

**Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης**

**Γεωπονική Σχολή**

**Τομέας Φυτών Μεγάλης Καλλιέργειας και Οικολογίας  
Εργαστήριο Γεωργίας**

**Οδηγός  
Ανάλυσης Παραλλακτικότητας  
Δεδομένων Γεωργικών Πειραμάτων  
με Στατιστικά Πακέτα**

**Γεώργιος Μενεξές**

**Θεσσαλονίκη 2013**

**Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης**

**Γεωπονική Σχολή**

**Τομέας Φυτών Μεγάλης Καλλιέργειας και Οικολογίας  
Εργαστήριο Γεωργίας**

**Οδηγός  
Ανάλυσης Παραλλακτικότητας  
Δεδομένων Γεωργικών Πειραμάτων  
με Στατιστικά Πακέτα**

**Γεώργιος Μενεξές**



**Θεσσαλονίκη 2013**

## Πρόλογος

Ο οδηγός αυτός αποτελεί πρόσθετο βοήθημα για τους προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές της Γεωπονικής Σχολής του ΑΠΘ για τα μαθήματα “Γεωργικός Πειραματισμός” (προπτυχιακό μάθημα) και “Βιομετρία” (μεταπτυχιακό μάθημα). Δεν αποτελεί πλήρες εκπαιδευτικό βοήθημα και ούτε καλύπτει την ύλη των παραπάνω μαθημάτων. Συνεπώς, για να μπορέσει ο αναγνώστης να αξιοποιήσει την πληροφορία που παρέχεται στον οδηγό αυτό θα πρέπει να έχει γνώσεις Στατιστικής και Γεωργικού Πειραματισμού. Επίσης, θα πρέπει να κατέχει βασικές δεξιότητες χρήσης του στατιστικού πακέτου SPSS v.20.0. Έμφαση δίνεται στην κατασκευή του κατάλληλου **πίνακα ανάλυσης παραλλακτικότητας** (ANOVA table), σύμφωνα με τον τύπο του εκάστοτε γεωργικού πειράματος, και στις συγκρίσεις των **παρατηρούμενων** μέσων όρων των επεμβάσεων. Οι στατιστικές αναλύσεις γίνονται με βάση το μεθοδολογικό πλαίσιο των Γενικών Γραμμικών και Γραμμικών Μεικτών Μοντέλων (General Linear Models, Linear Mixed Models) και αφορούν σε **ισορροπημένα** (balanced) πειράματα.

Να σημειωθεί ότι η παρακολούθηση των παραδόσεων και η συστηματική ενασχόληση με τα γνωστικά αντικείμενα των αντίστοιχων μαθημάτων υπό την καθοδήγηση του διδάσκοντα καθηγητή είναι αναγκαία και αναντικατάστατη.

