goodness-of-Fit Index, GFI): Συγκρίνει το υποθετικό με το μηδενικό μοντέλο. Ευαίσθητος στο μέγεθος του δείγματος. Επιθυμητές τιμές $> 0,90$ ή $> 0,95$.
 - ✓ Διορθωμένος δείκτης καλής προσαρμογής (Adjusted Goodness-of-Fit Index, AGFI): Διορθώνει τον δείκτη GFI για τους βαθμούς ελευθερίας. Επιθυμητές τιμές $> 0,90$ ή $> 0,95$.

Βήμα 5: Αξιολόγηση των δεικτών προσαρμογής

- Δείκτες **απόλυτης** προσαρμογής:
 - ✓ Τετραγωνική ρίζα του μέσου σφάλματος της εκτίμησης (Root Mean Square Error of Approximation, RMSEA): Συγκρίνει το υποθετικό μοντέλο με το ιδανικό μοντέλο. Επιθυμητές τιμές $< 0,08$.
 - ✓ Τετραγωνική ρίζα του μέσου των υπολοίπων (Root Mean Square Residual, RMR). Ευάλωτος δείκτης στα μικρά δείγματα, γι' αυτό προτιμάται η τυποποιημένη εκδοχή του.
 - ✓ Τυποποιημένη τετραγωνική ρίζα του μέσου των υπολοίπων (Standardized Root Mean Square Residual, SRMR). Επιθυμητές τιμές $< 0,08$, ακόμα καλύτερα $< 0,05$.

Βήμα 5: Αξιολόγηση των δεικτών προσαρμογής

- Δείκτες **επαυξητικής** προσαρμογής:
 - ✓ Κανονικοποιημένος δείκτης προσαρμογής (Normed Fit Index, NFI): Συγκρίνει την τιμή χ^2 του υποθετικού και του μηδενικού μοντέλου. Ευάλωτος στο μέγεθος του δείγματος. Επιθυμητές τιμές 0,95 ή μεγαλύτερες.
 - ✓ Δείκτης συγκριτικής προσαρμογής (Comparative Fit Index, CFI): Διορθωμένη εκδοχή του NFI για το μέγεθος του δείγματος. Επιθυμητές τιμές 0,95 ή μεγαλύτερες.
 - ✓ Δείκτης επαυξητικής προσαρμογής (Incremental Fit Index, IFI): Επιθυμητές τιμές 0,95 ή μεγαλύτερες.
 - ✓ Δείκτης Tucker-Lewis (Tucker-Lewis Index, TLI): Επιθυμητές τιμές 0,95 ή μεγαλύτερες.

Βήμα 5: Αξιολόγηση των δεικτών προσαρμογής

■ Δείκτες φειδωλότητας:

- ✓ Πληροφοριακό κριτήριο του Akaike (Akaike Information Criterion, AIC): Χρησιμοποιείται για τη σύγκριση μεταξύ μη εμφωλευμένων (non-nested) μοντέλων. Μικρότερη τιμή δηλώνει καλύτερο (πιο οικονομικό) μοντέλο.
- ✓ Συμβατό πληροφοριακό κριτήριο του Akaike (Consistent Akaike Information Criterion, CAIC): Όπως στον δείκτη AIC, μικρότερη τιμή δηλώνει προτιμώμενο μοντέλο.
- ✓ Φειδωλός δείκτης κανονικοποιημένης προσαρμογής (Parsimonious Normed-Fit Index, PNFI): Χωρίς κατώφλι αποδοχής.
- ✓ Φειδωλός δείκτης καλής προσαρμογής (Parsimonious Goodness-of-Fit Index, PGFI). Χωρίς κατώφλι αποδοχής.

Βήμα 5: Συγκριτική αξιολόγηση μοντέλων

- Όταν δύο μοντέλα είναι εμφωλευμένα (nested), δηλ. έχουν τις ίδιες παρατηρούμενες μεταβλητές, τότε η στατιστικώς σημαντική μείωση της τιμής του κριτηρίου χ^2 υποδεικνύει το προτιμώμενο μοντέλο.
- Όταν δύο μοντέλα δεν είναι εμφωλευμένα (non-nested), δηλ. δεν έχουν ακριβώς τις ίδιες παρατηρούμενες μεταβλητές, τότε καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα θεωρείται ότι έχει το μοντέλο με τη μικρότερη τιμή AIC/CAIC.

