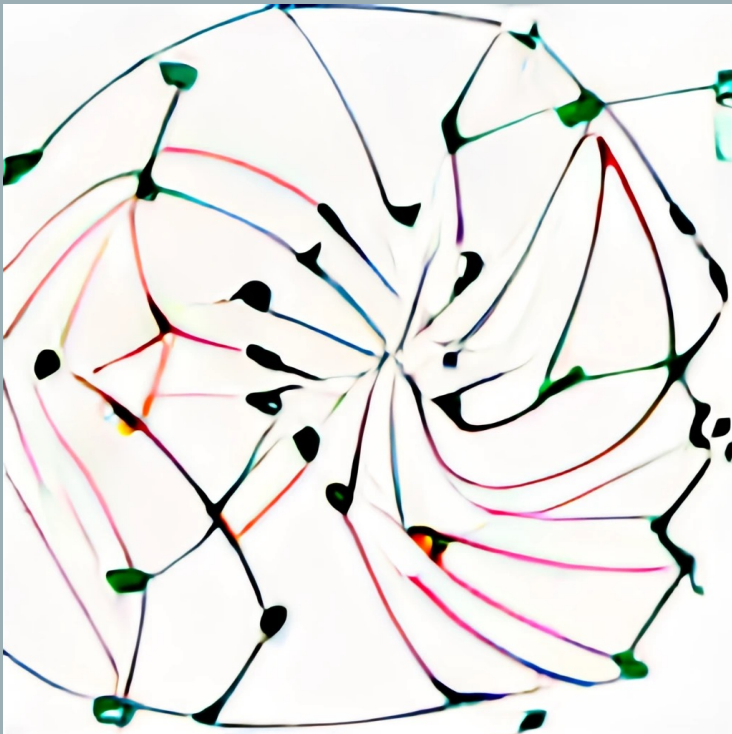


Πηγή: Dall-E



Άγγελος Μάρκος
amarkos.gr

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ R (ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ)



<https://github.com/amarkos/semworkshop>

Πρόσβαση στο υλικό του σεμιναρίου

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ R (ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Μια (πολύ) σύντομη εισαγωγή στην R
- Εφαρμογή σε πραγματικά δεδομένα με το `lavaan`

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΤΗΣ R
(ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ)

ΜΙΑ (ΠΟΛΥ) ΣΥΝΤΟΜΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ R

- Οδηγίες εγκατάστασης της R και του Rstudio
<https://static.eudoxus.gr/books/https://static.eudoxus.gr/books/92/chapter-86197192.pdf>
- Εισαγωγή δεδομένων (SEM.R)
- Βασικές δομές δεδομένων (αρχείο R-Data-Structures.pdf)

ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Journal of Personality and Social Psychology
2016, Vol. 111, No. 3, 367–395

© 2016 American Psychological Association
0022-3514/16/\$12.00 http://dx.doi.org/10.1037/pspi0000064

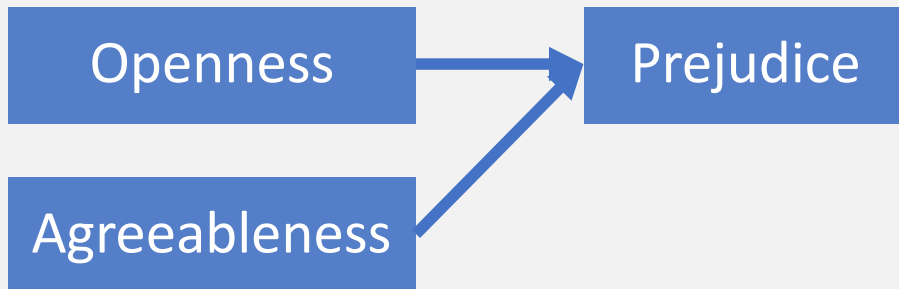
Is Group Membership Necessary for Understanding Generalized Prejudice? A Re-Evaluation of Why Prejudices Are Interrelated

Robin Bergh
Harvard University and Uppsala University

Nazar Akrami
Uppsala University

Jim Sidanius
Harvard University

Chris G. Sibley
University of Auckland



R package MPsychOR
data (Bergh)

Format

A data frame with 861 individuals, 10 composite scores, and gender:

EP Ethnic prejudice

SP Sexism

HP Sexual prejudice against gays and lesbians

DP Prejudice toward mentally people with disabilities

A1 Agreeableness indicator 1

A2 Agreeableness indicator 2

A3 Agreeableness indicator 3

O1 Openness indicator 1

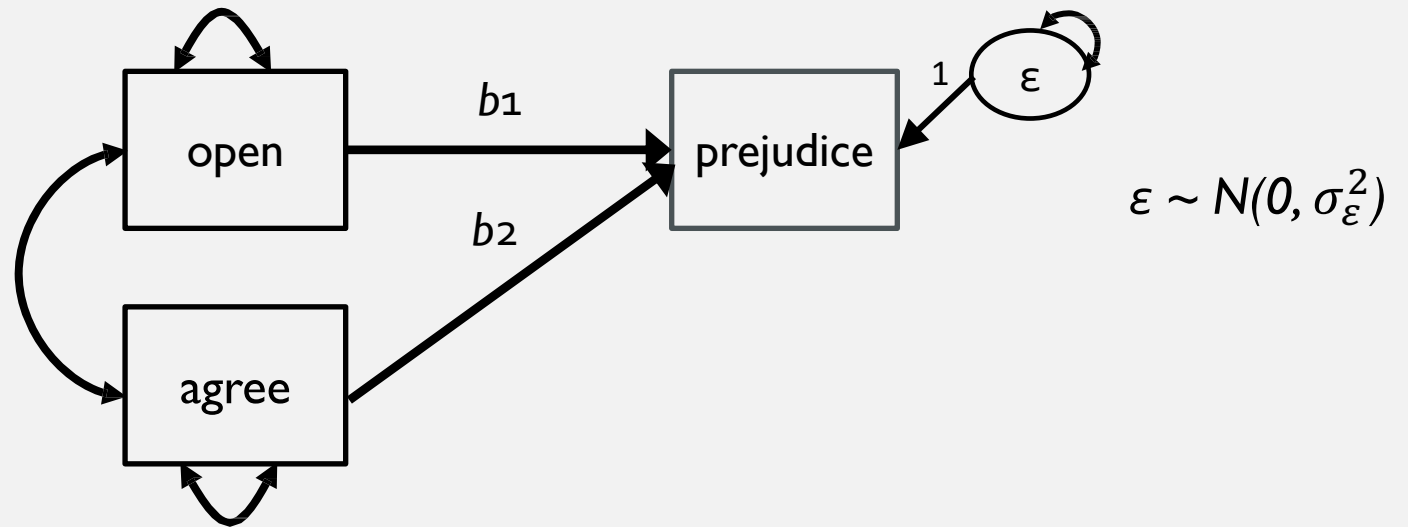
O2 Openness indicator 2

O3 Openness indicator 3

gender gender

MODEL 1

Μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης
με δύο ανεξάρτητες μεταβλητές

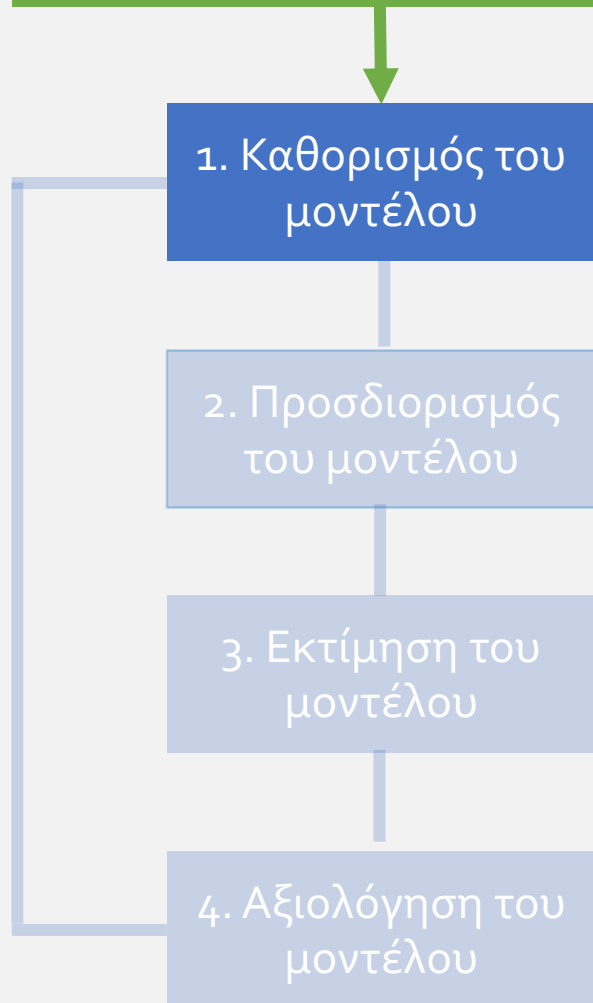


Prejudice (Προκατάληψη)

Openness to experience (Ανοικτότητα στην εμπειρία)

Agreeableness (Προσήνεια)

Θεωρία και Ερευνητικές Υποθέσεις



lavaan:

- Παλινδρόμηση: $Y \sim X$
- Συνδιακύμανση: $Y \sim \sim X$
- Λανθάνουσα μεταβλητή: $\text{eta} = \sim x1 + x2 + x3$

#Φόρτωση δεδομένων

```
library(lavaan)  
library(MPpsychR)
```

```
data(Bergh)  
View(Bergh)  
attach(Bergh)
```