Δρ. Γεώργιος Μενεξές  
Λέκτορας Βιομετρίας και Γεωργικού Πειραματισμού

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2013



## Πίνακας Περιεχομένων

<b>ΕΝΟΤΗΤΑ Α</b> .....	<b>6</b>
ΑΠΛΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΕΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΜΕ ΣΧΟΛΙΑ .....	6
<i>Σύγκριση Μέσων Όρων Δύο Επεμβάσεων</i> .....	7
<i>Σύγκριση Μέσων Όρων Πολλών Επεμβάσεων (Ένας Παράγοντας)</i> .....	15
<i>Σύγκριση Ομάδων Μέσων Όρων (Αντιθέσεις-Contrasts)</i> .....	36
<b>ΕΝΟΤΗΤΑ Β</b> .....	<b>41</b>
ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ (GENERAL LINEAR MODELS-GLM) .....	41
<i>Ταυτότητα Πειραμάτων</i> .....	42
1. Παραγοντικό Πείραμα Split plot (RCBD) .....	42
2. Παραγοντικό Πείραμα Split plot (CRD) .....	42
3. Παραγοντικό Πείραμα Strip plot ή Split block (RCBD) .....	42
4. Παραγοντικό Πείραμα Split-split plot (RCBD) .....	43
5. Παραγοντικό Πείραμα Split plot (a), 3 παράγοντες: 1 main & 2 sub plot .....	43
6. Παραγοντικό Πείραμα Split plot (b), 3 παράγοντες: 2 main & 1 sub plot .....	43
7. Παραγοντικό Πείραμα με 2 παράγοντες (RCBD) .....	44
8. Παραγοντικό Πείραμα με 2 παράγοντες (CRD) .....	44
9. Παραγοντικό Πείραμα με 3 παράγοντες (RCBD) .....	44
1. <i>Παραγοντικό Πείραμα Split plot (RCBD)</i> .....	45
2. <i>Παραγοντικό Πείραμα Split plot (CRD)</i> .....	48
3. <i>Παραγοντικό Πείραμα Strip plot ή Split block (RCBD)</i> .....	51
4. <i>Παραγοντικό Πείραμα Split-split plot (RCBD)</i> .....	54
5. <i>Παραγοντικό Πείραμα Split plot (a), 3 factors: 1 main &amp; 2 sub plot</i> .....	57
6. <i>Παραγοντικό Πείραμα Split plot (b), 3 factors: 2 main &amp; 1 sub plot</i> .....	59
7. <i>Παραγοντικό Πείραμα με 2 παράγοντες (RCBD)</i> .....	61
8. <i>Παραγοντικό Πείραμα με 2 παράγοντες (CRD)</i> .....	63
9. <i>Παραγοντικό Πείραμα με 3 παράγοντες (RCBD)</i> .....	65
<b>ΕΝΟΤΗΤΑ Γ</b> .....	<b>67</b>
ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΚΑΙ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ (GENERAL LINEAR MODELS-GLM) .....	67
<i>Πειράματα Δικτυωμένα στο Χώρο και στο Χρόνο: Ταυτότητα Πειραμάτων</i> .....	68
<i>Περιγραφή Μεθοδολογίας</i> .....	69
1. <i>One Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations (or Combined over Years)</i> .....	73
2. <i>One Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, with new Locations each Year</i> .....	73
3. <i>Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, with the same Locations each Year but Randomized</i> .....	74
4. <i>Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, same Locations and Randomization each Year (Perennial Crops)</i> .....	74
5. <i>Two Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations (or Combined over Years)</i> .....	74
6. <i>Two Factor Randomized Complete Block Design with Split Plot Combined over Locations</i> .....	75
7. <i>Two Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, same Location but Randomized each Year</i> .....	75
8. <i>Two Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, same Location and Randomization each Year</i> .....	75
9. <i>Two Factor Randomized Complete Block Design with Split, Combined over Locations and Years, same Location but Randomized each Year</i> .....	76
10. <i>Two Factor Randomized Complete Block Design with Split, Combined over Locations and Years, same Location and Randomization each Year</i> .....	76
11. <i>Two Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, with new Locations each Year</i> .....	76
12. <i>Two Factor Randomized Complete Block Design with Split Combined over Locations and Years, with new Locations each Year</i> .....	77

<i>Γενικές Παρατηρήσεις</i> .....	78
<b>ΕΝΟΤΗΤΑ Δ</b> .....	<b>81</b>
ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕΣΩΝ ΌΡΩΝ ΣΕ ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ (LINEAR MIXED EFFECTS MODELS-LMEM) .....	81
1. Συγκρίσεις Μέσων Όρων μέσω της Διαδικασίας <i>Linear Mixed Effects Models</i> .....	82
2. Γενικός Τρόπος Συγκρίσεων Μέσων Όρων ( <i>Post hoc και a priori Contrasts</i> ) .....	91
<b>ΕΝΟΤΗΤΑ Ε</b> .....	<b>95</b>
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΩΔΙΚΑ ΤΟΥ SPSS ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ .....	95
<i>Three Factor RCBD with Treatments arranged in Strips</i> .....	96
<i>Four Factor RCBD with factors B, C, and D as Split plots on Factor A</i> .....	96
<i>Four Factor RCBD with factor B as a Split plot on Factor A and Factors C and D as Split plots on Factor B</i> .....	96
<i>Four Factor RCBD</i> .....	97
<i>Four Factor CRD</i> .....	97
<i>Multiple Latin Squares</i> .....	97
<b>ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΤ</b> .....	<b>98</b>
ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (REPEATED MEASURES EXPERIMENTS) .....	98
<i>Ανάλυση Παραλλακτικότητας Παραγοντικών Πειραμάτων με Επαναλαμβανόμενες Μετρήσεις</i> .....	99
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: COVARIANCE STRUCTURES</b> .....	<b>113</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΑΝΤΙΘΕΣΕΙΣ (CONTRASTS)</b> .....	<b>117</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΟΥΣ ΕΛΕΓΧΟΥΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ <math>H_0</math></b> .....	<b>118</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ <math>Q</math> (TUKEY'S HSD)</b> .....	<b>121</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>145</b>