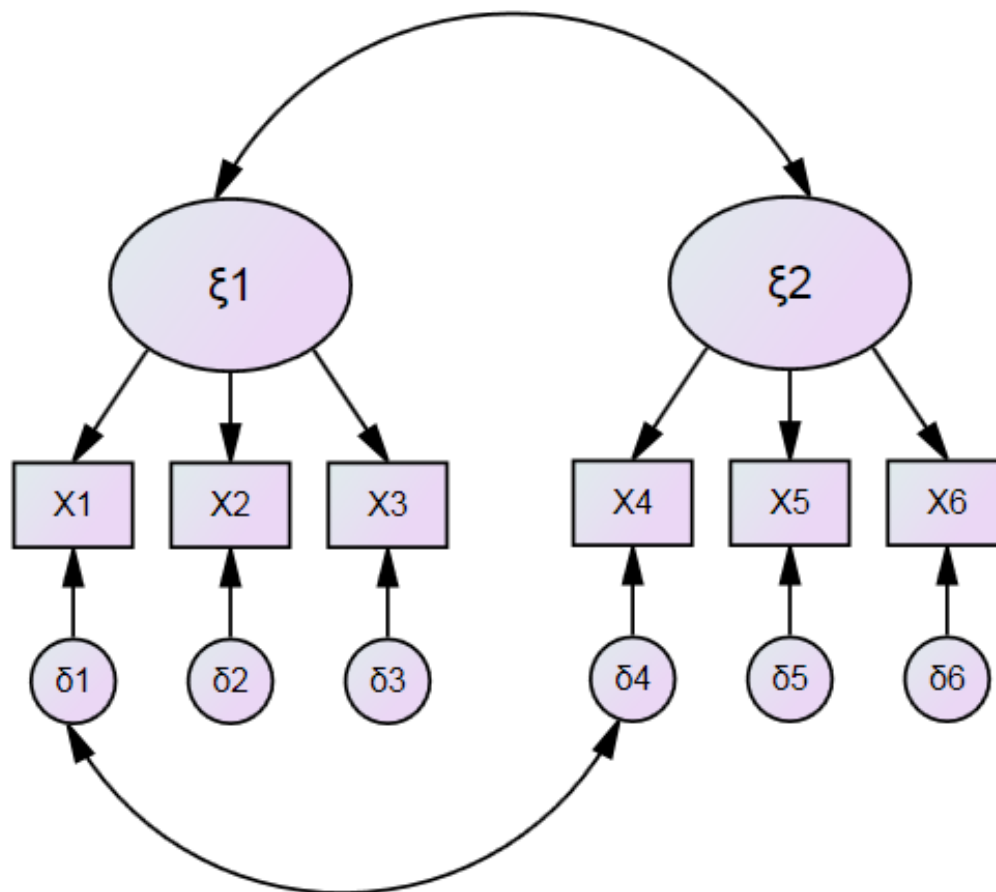
Βήμα 6: Τροποποίηση του μοντέλου

- Όταν οι δείκτες καλής προσαρμογής δεν είναι ικανοποιητικοί, μπορούμε να σκεφτούμε την τροποποίηση του μοντέλου για να βελτιώσουμε την προσαρμογή του. Αυτό γίνεται:
 - ✓ Με **απλοποίηση**, διαγράφοντας διαδρομές που δεν είναι στατιστικά σημαντικές ή αφαιρώντας μεταβλητές που δεν έχουν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις με άλλες.
 - ✓ Με **επέκταση**, προσθέτοντας διαδρομές ή συνδιακυμάνσεις με βάση τους δείκτες τροποποίησης (modification indices).
- Προσοχή: Η τροποποίηση του μοντέλου ΔΕΝ ορίζεται εμπειρικά, αλλά πρέπει να είναι συμβατή με τις ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ παραδοχές!

ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ

- Η Επιβεβαιωτική Ανάλυση Παραγόντων (Confirmatory Factor Analysis) έχει επικυρωτικό χαρακτήρα, ώστε να διαπιστώσουμε κατά πόσο τα δεδομένα μας στηρίζουν μια προκαθορισμένη δομή των υπό μελέτη μεταβλητών.
- Η CFA συγκρίνει τον πίνακα συνδιακυμάνσεων ενός συνόλου δεδομένων με τον εκτιμώμενο πίνακα συνδιακυμάνσεων που προκύπτει από τη συνάρτηση των εκτιμήσεων των παραμέτρων του μοντέλου που αξιολογούμε.
- Στη CFA οι υποθετικοί παράγοντες εμφανίζονται ως λανθάνουσες μεταβλητές, οι οποίες προσδιορίζονται από συγκεκριμένες κάθε φορά παρατηρούμενες μεταβλητές-δείκτες. Τη σχέση αυτή τη δηλώνει η τιμή του φορτίου (loading) του δείκτη στη λανθάνουσα μεταβλητή.

Παράδειγμα Επιβεβαιωτικής Ανάλυσης Παραγόντων



Επιβεβαιωτική vs. Διερευνητική Παραγοντική Ανάλυση

- Η Διερευνητική Ανάλυση Παραγόντων (Exploratory Factor Analysis) έχει περιγραφικό χαρακτήρα και περιορισμένες δυνατότητες ελέγχου πάνω στα δεδομένα...
 - ...ενώ η CFA χρησιμοποιείται για να ελέγξουμε συγκεκριμένες υποθέσεις αναφορικά με την παραγοντική δομή των δεδομένων και παρέχει αυξημένο έλεγχο σε αυτά.
- Η EFA ενδείκνυται στην αρχική διαδικασία της κατασκευής μιας κλίμακας ή όταν δεν έχουμε επαρκή θεωρητική τεκμηρίωση...
 - ...ενώ η CFA είναι κατάλληλη όταν εφαρμόζουμε μια κλίμακα σε διαφορετικό πληθυσμό (π.χ. άλλη χώρα), ώστε να ελέγξουμε τη δυνατότητα επιβεβαίωσης της αρχικής παραγοντικής δομής (ή να προχωρήσουμε σε αναπροσαρμογή αν χρειαστεί).

Εφαρμογές της CFA

- Αξιολόγηση της παραγοντικής δομής μιας κλίμακας (εγκυρότητα εννοιολογικού περιεχομένου).
- Αξιολόγηση της εγκυρότητας εννοιολογικής κατασκευής μιας κλίμακας (συγκλίνουσα και αποκλίνουσα εγκυρότητα).
- Αξιολόγηση της αμεταβλητότητας/ισοδυναμίας (invariance) ενός δομικού μοντέλου σε διαφορετικούς πληθυσμούς, το οποίο αποτελεί προϋπόθεση για τη σύγκριση των πληθυσμών σε επίπεδο μέσων όρων.

Προδιαγραφές για την εφαρμογή της CFA

- Έλεγχος των στατιστικών προϋποθέσεων (παραβίαση της πολυμεταβλητής κανονικότητας, λανθασμένος προσδιορισμός του μοντέλου, πολυσυγγραμμικότητα).
- Για την ταυτοποίηση του μοντέλου, δηλ. για τον υπολογισμό των ελεύθερων παραμέτρων, απαιτείται:
 - ✓ ορισμένες παράμετροι των λανθανουσών μεταβλητών να προκαθοριστούν.
 - ✓ οι βαθμοί ελευθερίας να έχουν τιμή > 0 (εάν $df = 0$, τότε το μοντέλο θα είναι κορεσμένο και οι δείκτες προσαρμογής πλασματικοί), και
 - ✓ να έχουμε τουλάχιστον 3-4 δείκτες ανά λανθάνουσα μεταβλητή.