MODEL 1

Θεωρία και Ερευνητικές Υποθέσεις

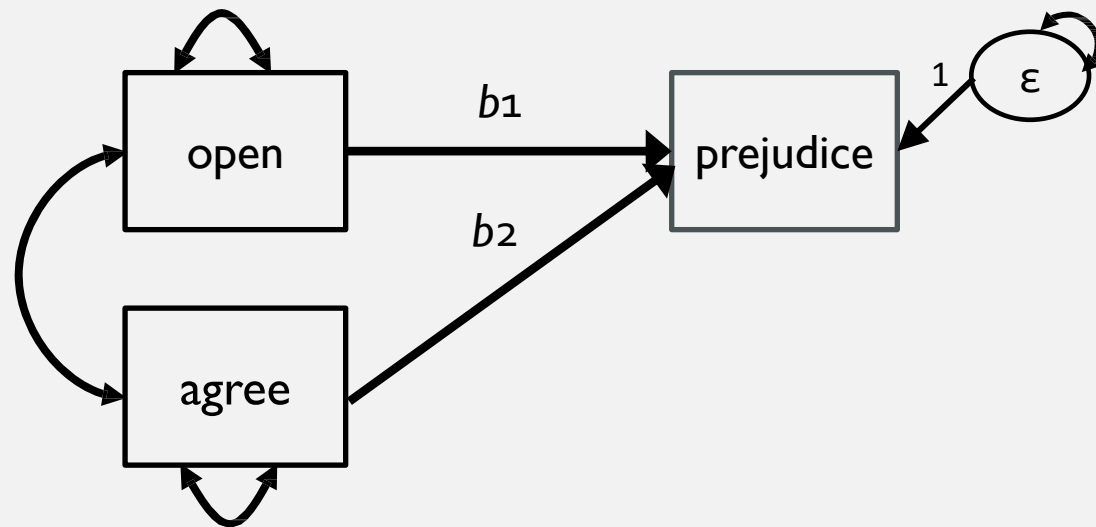
1. Καθορισμός του μοντέλου

2. Προσδιορισμός του μοντέλου

3. Εκτίμηση του μοντέλου

4. Αξιολόγηση του μοντέλου

Δημιουργία σύνθετων μεταβλητών
 $\text{Bergh\$Open} \leftarrow (O1+O2+O3)/3$
 $\text{Bergh\$Agree} \leftarrow (A1+A2+A3)/3$
 $\text{Bergh\$Prejudice} \leftarrow (EP+SP+DP+HP)/4$



MODEL 1

Θεωρία και Ερευνητικές Υποθέσεις

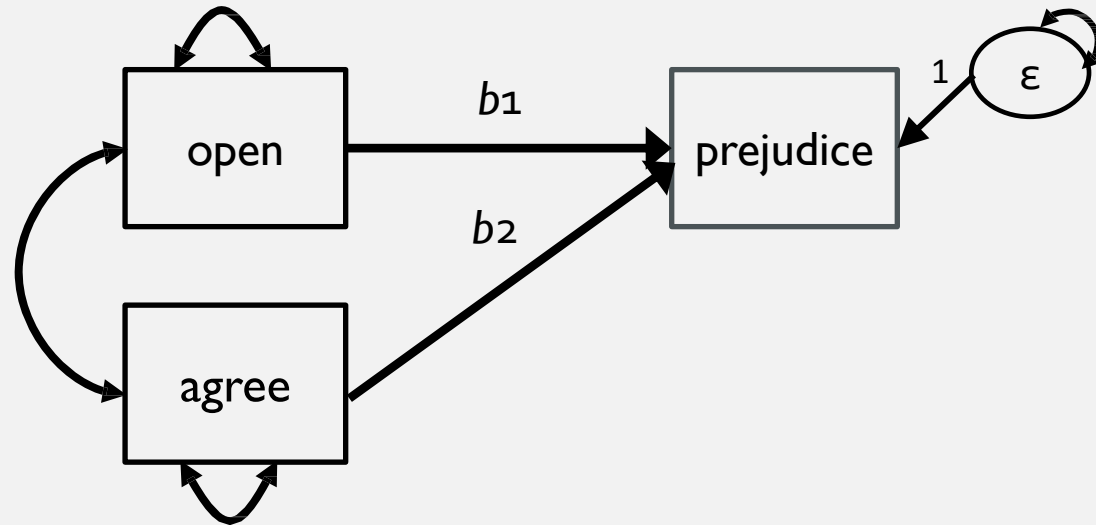
1. Καθορισμός του μοντέλου

2. Προσδιορισμός του μοντέλου

3. Εκτίμηση του μοντέλου

4. Αξιολόγηση του μοντέλου

```
# Βήμα 1: Καθορισμός του μοντέλου
model1 <- '
# Δομικό μοντέλο
Prejudice ~ b1*Open + b2*Agree
# Διακυμάνσεις/Συνδιακυμάνσεις
Open ~~ Open + Agree
Agree ~~ Agree'
```



MODEL 1

Θεωρία και Ερευνητικές Υποθέσεις

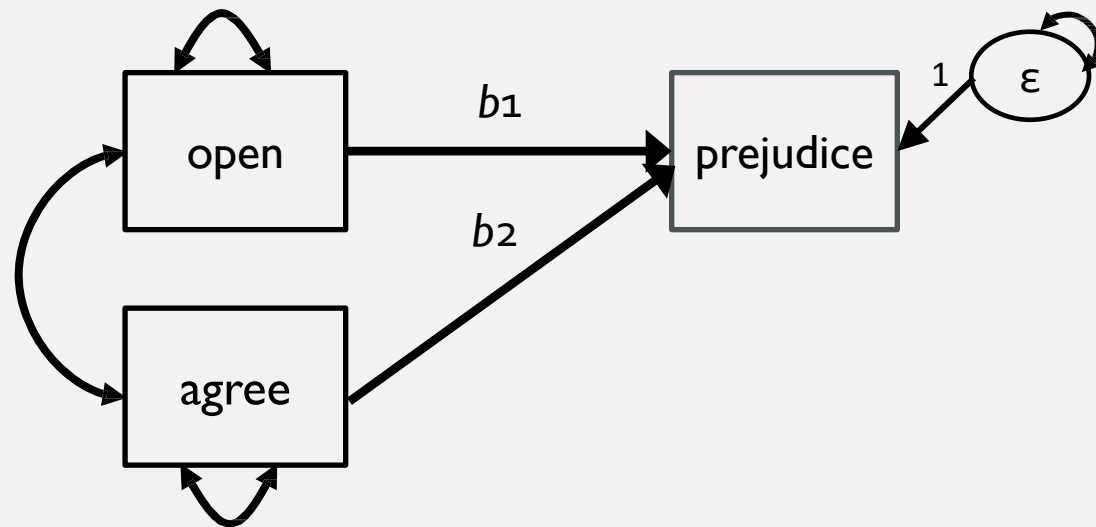
1. Καθορισμός του μοντέλου

2. Προσδιορισμός του μοντέλου

3. Εκτίμηση του μοντέλου

4. Αξιολόγηση του μοντέλου

```
# Βήμα 2: Εκτίμηση του μοντέλου  
model1.fit <- sem(model1,  
  data = Bergh,  
  meanstructure = FALSE,  
  estimator = "ML")
```



MODEL 1

Θεωρία και Ερευνητικές Υποθέσεις

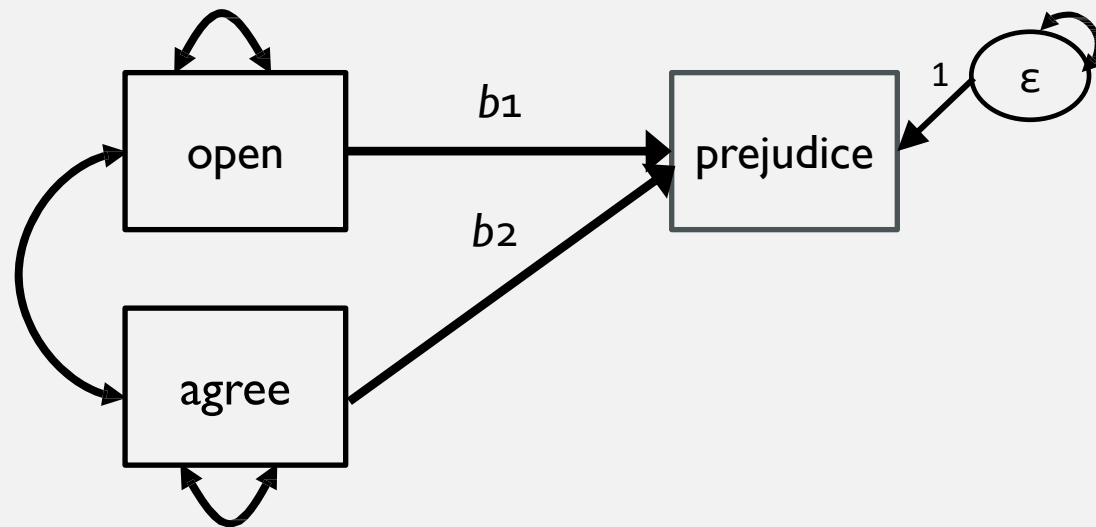
1. Καθορισμός του μοντέλου

2. Προσδιορισμός του μοντέλου

3. Εκτίμηση του μοντέλου

4. Αξιολόγηση του μοντέλου

Βήμα 3: Αξιολόγηση του μοντέλου
`summary(model1.fit,`
 `rsquare = TRUE,`
 `fit.measures = TRUE,`
 `standardized = TRUE)`