# Ενότητα Α

## Απλά παραδείγματα συγκρίσεων επεμβάσεων με σχόλια



## Σύγκριση Μέσων Όρων Δύο Επεμβάσεων

**Ανεξάρτητη μεταβλητή:** Treatment, με δύο επίπεδα (1, 2), π.χ. 2 ποικιλίες

**Εξαρτημένες Μεταβλητές:** y1 και y2

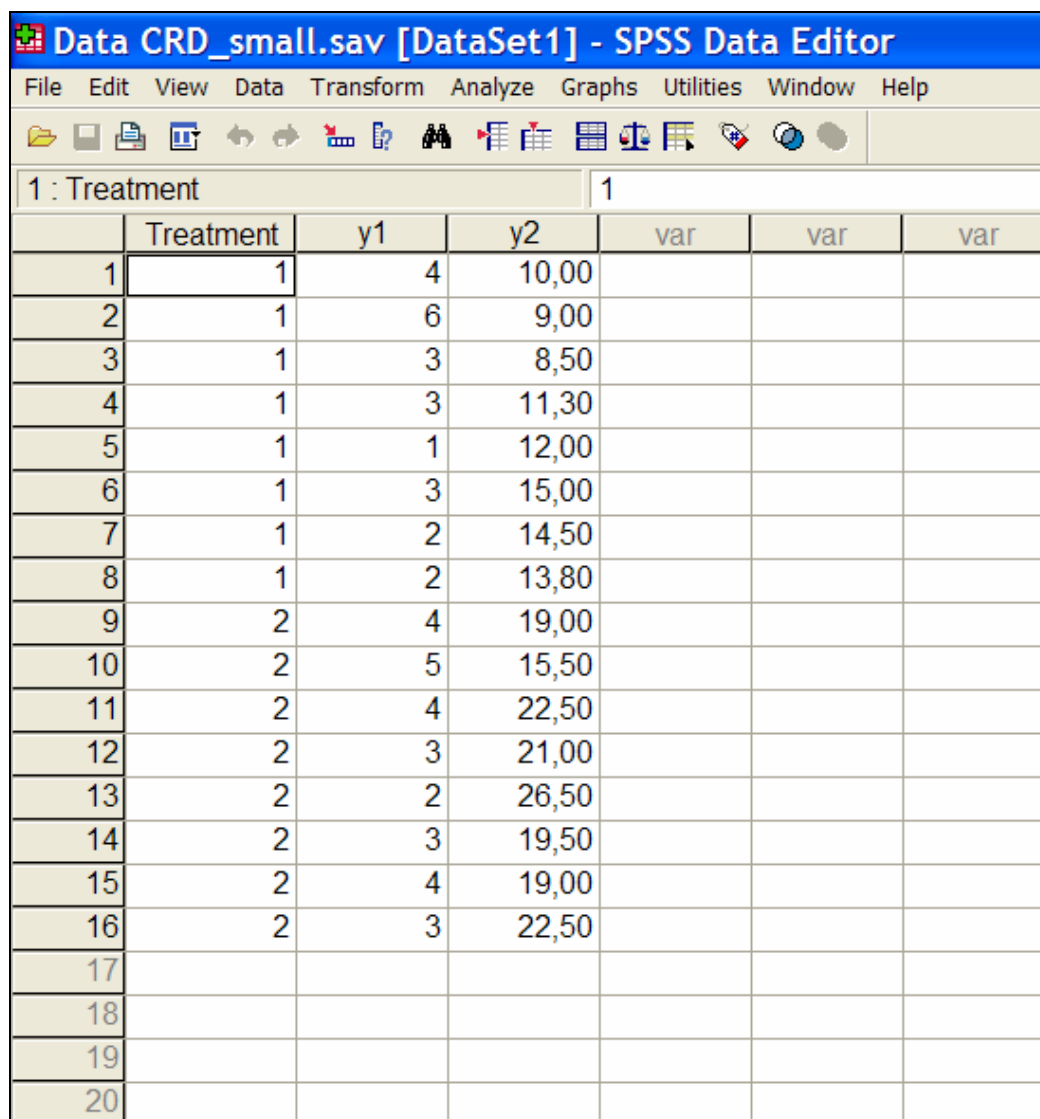
**Πειραματικό Σχέδιο:** CRD, ισορροπημένο με 8 επαναλήψεις ανά επέμβαση.

**Στατιστικός έλεγχος:** t-test (για ανεξάρτητα δείγματα)

**Επίπεδο σημαντικότητας του ελέγχου:** προκαθορίστηκε σε  $\alpha=0,05$ .

### Βήμα 1. Εισαγωγή Δεδομένων

Στο παράθυρο **SPSS Data Editor** εισάγουμε τα δεδομένα όπως στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα A1).