Προδιαγραφές για την εφαρμογή της CFA

- Όσον αφορά το μέγεθος του δείγματος, προτείνεται μια αναλογία που κυμαίνεται μεταξύ 5-15 συμμετέχοντες ανά μεταβλητή.
- Επισκόπηση των ελλিপών τιμών (<5% του δείγματος) και, εφόσον χρειαστεί, συμπλήρωσή τους. Ας σημειωθεί ότι το AMOS δεν παράγει συντελεστές τροποποίησης για μοντέλα με ελλιπή στοιχεία.
- Ξανά: στερεή θεωρητική τεκμηρίωση του μοντέλου! (Διαφορετικά, είναι προτιμότερη η εφαρμογή κάποιας διερευνητικής τεχνικής.)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ IBM SPSS AMOS

Unnamed project : Group number 1 : Input

File Edit View Diagram Analyze Tools Plugins Help

Group number 1

Default model

























Unstandardized estimates
Standardized estimates

CFA_threat MVA-EM MI
CFA_threat MVA-EM
CFA_threat



















Path diagram Tables

Not estimating any user-defined estimand.

Τα εικονίδια του AMOS

- | | | | |
|---|---|--|--|
|  | Σχεδιασμός μετρήσιμων μεταβλητών |  | Επιλογή αρχείου δεδομένων |
|  | Σχεδιασμός κρυφών μεταβλητών |  | Ιδιότητες της ανάλυσης |
|  | Σχεδιασμός κρυφών μεταβλητών με την προσθήκη προσδιοριστικών μεταβλητών |  | Υπολογισμός – Εκτίμηση |
|  | Σχεδιασμός αιτιακής σχέσης |  | Αντιγραφή ενός μοντέλου στο clipboard |
|  | Σχεδιασμός Διακύμανσης(covariance) / συσχέτισης (correlation) |  | Εμφάνιση αναλυτικών αποτελεσμάτων |
|  | Προσθήκη μιας μεταβλητής σε μια υπάρχουσα μεταβλητή |  | Αποθήκευση μοντέλου |
|  | Τίτλοι |  | Ιδιότητες αντικειμένου |
|  | Κατάλογος μεταβλητών του μοντέλου |  | Αντιγραφή ιδιοτήτων αντικειμένου σε ένα άλλο αντικείμενο |
|  | Κατάλογος μεταβλητών του αρχείου δεδομένων |  | Διατήρηση συμμετριών |
|  | Επιλογή ενός αντικειμένου |  | Zoom της επιλεγμένης περιοχής |
|  | Επιλογή όλων των αντικειμένων |  | Εμφάνιση μικρότερης περιοχής του μοντέλου |
|  | Ακύρωση επιλογής όλων των αντικειμένων |  | Εμφάνιση μεγαλύτερης περιοχής του μοντέλου |

Τα εικονίδια του AMOS

	Αντίγραφο αντικειμένου		Εμφάνιση όλης της σελίδας στην οθόνη
	Μετακίνηση αντικειμένου		Επανασχεδιασμός του μοντέλου έτσι ώστε να χωράει στην σελίδα
	Διαγραφή αντικειμένου		Εξέταση του διαγράμματος με Ιουρε
	Αλλαγή του μεγέθους του αντικειμένου		Εμφάνιση βαθμών ελευθερίας
	Περιστροφή των προσδιοριστικών μεταβλητών μιας κρυφής μεταβλητής		Ανάλυση πολλαπλών ομάδων
	Απεικόνιση των προσδιοριστικών μεταβλητών μιας κρυφής		Εκτύπωση του μοντέλου και των αποτελεσμάτων
	Μεταφορά τιμών των παραμέτρων		Ανατροπή
	Επανατοποθέτηση του μοντέλου στην οθόνη		Επαναφορά
	Τακτοποίηση μεταβλητής		Αναζήτηση προδιαγραφών