MODEL 1

Regressions:

		Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
Prejudice ~							
Open	(b1)	-0.612	0.043	-14.118	0.000	-0.612	-0.423
Agree	(b2)	-0.324	0.043	-7.522	0.000	-0.324	-0.225

Covariances:

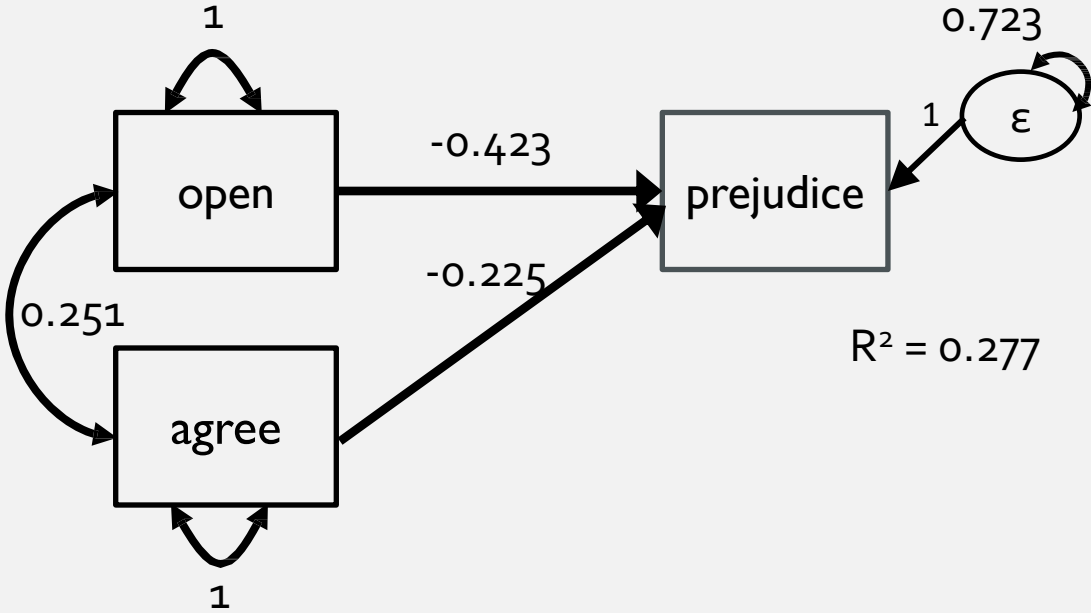
		Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
Open ~~							
Agree		0.049	0.007	7.148	0.000	0.049	0.251

Variances:

		Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
Open							
Agree		0.194	0.009	20.748	0.000	0.194	1.000
.Prejudice		0.291	0.014	20.748	0.000	0.291	0.723

R-Square:

	Estimate
Prejudice	0.277



MODEL 1

Regressions:

		Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
Prejudice ~							
Open	(b1)	-0.612	0.043	-14.118	0.000	-0.612	-0.423
Agree	(b2)	-0.324	0.043	-7.522	0.000	-0.324	-0.225

Covariances:

		Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
Open ~~							
Agree		0.049	0.007	7.148	0.000	0.049	0.251

Variances:

		Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
Open		0.192	0.009	20.748	0.000	0.192	1.000
Agree		0.194	0.009	20.748	0.000	0.194	1.000
.Prejudice		0.291	0.014	20.748	0.000	0.291	0.723

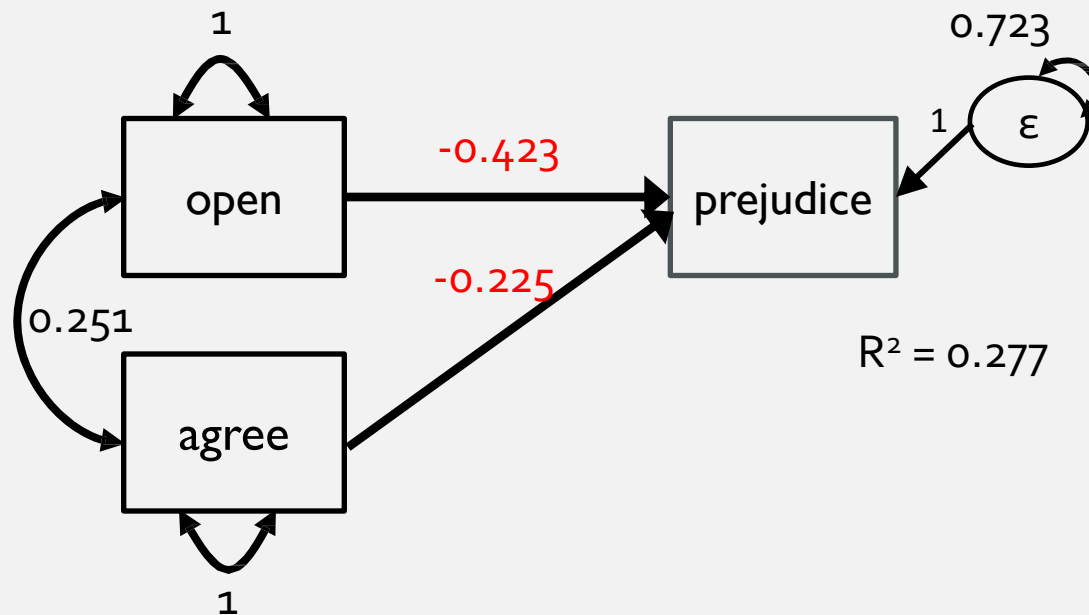
R-Square:

Estimate
Prejudice
0.277

```
> ## Έλεγχος υπόθεσης διαφοράς των b1 και b2
> lavTestWald(modell.fit, constraints = "b1 == b2")
$stat
[1] 17.76479

$df
[1] 1

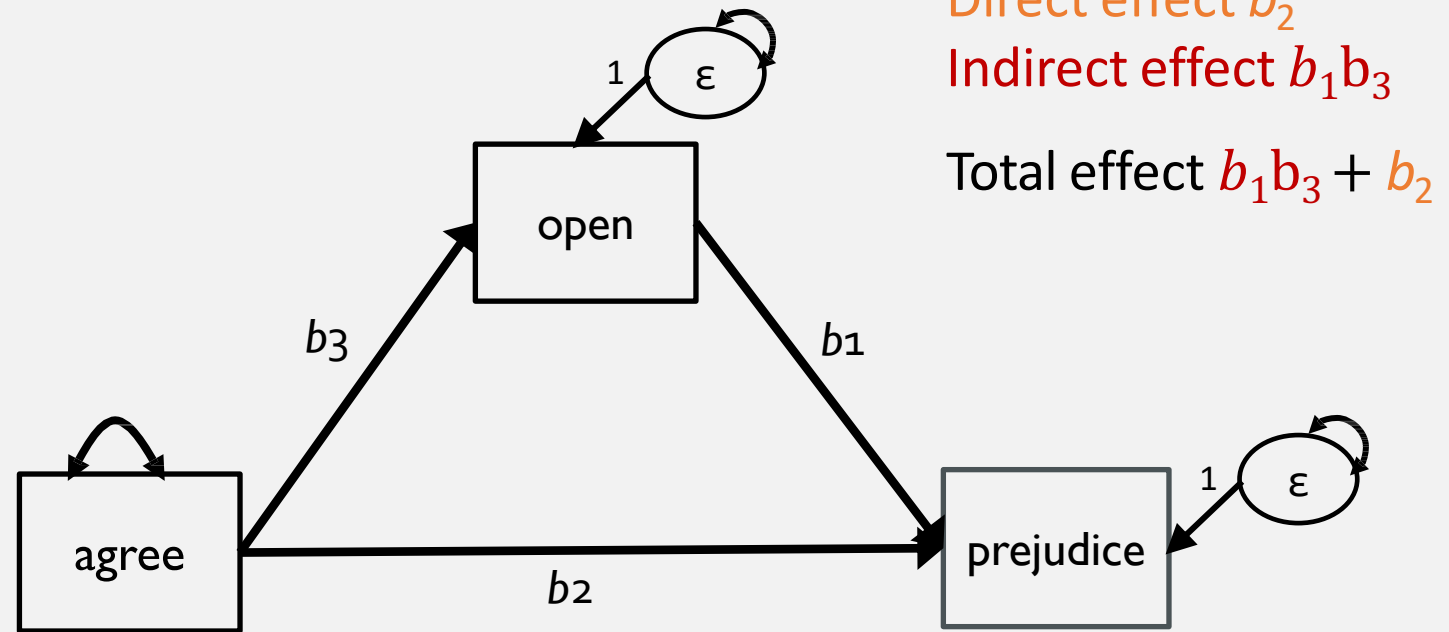
$p.value
[1] 2.499661e-05
```



MODEL 1

MODEL 2

Μοντέλο διαμεσολάβησης με
άμεσες και έμμεσες επιδράσεις



Prejudice (Προκατάληψη)

Openness to experience (Ανοικτότητα στην εμπειρία)

Agreeableness (Προσήνεια)

MODEL 2

Μοντέλο διαμεσολάβησης με
άμεσες και έμμεσες επιδράσεις

```
model2 <- '  
# Structural model  
Prejudice ~ b1*Open + b2*Agree  
Open ~ b3*Agree  
# Covariance structure of exogenous variables  
Agree ~~ Agree  
# New parameters  
# indirect effect  
ind := b1*b3  
# total effect  
total := b2 + (b1*b3)  
'  
  
# Βήμα 2: Εκτίμηση του μοντέλου  
model2.fit <- sem(model2,  
  data = Bergh,  
  estimator = "ML")  
  
# Βήμα 3: Αξιολόγηση του μοντέλου  
summary(model2.fit,  
  rsquare = TRUE,  
  fit.measures = TRUE,  
  standardized = TRUE)
```