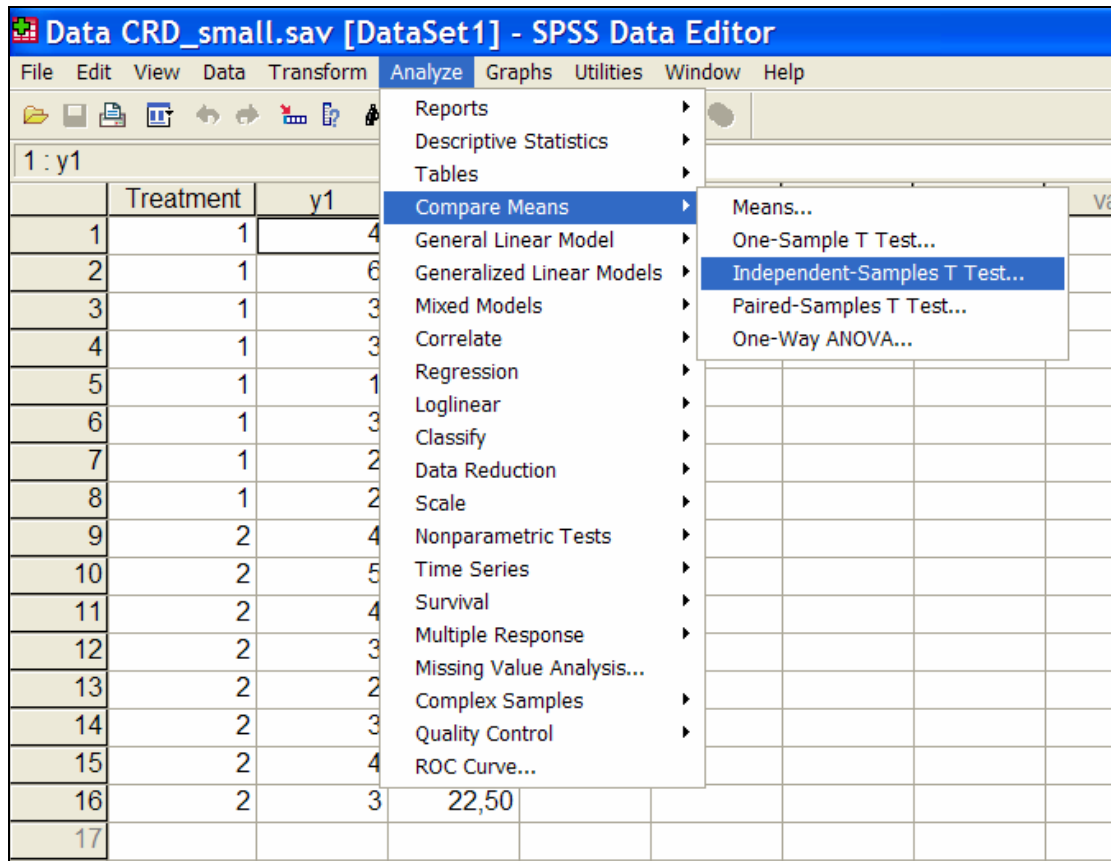
1 : Treatment		1				
	Treatment	y1	y2	var	var	var
1	1	4	10,00			
2	1	6	9,00			
3	1	3	8,50			
4	1	3	11,30			
5	1	1	12,00			
6	1	3	15,00			
7	1	2	14,50			
8	1	2	13,80			
9	2	4	19,00			
10	2	5	15,50			
11	2	4	22,50			
12	2	3	21,00			
13	2	2	26,50			
14	2	3	19,50			
15	2	4	19,00			
16	2	3	22,50			
17						
18						
19						
20						

Εικόνα A1: Εισαγωγή δεδομένων στο SPSS-Το παράθυρο του **SPSS Data Editor**

### Βήμα 2. Διαδικασίες, Εντολές και Ρυθμίσεις

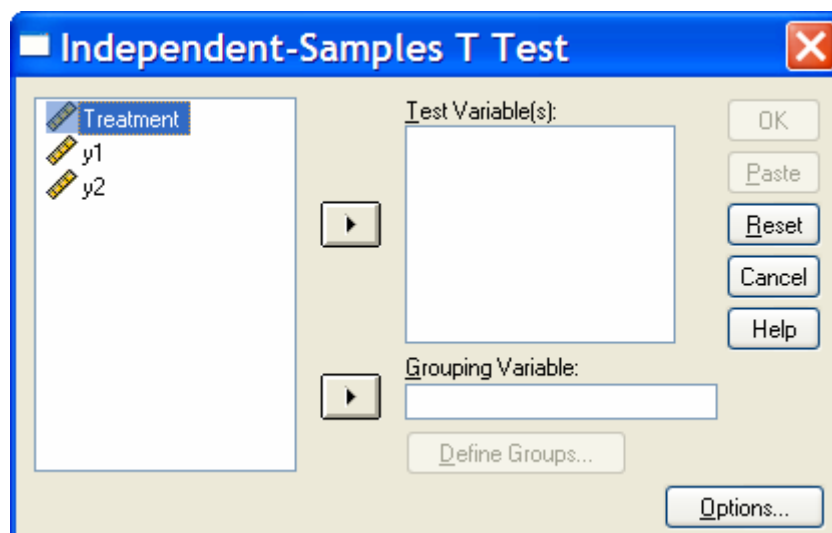
Πραγματοποιούμε τις παρακάτω ενέργειες (βλέπε και Εικόνα A2).