Η χρήση του AMOS σε 10+1 διαδοχικά βήματα

1. Ρύθμιση της διεπαφής χρήστη `View >> Interface Properties...`
2. Σχεδιασμός μοντέλου με τα εργαλεία σχεδίασης ή μέσω του μενού `Diagram`: εισαγωγή των παρατηρούμενων και των λανθανουσών μεταβλητών, προσδιορισμός των μεταξύ τους σχέσεων.
3. Εισαγωγή ενός αρχείου δεδομένων `File >> Open`
4. Αντιστοίχιση των παρατηρούμενων μεταβλητών του μοντέλου με τα δεδομένα `View >> Variables in Dataset...`
5. Προσδιορισμός των λανθανουσών μεταβλητών `View >> Object Properties...` αλλά και `Plugins >> Name Unobserved Variables`
6. Ρύθμιση των ιδιοτήτων της ανάλυσης `View >> Analysis Properties...`

Η χρήση του AMOS σε 10+1 διαδοχικά βήματα

- 6α. Στο Tab **Estimation** των Ιδιοτήτων Ανάλυσης είναι απαραίτητο να τσεκαριστεί η επιλογή **Estimate means and intercepts** εφόσον υπάρχουν ελλιπή στοιχεία στα δεδομένα μας.
- 6β. Στο Tab **Output** των Ιδιοτήτων Ανάλυσης χρήσιμες επιλογές είναι οι **Standardized estimates, Square multiple correlations, Indirect, direct & total effects, Tests for normality and outliers** και **Modification indices** (θα λειτουργήσει μόνο με πλήρη στοιχεία).
7. Χρήσιμη είναι η προσθήκη ενός τίτλου, στον οποίο μπορούμε να συμπεριλάβουμε τους κυριότερους δείκτες καλής προσαρμογής. Επιλέγουμε **Diagram >> Figure Caption** και γράφουμε τα εξής:
 $CMIN=\backslashcmin$ (df \df), $CMIN/DF=\backslashcmindf$, $CFI=\backslashcfi$, $GFI=\backslashgfi$,
 $RMSEA=\backslashrmsea$, $RMR=\backslashrmr$, $TLI=\backslashtli$

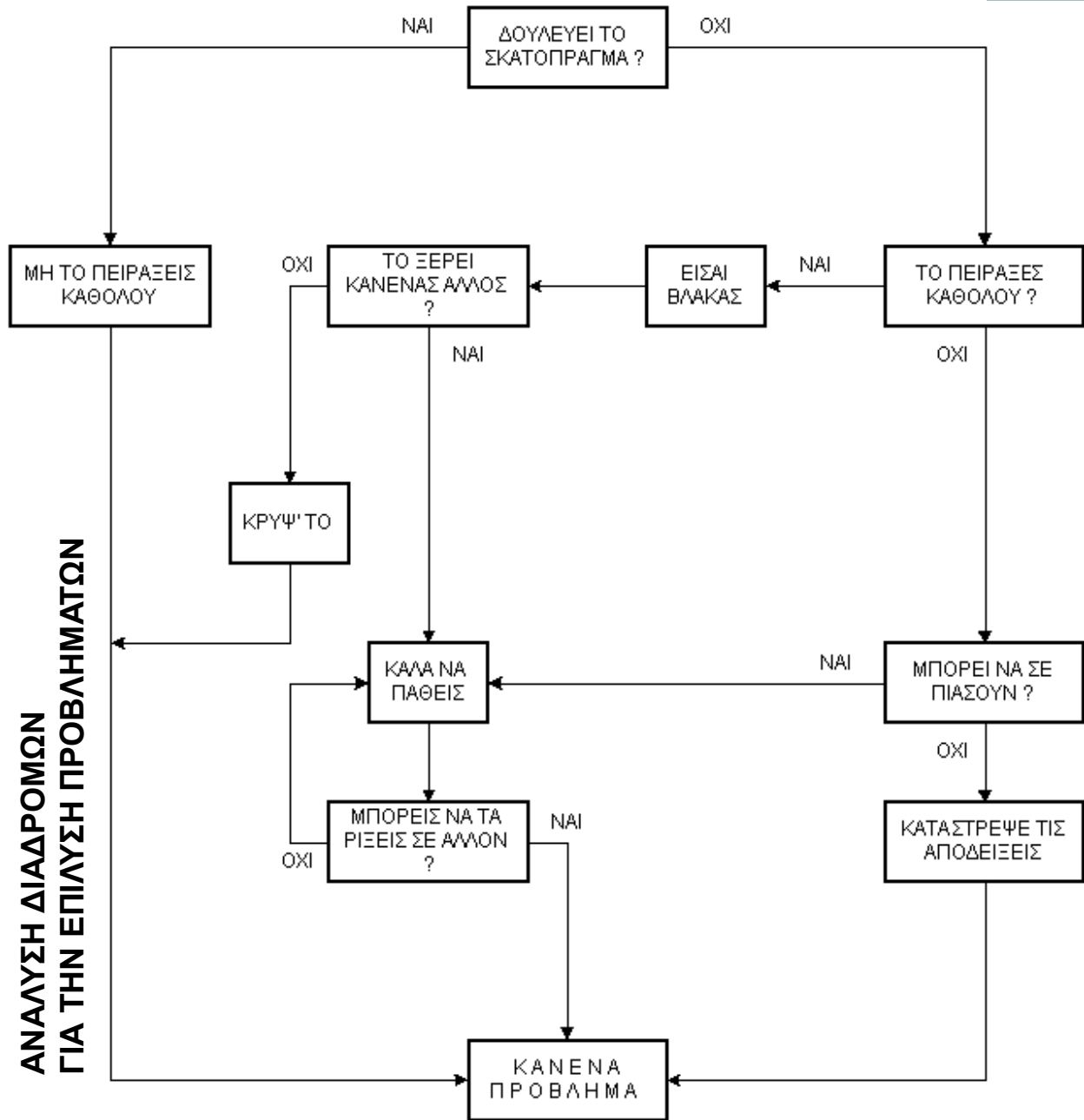
Η χρήση του AMOS σε 10+1 διαδοχικά βήματα