Regressions:

		Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
Prejudice ~							
Open	(b1)	-0.612	0.043	-14.118	0.000	-0.612	-0.423
Agree	(b2)	-0.324	0.043	-7.522	0.000	-0.324	-0.225
Open ~							
Agree	(b3)	0.250	0.033	7.614	0.000	0.250	0.251

Variances:

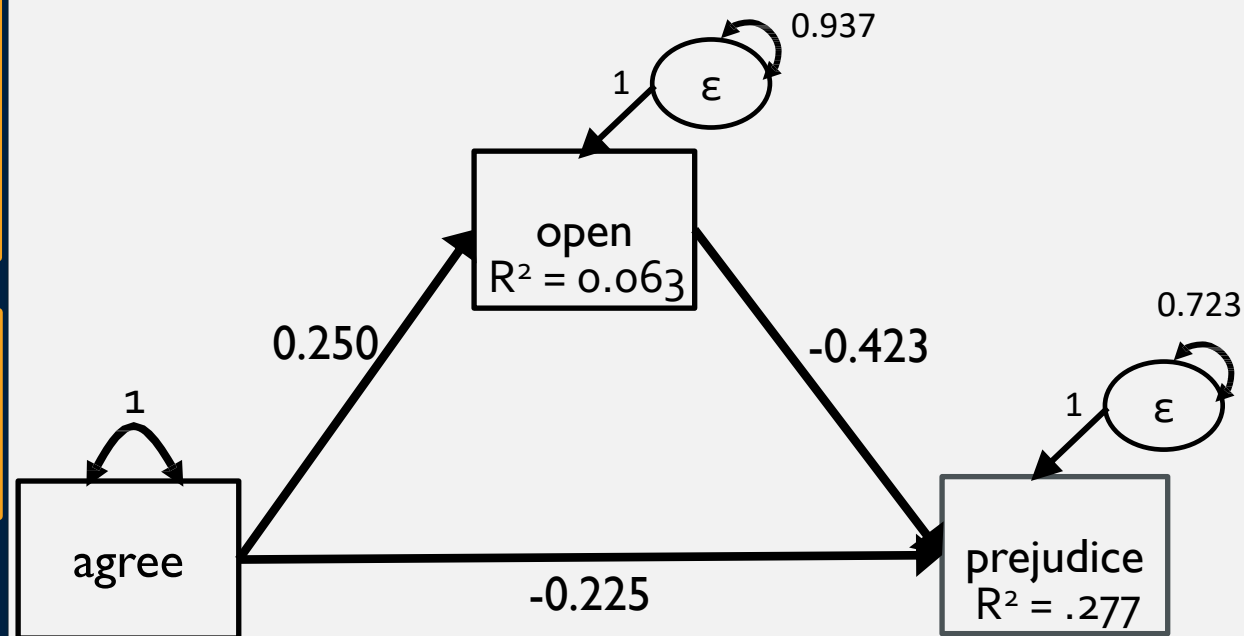
	Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
Agree	0.194	0.009	20.748	0.000	0.194	1.000
.Prejudice	0.291	0.014	20.748	0.000	0.291	0.723
.Open	0.180	0.009	20.748	0.000	0.180	0.937

R-Square:

	Estimate
Prejudice	0.277
Open	0.063

Defined Parameters:

	Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
ind	-0.153	0.023	-6.701	0.000	-0.153	-0.106
total	-0.477	0.046	-10.304	0.000	-0.477	-0.331



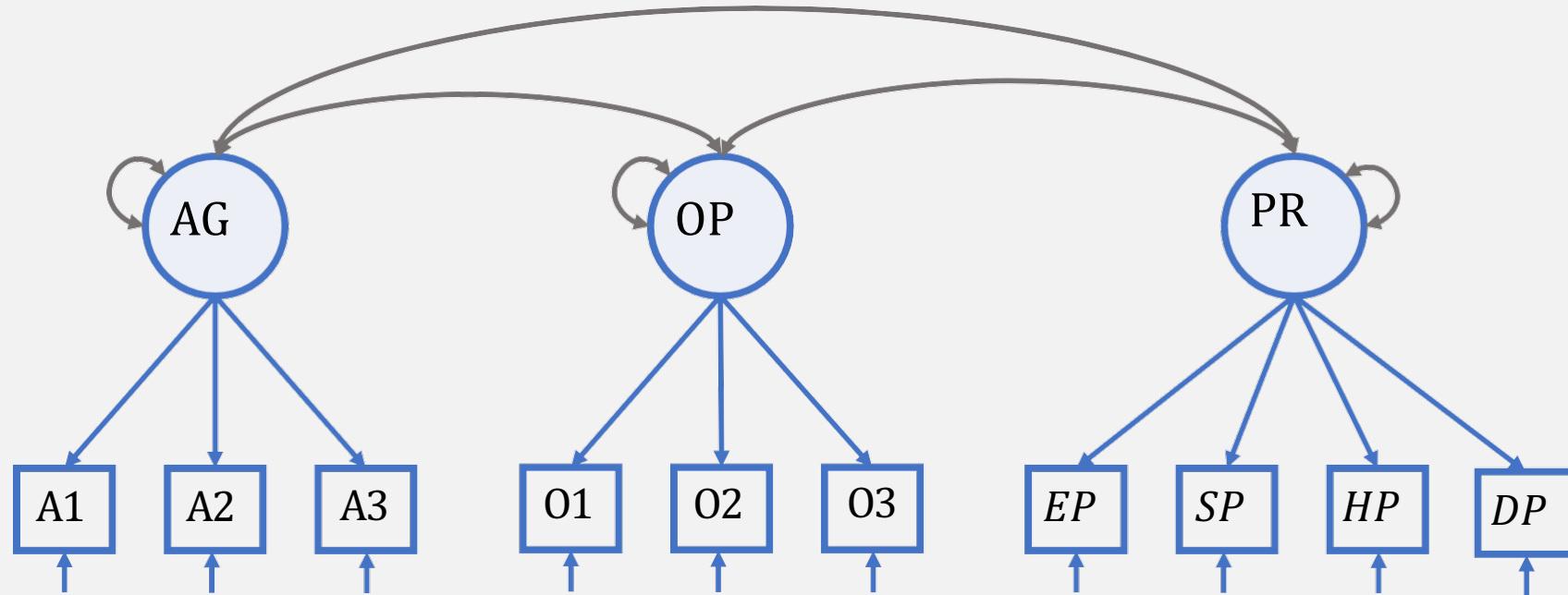
Indirect effect $b_1 b_3 = -0.106$

Total effect = $b_2 + (b_1 b_3) = -0.331$

MODEL 3A

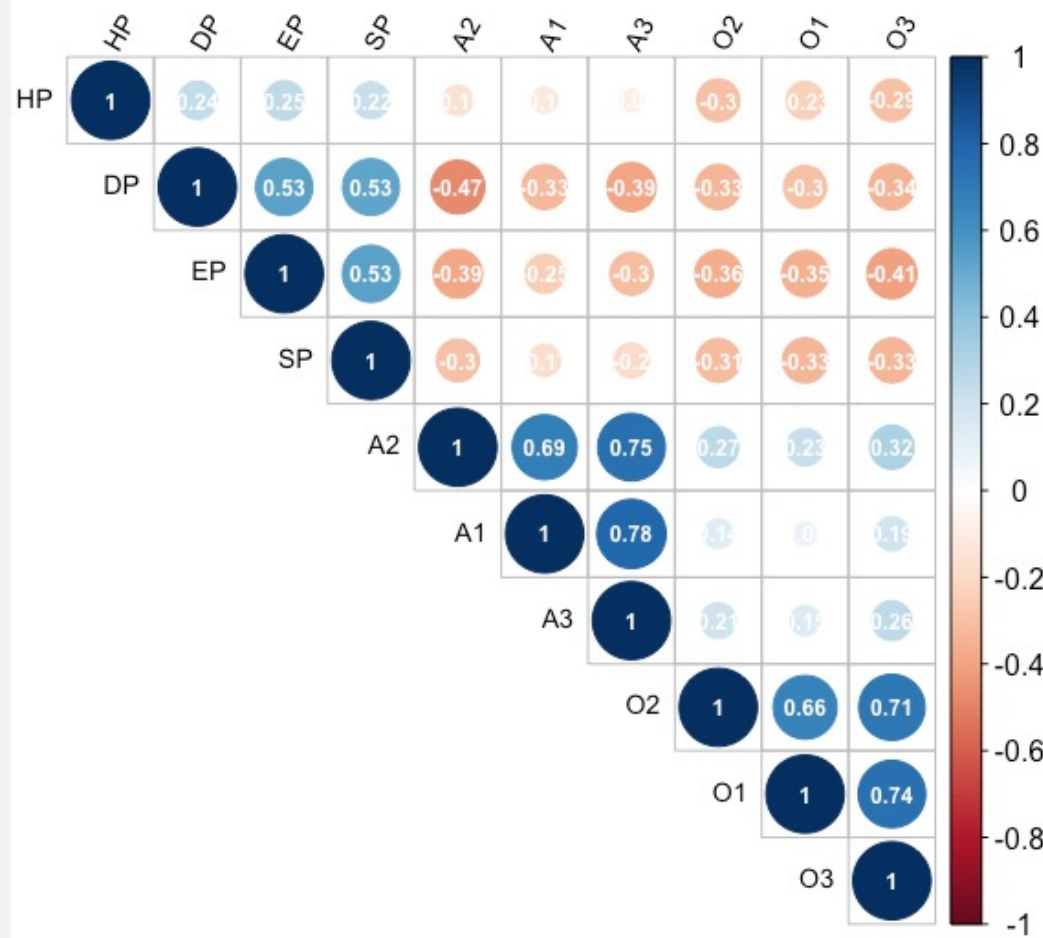
Επιβεβαιωτική ανάλυση
παραγόντων (CFA) με τρεις
συσχετισμένες λανθάνουσες
μεταβλητές ή παράγοντες

Αναπαριστούμε τις
εννοιολογικές κατασκευές ως
λανθάνουσες μεταβλητές και
διαχωρίζουμε την «πραγματική
τιμή» από το σφάλμα της
μέτρησης.