Analyze → Compare Means → Independent-Samples T test



Εικόνα A2: Επιλογή Στατιστικής Διαδικασίας Independent-Samples T Test

Εμφανίζεται το πλαίσιο διαλόγου Independent-Samples T Test (Εικόνα A3).



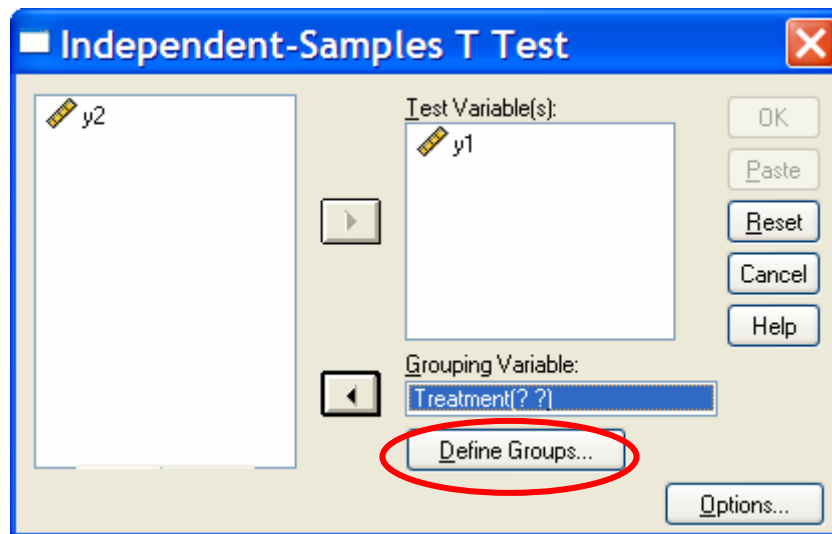
Εικόνα A3: Το πλαίσιο διαλόγου Independent-Samples T Test

Έστω ότι θέλουμε να συγκρίνουμε τους μέσους όρους των δύο επεμβάσεων (treatments) ως προς τη μεταβλητή y1.

Στο πεδίο **Test Variable(s)** εισάγουμε τη μεταβλητή y1 (Εικόνα A4).



Στο πεδίο **Grouping Variable** εισάγουμε τη μεταβλητή Treatment (Εικόνα A4).

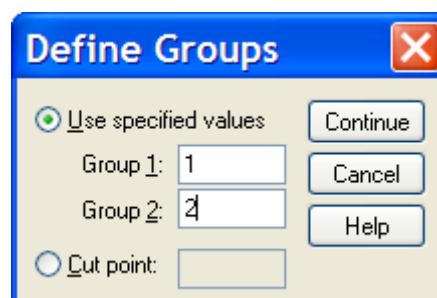


**Εικόνα A4:** Ρυθμίσεις στο πλαίσιο διαλόγου **Independent-Samples T Test**

Πατάμε στο πλήκτρο **Define Groups**. Εμφανίζεται το πλαίσιο διαλόγου **Define Groups** (Εικόνα A5). Στη συνέχεια θα πρέπει να καθορίζουμε τις δύο επεμβάσεις που θέλουμε να συγκρίνουμε. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα υπάρχουν μόνο δύο επεμβάσεις με τιμές-κωδικούς 1 και 2 (Εικόνα A6).



**Εικόνα A5:** Το πλαίσιο διαλόγου **Define Groups**



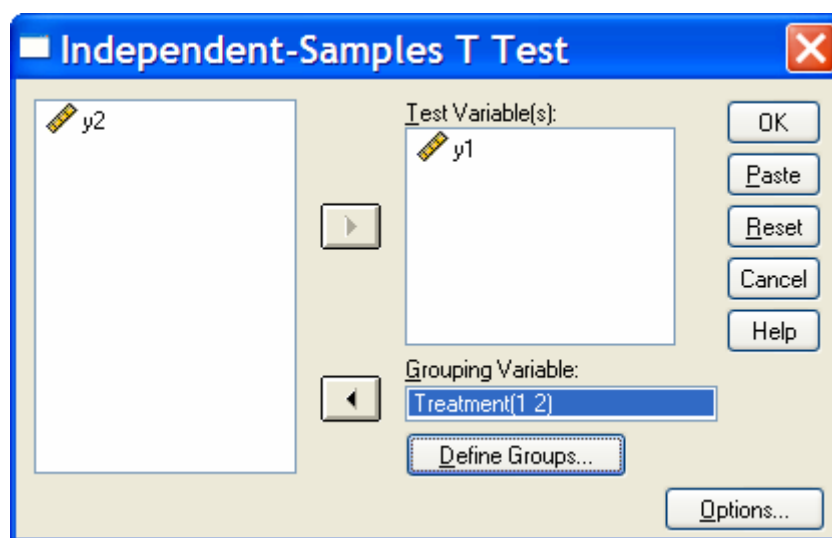
**Εικόνα A6:** Καθορισμός των επεμβάσεων