8. Αποθήκευση του μοντέλου `File >> Save As...`
9. Εκτέλεση της ανάλυσης `Analyze >> Calculate Estimates`
10. Εμφάνιση και επισκόπηση των αποτελεσμάτων
`View >> Text Output`
11. (Τροποποίηση του μοντέλου και σύγκριση με το αρχικό μοντέλο)

Βιβλιογραφία

- Αγγελίδης, Β. (2009). *Ανάλυση δεδομένων: Εισαγωγή στο AMOS* [Πανεπιστημιακές σημειώσεις]. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, ΤΜΕ179. <https://eclass.duth.gr/modules/document/index.php?course=TME179&download=/5da6c207Gjgh/5fff27af5a3d/5fff27c9W5Pn.ppt>
- Byrne, B. (2010). *Structural equation modeling with AMOS (2nd ed.)*. Routledge.
- Hooper, D., Coughlan, J., & Mullen, M. R. (2008). Structural equation modelling: Guidelines for determining model fit. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 6(1), 53-60. <https://doi.org/10.21427/D7CF7R>
- Hu, L., & Bentler, P. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multi-disciplinary Journal*, 6(1), 1-55. <https://doi.org/10.1080/10705519909540118>
- Kline, R. (2021). *Μοντέλα δομικών εξισώσεων (SEM): Αρχές και εφαρμογές* (επιμ.: Η. Σαντουρίδης & Π. Πολυχρονίδου). Προπομπός. [Πρωτότυπη 4η αγγλική έκδοση](#)
- McDonald, R., & Ho, M.-H. R. (2002). Principles and practice in reporting structural equation analyses. *Psychological Methods*, 7(1), 64-82. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.7.1.64>
- Πλατσίδου, Μ. (2001). [Η επιβεβαιωτική ανάλυση παραγόντων στην ψυχολογική έρευνα: Βασικές αρχές, περιορισμοί, και παραδείγματα εφαρμογής](#). *Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Ψυχολογίας ΑΠΘ*, 4, 367-394.
- Schumacker, R., & Lomax, R. (2010). *A beginner's guide to structural equation modeling (3rd ed.)*. Routledge.

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ**



*Ευχαριστώ
για την προσοχή σας!*