MODEL 3A

Συσχετίσεις



MODEL 3A

Επιβεβαιωτική ανάλυση
παραγόντων (CFA) με τρεις
συσχετισμένες λανθάνουσες
μεταβλητές ή παράγοντες

```
# Βήμα 1: Καθορισμός του μοντέλου  
model3 <- '
```

```
# Measurement models
```

```
OP =~ O1 + O2 + O3
```

```
AG =~ A1 + A2 + A3
```

```
PR =~ EP + SP + HP + DP
```

```
# Covariance structure
```

```
OP ~~ OP + AG + PR
```

```
AG ~~ AG + PR
```

```
PR ~~ PR
```

```
'
```

```
# Βήμα 2: Εκτίμηση του μοντέλου
```

```
model3.fit <- sem(model3,
```

```
data = Bergh,
```

```
estimator = "ML")
```

```
# Βήμα 3: Αξιολόγηση του μοντέλου
```

```
summary(model3.fit,
```

```
fit.measures = TRUE,
```

```
standardized = TRUE)
```

```
lavaan 0.6-12 ended normally after 54 iterations

Estimator                      ML
Optimization method             NLMINB
Number of model parameters      23
Number of observations          861

Model Test User Model:

Test statistic                   186.620
Degrees of freedom               32
P-value (Chi-square)            0.000

Model Test Baseline Model:

Test statistic                   4270.205
Degrees of freedom               45
P-value                         0.000

User Model versus Baseline Model:

Comparative Fit Index (CFI)     0.963
Tucker-Lewis Index (TLI)       0.949
```

```
Loglikelihood and Information Criteria:

Loglikelihood user model (H0)    -5672.807
Loglikelihood unrestricted model (H1) -5579.497

Akaike (AIC)                    11391.614
Bayesian (BIC)                  11501.050
Sample-size adjusted Bayesian (BIC) 11428.008

Root Mean Square Error of Approximation:

RMSEA                           0.075
90 Percent confidence interval - lower 0.065
90 Percent confidence interval - upper 0.085
P-value RMSEA <= 0.05            0.000

Standardized Root Mean Square Residual:

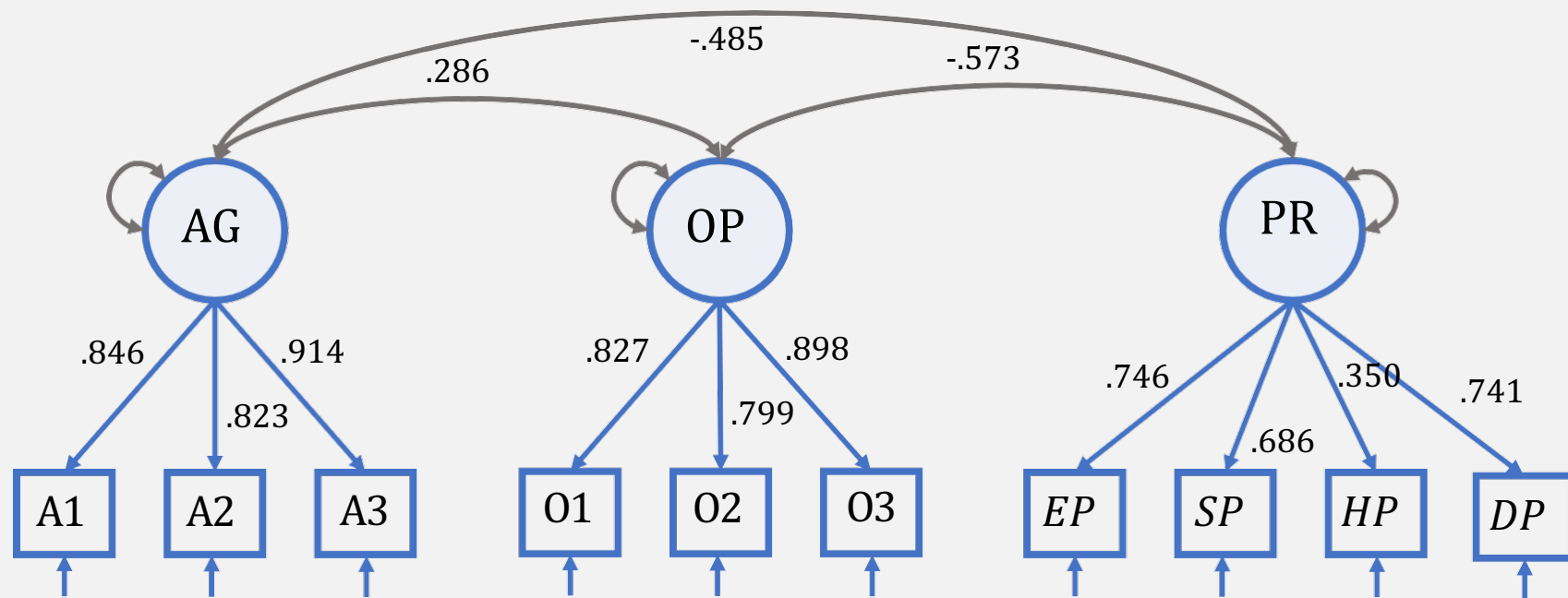
SRMR                             0.054
```

$\chi^2(32) = 186.62$, CFI = .96, TLI = .95, RMSEA = .075 (.065 - .085), SRMR = .054

Το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στα δεδομένα. Έχουμε ισχυρές ενδείξεις ότι υποστηρίζεται η παραγοντική δομή που υποθέσαμε.

Latent Variables:						
	Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
OP =~						
O1	1.000				0.400	0.827
O2	0.934	0.036	26.185	0.000	0.374	0.799
O3	1.149	0.040	28.900	0.000	0.460	0.898
AG =~						
A1	1.000				0.426	0.846
A2	0.910	0.032	28.812	0.000	0.388	0.823
A3	1.030	0.032	31.899	0.000	0.439	0.914
PR =~						
EP	1.000				0.530	0.746
SP	0.886	0.051	17.348	0.000	0.469	0.686
HP	1.030	0.112	9.160	0.000	0.545	0.350
DP	0.746	0.041	18.308	0.000	0.395	0.741
Covariances:						
	Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
OP ~~						
AG	0.049	0.007	7.105	0.000	0.286	0.286
PR	-0.122	0.011	-11.371	0.000	-0.573	-0.573
AG ~~						
PR	-0.110	0.011	-10.241	0.000	-0.485	-0.485

Τα παραγοντικά φορτία είναι υψηλά (>0.3) και κυμαίνονται από 0.350 έως 0.898.



$\chi^2(32) = 186.62$, CFI = .96, TLI = .95, RMSEA = .075 (.065 - .085), SRMR = .054

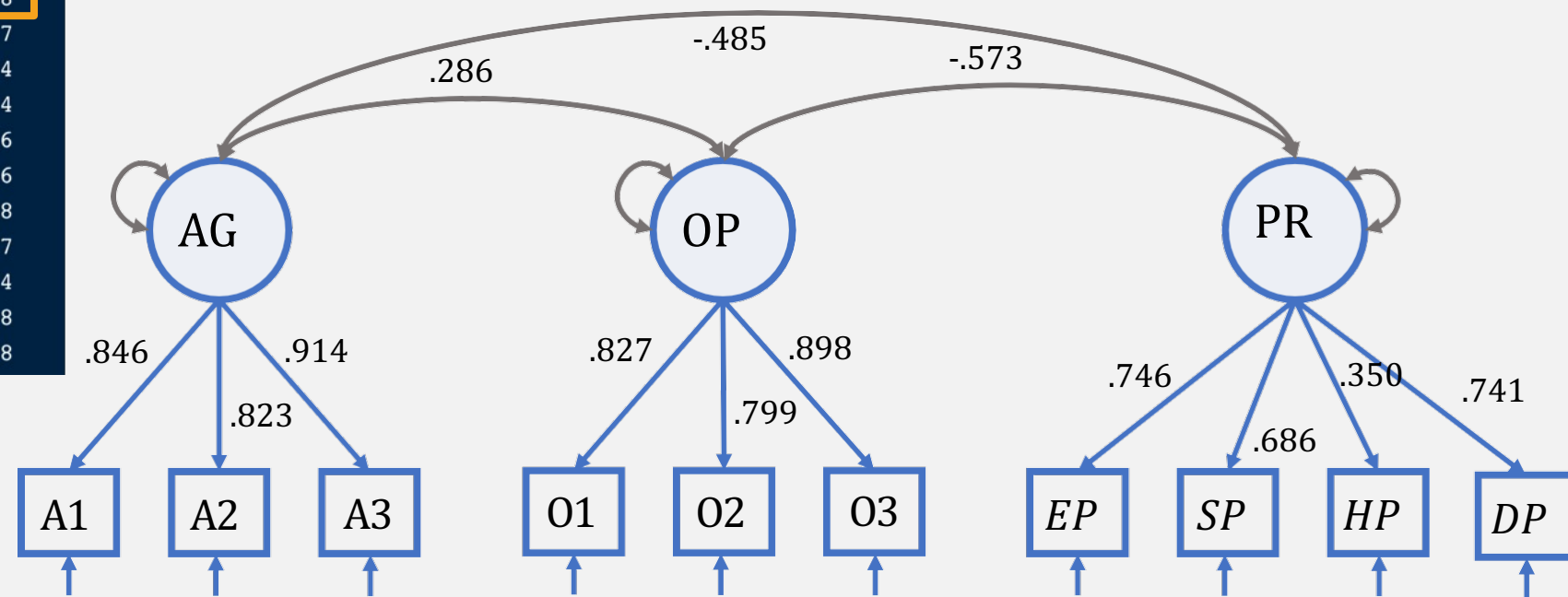
Δείκτες τροποποίησης του μοντέλου (modification indices):

```
> modindices(model3a.fit, sort = TRUE, minimum.value = 10)
```