Πατάμε στο πλήκτρο **Continue**. Εμφανίζεται ξανά το πλαίσιο διαλόγου **Independent-Samples T Test** (Εικόνα A8).

(\*). Σε άλλη περίπτωση όπου οι επεμβάσεις είναι περισσότερες από δύο, για παράδειγμα 5, θα μπορούσαμε να καθορίσουμε για σύγκριση μόνο τις επεμβάσεις 1 και 4 (Εικόνα A7).



Εικόνα A7: Καθορισμός των επεμβάσεων



Εικόνα A8: Το πλαίσιο διαλόγου Independent-Samples T Test

Πατάμε στο πλήκτρο **OK**.

### Βήμα 3. Έξοδος Αποτελεσμάτων και Σχολιασμός

Στο παράθυρο αποτελεσμάτων του SPSS (**SPSS Viewer**) εμφανίζονται τα παρακάτω αποτελέσματα:

Group Statistics					
	Treatment	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
y1	1	8	3,00	1,512	,535
	2	8	3,50	,926	,327

		Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
y1	Equal variances assumed	,368	,554	-,798	14	,438	-,500	,627	-1,844	,844
	Equal variances not assumed			-,798	11,603	,441	-,500	,627	-1,871	,871

Στον πίνακα με τίτλο **Group Statistics** παρουσιάζονται για κάθε επέμβαση το πλήθος των επαναλήψεων-μετρήσεων (N), ο μέσος όρος (Mean), η τυπική απόκλιση (Std. Deviation) και το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης του μέσου όρου (Std. Error Mean). Στον πίνακα με τίτλο **Independent Samples Test** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του t-test. Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου ομοιογένειας των παραλλακτικότητας-διακυμάνσεων (Levene's test) των δύο επεμβάσεων ως προς τη μεταβλητή y1 (**Levene's Test for Equality of Variances**). Αν η τιμή της παρατηρούμενης στάθμης σημαντικότητας του ελέγχου  $F$  (δηλαδή η  $p$ -value, η οποία εμφανίζεται στη στήλη με την επικεφαλίδα Sig.) είναι μεγαλύτερη από 0,05 τότε το συμπέρασμα είναι ότι οι δύο παραλλακτικότητες **δεν** διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  και συνεπώς η υπόθεση της ομοιογένειας των παραλλακτικότητας **δεν** μπορεί να απορριφθεί. Αν όμως  $p \leq 0,05$  τότε η υπόθεση της ομοιογένειας απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ . Στην πρώτη περίπτωση ( $p > 0,05$ ) θα πρέπει να καταλήξουμε σε συμπέρασμα, σχετικά με τη στατιστική σημαντικότητα της διαφοράς των δύο μέσων όρων, με βάση τα αποτελέσματα του t-test που εμφανίζονται στη γραμμή με τίτλο **Equal variances assumed**. Στη δεύτερη περίπτωση ( $p \leq 0,05$ ) θα πρέπει να καταλήξουμε σε συμπέρασμα, σχετικά με τη στατιστική σημαντικότητα της διαφοράς των δύο μέσων όρων, με βάση τα αποτελέσματα του t-test που εμφανίζονται στη γραμμή με τίτλο **Equal variances not assumed**. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η τιμή  $p$  του ελέγχου  $F$  (ομοιογένειας των παραλλακτικότητας) είναι  $0,554 > 0,05$  και επομένως οι δύο παραλλακτικότητες **δεν** διαφέρουν στατιστικά σημαντικά (σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ). Στη συνέχεια θα πρέπει να εξετάσουμε τα αποτελέσματα του t-test που εμφανίζονται στη γραμμή με τίτλο **Equal variances assumed**. Στη γραμμή αυτή παρουσιάζεται η τιμή του στατιστικού  $t$ , οι βαθμοί ελευθερίας (df), η αντίστοιχη τιμή της παρατηρούμενης στάθμης σημαντικότητας  $p$  του για δίπλευρο έλεγχο (Sig. (2-tailed)), η διαφορά των δύο μέσων όρων (Mean Difference), το τυπικό σφάλμα της διαφοράς (Std. Error Difference), το κάτω όριο (Lower) και το άνω όριο (Upper) ενός 95% διαστήματος εμπιστοσύνης για τη διαφορά των δύο μέσων όρων (95% Confidence Interval of the Difference). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η τιμή  $p$  του t-test είναι  $0,438 > 0,05$  και συνεπώς οι δύο μέσοι όροι που αντιστοιχούν στις δύο επεμβάσεις **δεν** διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ . Αν η τιμή  $p$  ήταν μικρότερη ή ίση από 0,05 το συμπέρασμα θα ήταν ότι οι δύο μέσοι όροι διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ . Το ότι οι δύο μέσοι όροι **δεν** διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ( $p=0,438$ ) μπορεί να διαπιστωθεί και από την εξέταση του 95% διαστήματος εμπιστοσύνης για τη διαφορά των δύο μέσων όρων. Το συγκεκριμένο διάστημα εμπιστοσύνης (-1,844, 0,844) περιέχει την τιμή μηδέν (0) και επομένως η διαφορά των δύο μέσων όρων δεν διαφοροποιείται στατιστικά σημαντικά, σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ , από το μηδέν. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει ότι οι δύο μέσοι όροι **δεν** διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ .

**Υπενθύμιση:** Τα αποτελέσματα του t-test και του F-test είναι έγκυρα όταν α) τα δείγματα μέσα σε κάθε επέμβαση είναι τυχαία<sup>1</sup>, β) οι μετρήσεις-παρατηρήσεις είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους και γ) η μεταβλητή y1 ακολουθεί **μέσα σε κάθε επέμβαση** την Κανονική Κατανομή (Normal Distribution).

## Παρατηρήσεις

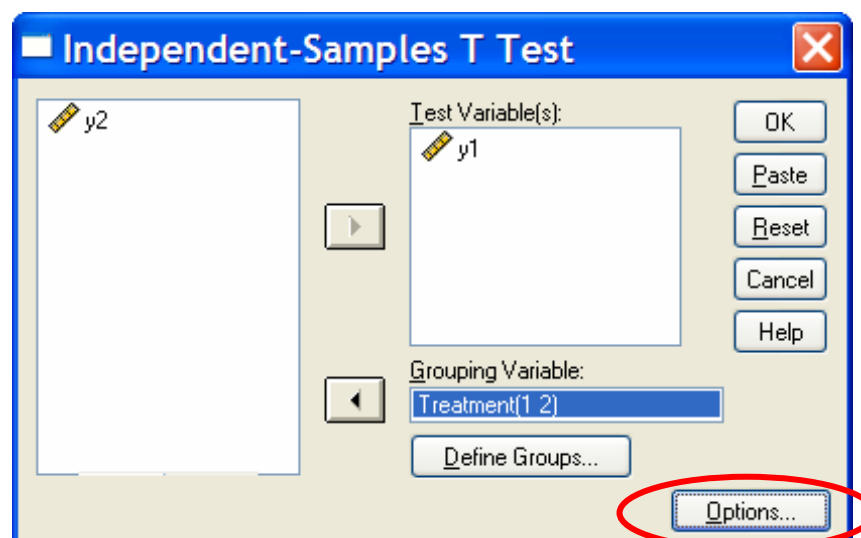
A) Στην περίπτωση που το επίπεδο σημαντικότητας του ελέγχου t είχε προκαθοριστεί σε  $\alpha=0,10$  τότε έχει νόημα ο υπολογισμός ενός 90% διαστήματος εμπιστοσύνης για τη διαφορά των δύο μέσων όρων.

Διαδικασία:

Πραγματοποιούμε τις παρακάτω ενέργειες.

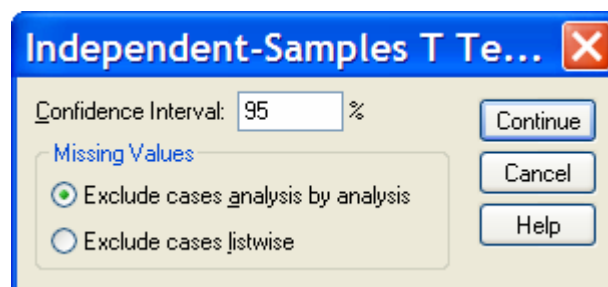
**Analyze** → **Compare Means** → **Independent-Samples T test**

Στο πλαίσιο διαλόγου **Independent-Samples T Test** πατάμε στο πλήκτρο **Options** (Εικόνα A9).