	lhs	op	rhs	mi	epc	sepc.lv	sepc.all	sepc.nox
72	A1	~~	A3	69.141	0.088	0.088	1.688	1.688
45	PR	~~	A2	68.775	-0.220	-0.117	-0.247	-0.247
28	OP	~~	A2	34.333	0.169	0.068	0.144	0.144
40	AG	~~	DP	32.769	-0.268	-0.114	-0.214	-0.214
38	AG	~~	SP	22.259	0.283	0.121	0.176	0.176
32	OP	~~	HP	22.203	-0.842	-0.337	-0.216	-0.216
77	A2	~~	A3	19.619	-0.041	-0.041	-0.778	-0.778
44	PR	~~	A1	19.206	0.121	0.064	0.127	0.127
27	OP	~~	A1	19.169	-0.131	-0.052	-0.104	-0.104
34	AG	~~	O1	15.221	-0.111	-0.047	-0.098	-0.098
36	AG	~~	O3	10.358	0.094	0.040	0.078	0.078

Η τιμή ενός δείκτη τροποποίησης (στήλη mi) μας λέει πόσο θα μειωθεί το στατιστικό χ^2 αν ελευθερώσουμε την αντίστοιχη παράμετρο.

Το νέο μοντέλο επομένως, αναμένεται να προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα.



$\chi^2(32) = 186.62$, CFI = .96, TLI = .95, RMSEA = .075 (.065 - .085), SRMR = .054

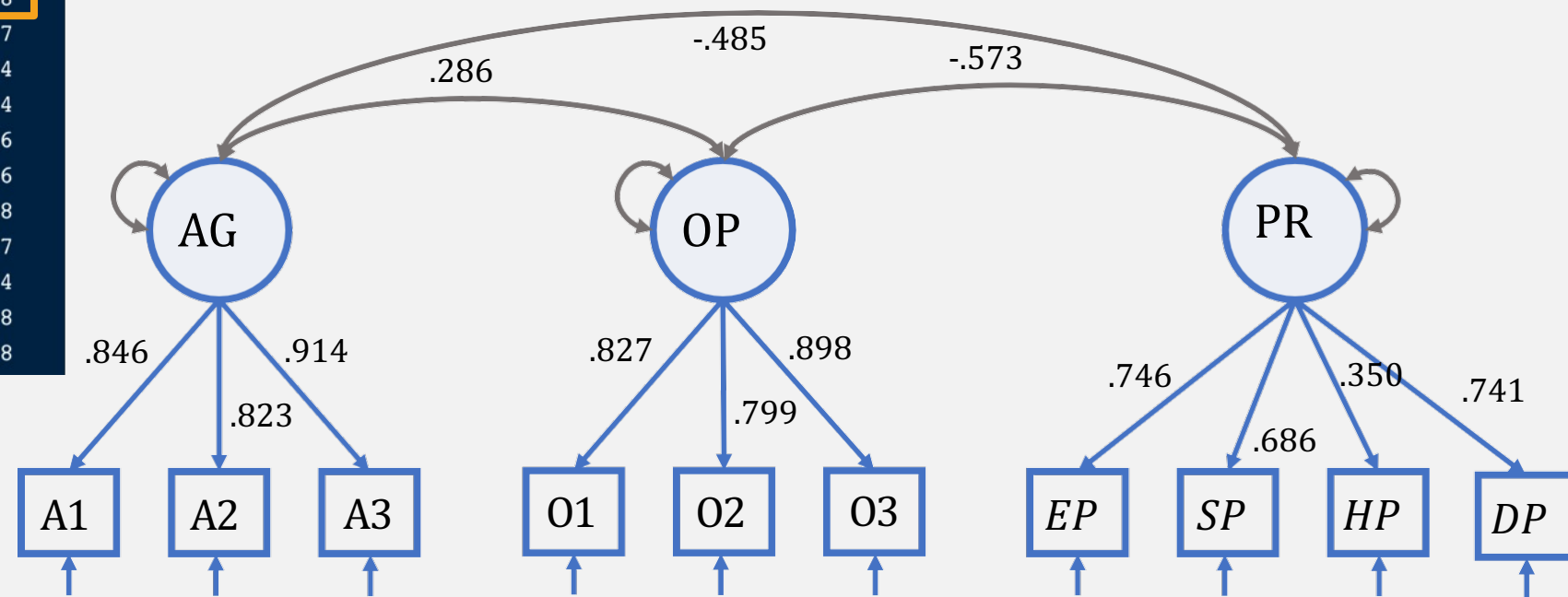
Δείκτες τροποποίησης του μοντέλου (modification indices):

```
> modindices(model3a.fit, sort = TRUE, minimum.value = 10)
```

	lhs	op	rhs	mi	epc	sepc.lv	sepc.all	sepc.nox
72	A1	~~	A3	69.141	0.088	0.088	1.688	1.688
45	PR	==	A2	68.775	-0.220	-0.117	-0.247	-0.247
28	OP	==	A2	34.333	0.169	0.068	0.144	0.144
40	AG	==	DP	32.769	-0.268	-0.114	-0.214	-0.214
38	AG	==	SP	22.259	0.283	0.121	0.176	0.176
32	OP	==	HP	22.203	-0.842	-0.337	-0.216	-0.216
77	A2	~~	A3	19.619	-0.041	-0.041	-0.778	-0.778
44	PR	==	A1	19.206	0.121	0.064	0.127	0.127
27	OP	==	A1	19.169	-0.131	-0.052	-0.104	-0.104
34	AG	==	O1	15.221	-0.111	-0.047	-0.098	-0.098
36	AG	==	O3	10.358	0.094	0.040	0.078	0.078

**Μπορεί να τεκμηριωθεί
θεωρητικά αυτή η τροποποίηση;**

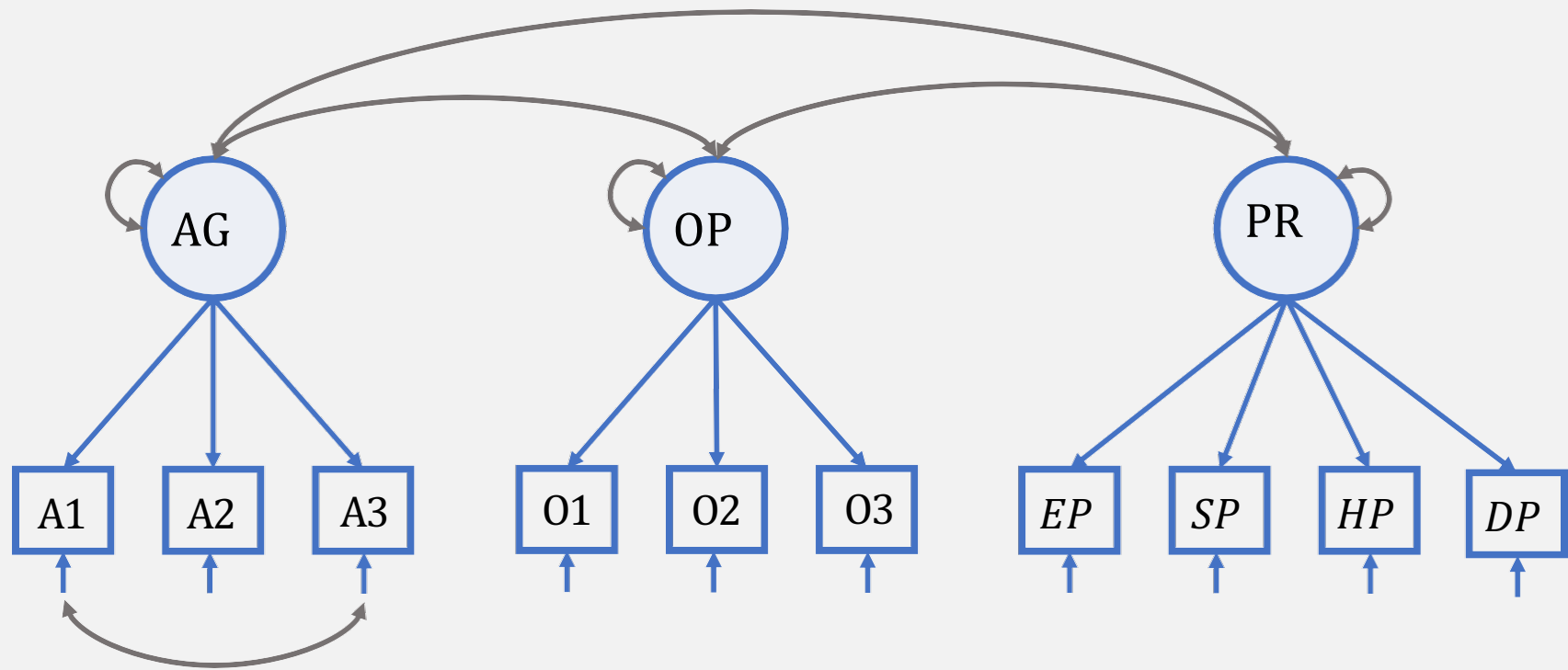
Τα σφάλματα υπολοίπων για τους δείκτες A1 και A3 συσχετίζονται μεταξύ τους λόγω της παρόμοιας διατύπωσης των σχετικών ερωτήσεων (item wording)!



$$\chi^2(32) = 186.62, \text{CFI} = .96, \text{TLI} = .95, \text{RMSEA} = .075 (.065 - .085), \text{SRMR} = .054$$

MODEL 3B

Επιβεβαιωτική ανάλυση
παραγόντων (CFA) με τρεις
συσχετισμένες λανθάνουσες
μεταβλητές ή παράγοντες
(τροποποιημένο μοντέλο)



Residual covariance
A1 ~~ A3

lavaan 0.6-12 ended normally after 62 iterations

Estimator	ML
Optimization method	NLMINB
Number of model parameters	24
Number of observations	861

Model Test User Model:

Test statistic	118.256
Degrees of freedom	31
P-value (Chi-square)	0.000

Model Test Baseline Model:

Test statistic	4270.205
Degrees of freedom	45
P-value	0.000

User Model versus Baseline Model:

Comparative Fit Index (CFI)	0.979
Tucker-Lewis Index (TLI)	0.970

Loglikelihood and Information Criteria:

Loglikelihood user model (H0)	-5638.625
Loglikelihood unrestricted model (H1)	-5579.497
Akaike (AIC)	11325.249
Bayesian (BIC)	11439.444
Sample-size adjusted Bayesian (BIC)	11363.226

Root Mean Square Error of Approximation:

RMSEA	0.057
90 Percent confidence interval - lower	0.046
90 Percent confidence interval - upper	0.068
P-value RMSEA <= 0.05	0.131

Standardized Root Mean Square Residual:

SRMR	0.043
------	-------

$\chi^2(31) = 118.26$, CFI = .98, TLI = .97, RMSEA = .057 (.046 - .068), SRMR = .043

Το μοντέλο προσαρμόζεται καλά στα δεδομένα.

Latent Variables:

	Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
OP =~						
O1	1.000				0.400	0.827
O2	0.934	0.036	26.188	0.000	0.374	0.799
O3	1.149	0.040	28.921	0.000	0.460	0.898
AG =~						
A1	1.000				0.346	0.687
A2	1.361	0.086	15.756	0.000	0.471	0.999
A3	1.036	0.033	31.662	0.000	0.358	0.746
PR =~						
EP	1.000				0.529	0.744
SP	0.887	0.051	17.460	0.000	0.469	0.685
HP	1.031	0.112	9.177	0.000	0.545	0.349
DP	0.750	0.040	18.535	0.000	0.397	0.744

Covariances:

	Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
OP ~~						
AG	0.046	0.006	7.516	0.000	0.330	0.330
PR	-0.121	0.011	-11.372	0.000	-0.573	-0.573
AG ~~						
PR	-0.098	0.010	-9.409	0.000	-0.536	-0.536
.A1 ~~						
.A3	0.066	0.008	8.266	0.000	0.066	0.560

Είναι όμως η προσαρμογή του μοντέλου 3B σημαντικά καλύτερη από αυτή του 3A;

Τα δύο μοντέλα είναι *εμφωλευμένα* (nested): το 3B είναι ίδιο με το 3A, με έναν επιπλέον περιορισμό.

Ναι.

```
> ## Σύγκριση των μοντέλων: Model 3 vs. refined Model 3
> anova(model3.fit, model3b.fit)
Chi-Squared Difference Test

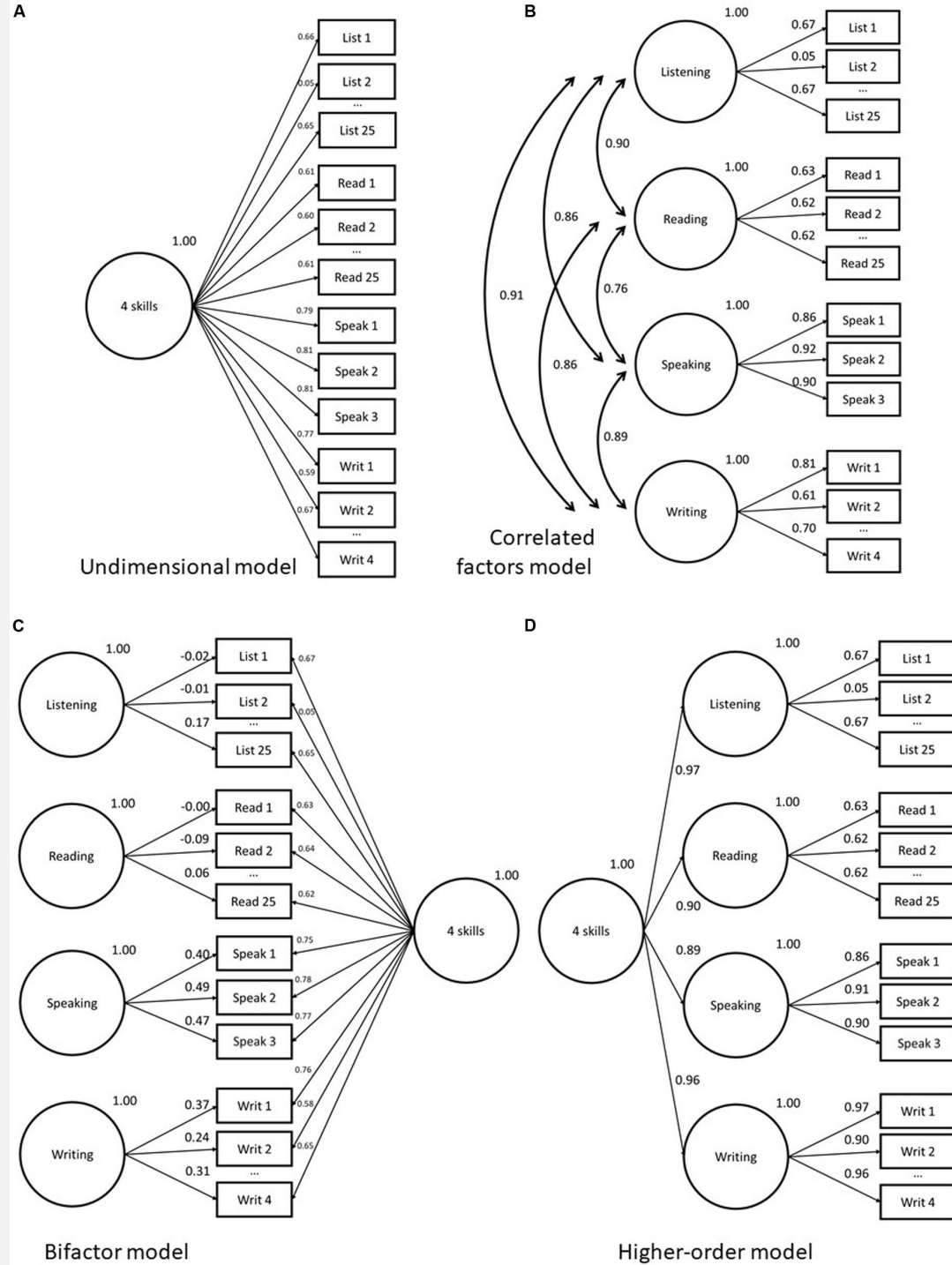
              Df    AIC    BIC  Chisq Chisq diff Df diff Pr(>Chisq)
model3b.fit  31 11325 11439 118.26
model3.fit   32 11392 11501 186.62      68.364      1 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

MODEL 3B: $\chi^2(31) = 118.26$, CFI = .98, TLI = .97, RMSEA = .057 (.046 - .068), SRMR = .043

MODEL 3A: $\chi^2(32) = 186.62$, CFI = .96, TLI = .95, RMSEA = .075 (.065 - .085), SRMR = .054

$\Delta\chi^2(1) = 68.36$, $p < 0.001$

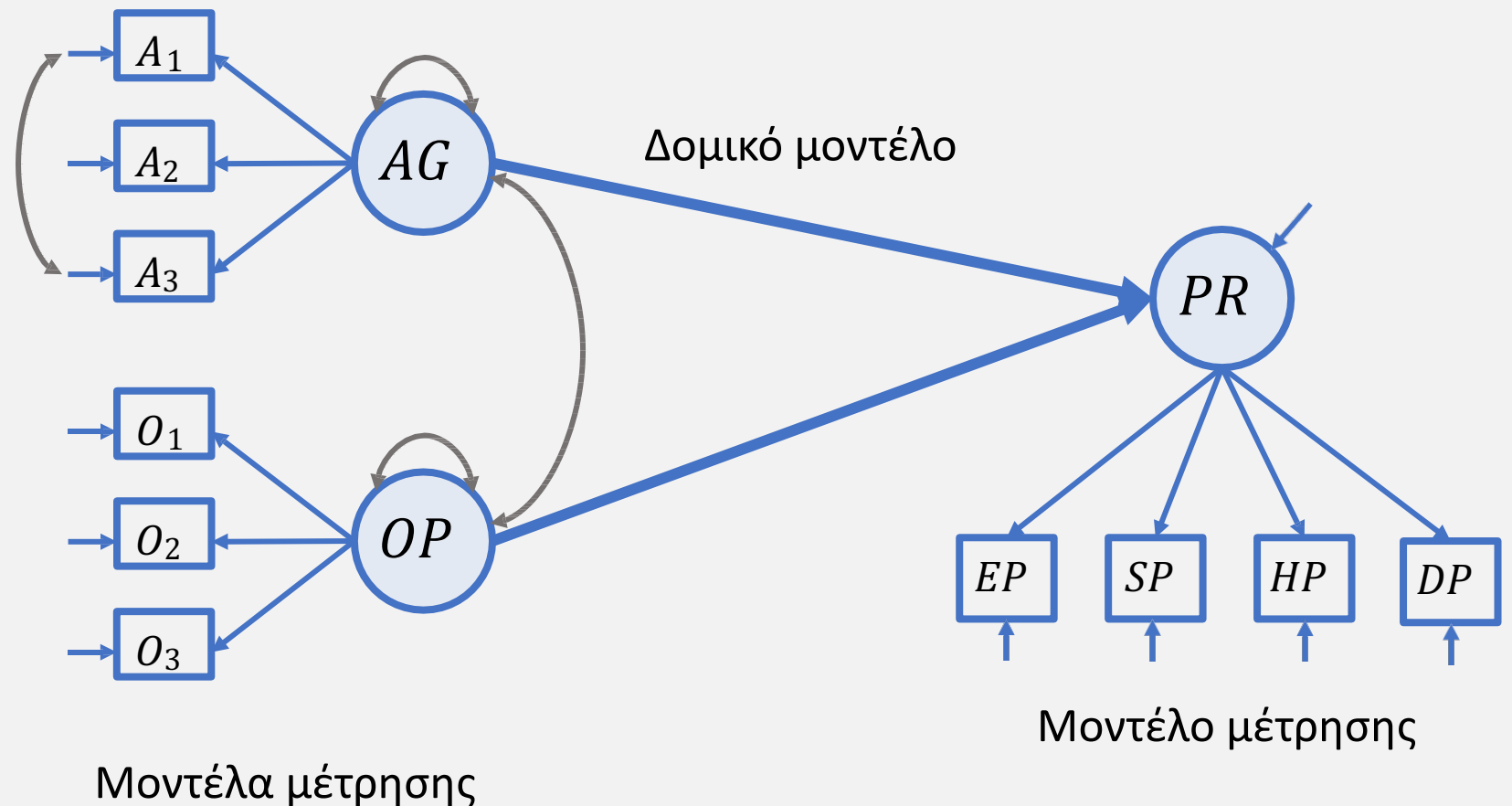
ΑΛΛΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ



MODEL 4

Μοντέλο SEM των
Bergh et al. (2016)

Το μοντέλο αυτό
περιέχει και δομικό
μέρος και μέρος
που αφορά στη
μέτρηση.



MODEL 4

Μοντέλο δομικών εξισώσεων με
τρεις λανθάνουσες μεταβλητές

```
model4 <- '# Measurement models
```

```
  OP =~ O1 + O2 + O3
```

```
  AG =~ A1 + A2 + A3
```

```
  PR =~ EP + SP + HP + DP
```

```
  # Residual covariance
```

```
  A1 ~~ A3
```

```
  # Structural model
```

```
  PR ~ b1*OP + b2*AG'
```

```
model4.fit <- sem(model4, data = Bergh, estimator = "ML")
```

```
summary(model4.fit, standardized = TRUE, fit.measures =  
TRUE, rsquare = TRUE)
```



```
lavaan 0.6-12 ended normally after 55 iterations

Estimator                      ML
Optimization method             NLMINB
Number of model parameters      24

Number of observations          861

Model Test User Model:

Test statistic                   118.256
Degrees of freedom               31
P-value (Chi-square)            0.000

Model Test Baseline Model:

Test statistic                   4270.205
Degrees of freedom               45
P-value                         0.000

User Model versus Baseline Model:

Comparative Fit Index (CFI)     0.979
Tucker-Lewis Index (TLI)       0.970
```

```
Loglikelihood and Information Criteria:

Loglikelihood user model (H0)    -5638.625
Loglikelihood unrestricted model (H1) -5579.497

Akaike (AIC)                    11325.249
Bayesian (BIC)                  11439.444
Sample-size adjusted Bayesian (BIC) 11363.226

Root Mean Square Error of Approximation:

RMSEA                           0.057
90 Percent confidence interval - lower 0.046
90 Percent confidence interval - upper 0.068
P-value RMSEA <= 0.05             0.131

Standardized Root Mean Square Residual:

SRMR                             0.043
```

$\chi^2(31) = 118.256$, CFI = .98, TLI = .97, RMSEA = .057 (.046 - .068), SRMR = .043

Το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στα δεδομένα. Έχουμε ισχυρές ενδείξεις ότι υποστηρίζεται η παραγοντική δομή που υποθέσαμε.

Latent Variables:

	Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
OP =~						
O1	1.000				0.400	0.827
O2	0.934	0.036	26.188	0.000	0.374	0.799
O3	1.149	0.040	28.921	0.000	0.460	0.898
AG =~						
A1	1.000				0.346	0.687
A2	1.361	0.086	15.756	0.000	0.471	0.999
A3	1.036	0.033	31.662	0.000	0.358	0.746
PR =~						
EP	1.000				0.529	0.744
SP	0.887	0.051	17.460	0.000	0.469	0.685
HP	1.031	0.112	9.177	0.000	0.545	0.349
DP	0.750	0.040	18.535	0.000	0.397	0.744

Regressions:

		Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
PR ~							
OP	(b1)	-0.587	0.053	-11.106	0.000	-0.444	-0.444
AG	(b2)	-0.595	0.058	-10.172	0.000	-0.390	-0.390

Covariances:

	Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)	Std.lv	Std.all
.A1 ~~						
.A3	0.066	0.008	8.266	0.000	0.066	0.560
OP ~~						
AG	0.046	0.006	7.516	0.000	0.330	0.330

Όταν δεν ισχύει η προϋπόθεση της Κανονικότητας

- Χρήση μεθόδων εκτίμησης που δεν προϋποθέτουν πολυμεταβλητή κανονικότητα
- Χρήση μεθόδων εκτίμησης για κατηγορικά δεδομένα
- Bootstrapping

Δεδομένα με ελλείπουσες τιμές

- Full-information-maximum-likelihood
- Two-stage
- Multiple imputation

Εξαρτημένες παρατηρήσεις (ιεραρχικά δεδομένα)

- Πολυεπίπεδα (Multilevel) SEM

lavaan:

- `estimator="WLS", "WLSMV"`
- `estimator="MLM", "MLR"`
- `se="bootstrap"; test="bootstrap"`

lavaan:

- `missing="FIML"`
- `missing="two.stage"`
- Συμπλήρωση των ελλειπουσών τιμών με χρήση του πακέτου `mice`
συνάρτηση `runMI` του πακέτου `semTools`

lavaan:

- `cluster="..."` + καθορισμός του μοντέλου ανά επίπεδο
- `lavaan.survey`

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Caspi, A., Houts, R. M., Belsky, D. W., Goldman-Mellor, S. J., Harrington, H., Israel, S., ... & Moffitt, T. E. (2014). The p factor: one general psychopathology factor in the structure of psychiatric disorders?. *Clinical Psychological Science*, 2(2), 119-137.

Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: a Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1-55.

Kline, R.B. (2021). *Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων*. Η. Σαντουρίδης, & Π. Πολυχρονίδου (Επιμ.). Αθήνα: Προπομπός.

Mair, P. (2018). *Modern Psychometrics with R*. Cham: Springer International Publishing.

Rindermann, H., & Neubauer, A. C. (2004). Processing speed, intelligence, creativity, and school performance: Testing of causal hypotheses using structural equation models. *Intelligence*, 32(6), 573-589.

Rosseel, Y. (2012). lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling, *Journal of Statistical Software*, 48(2), 1-36.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Tarka, P. (2018). An overview of structural equation modeling: its beginnings, historical development, usefulness and controversies in the social sciences, *Quality & Quantity*, 52(1), 313–354.

Willis, M., & Jozkowski, K. N. (2022). Sexual consent perceptions of a fictional vignette: A latent growth curve model. *Archives of Sexual Behavior*, 51(2), 797-809.

Zhang, J., Cao, C., Shen, S., & Qian, M. (2019). Examining effects of self-efficacy on research motivation among chinese university teachers: Moderation of leader support and mediation of goal orientations. *The Journal of Psychology*, 153(4), 414-435

Ζαφειρόπουλος, Κ. (2012). *Ποσοτική εμπειρική έρευνα και δημιουργία στατιστικών μοντέλων*. Αθήνα: Κριτική.

Τσιγγίλης, Ν. (2010). Βασικές έννοιες και εφαρμογή της μοντελοποίησης δομικών εξισώσεων. Στο Π. Μεταλλίδου, Π. Ρούσση, Α. Μπρούζος & Α. Ευκλείδη (Επ. Έκδ.), *Επιστημονική Επετηρίδα Ψυχολογικής Εταιρείας Βορείου Ελλάδας*, 8, 37-67.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ.
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ;



Credit: DALL-E



<https://github.com/amarkos/semworkshop>

Πρόσβαση στο υλικό του σεμιναρίου