**Εικόνα A9:** Το πλαίσιο διαλόγου **Independent-Samples T Test**

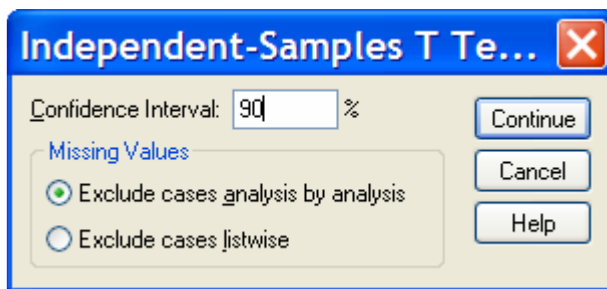
Εμφανίζεται το παρακάτω πλαίσιο διαλόγου (Εικόνα A10).



**Εικόνα A10:** Το πλαίσιο διαλόγου **Options**

<sup>1</sup> Όπως η έννοια του “τυχαίου” ορίζεται στο πλαίσιο της Θεωρίας Πιθανοτήτων και της Στατιστικής.

Στο πεδίο **Confidence Interval** Διαγράφουμε την τιμή 95 και εισάγουμε την τιμή 90 (Εικόνα A11).



**Εικόνα A11:** Αλλαγή του επιπέδου σημαντικότητας του διαστήματος εμπιστοσύνης

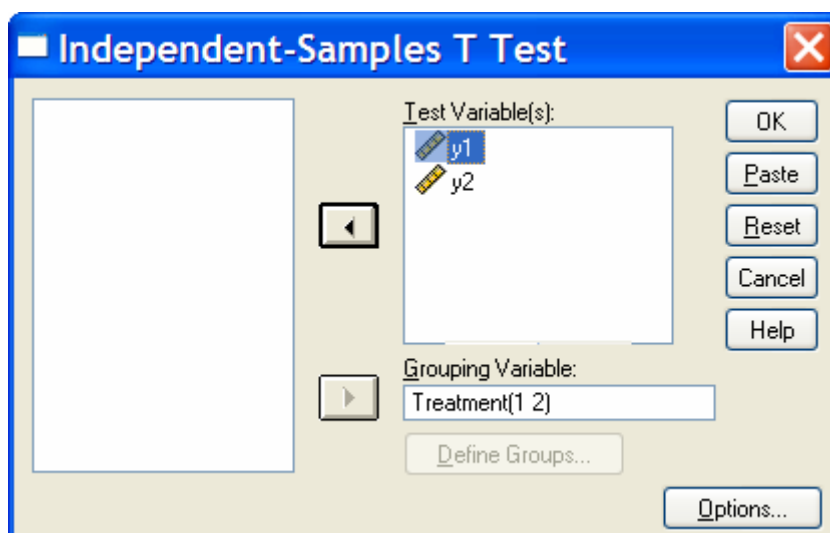
### Αποτελέσματα

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	90% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
y1	Equal variances assumed	,368	,554	-,798	14	,438	-,500	,627	-1,604	,604
	Equal variances not assumed			-,798	11,603	,441	-,500	,627	-1,620	,620

**B)** Στην περίπτωση που θέλουμε να εφαρμόσουμε το t-test ταυτόχρονα και για τις δύο εξαρτημένες μεταβλητές y1 και y2 ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία:

**Analyze → Compare Means → Independent-Samples T test**

Εμφανίζεται το πλαίσιο διαλόγου **Independent-Samples T test** (Εικόνα A12).



**Εικόνα A12:** Το πλαίσιο διαλόγου **Independent-Samples T test**

Στο πεδίο **Test Variable(s)** εισάγουμε και τις δύο εξαρτημένες μεταβλητές y1 και y2. Στο παράθυρο αποτελεσμάτων θα εμφανιστούν τα αποτελέσματα και για τις δύο εξαρτημένες μεταβλητές.

## Αποτελέσματα

### Group Statistics

	Treatment	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
y1	1	8	3,00	1,512	,535
	2	8	3,50	,926	,327
y2	1	8	11,7625	2,50082	,88417
	2	8	20,6875	3,26165	1,15317

### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
y1	Equal variances assumed	,368	,554	-,798	14	,438	-,500	,627	-1,844	,844
	Equal variances not assumed			-,798	11,603	,441	-,500	,627	-1,871	,871
y2	Equal variances assumed	,215	,650	-6,142	14	,000	-8,92500	1,45312	-12,04164	-5,80836
	Equal variances not assumed			-6,142	13,116	,000	-8,92500	1,45312	-12,06145	-5,78855

Για τη μεταβλητή y2 εξετάζουμε τη γραμμή με τίτλο **Equal variances assumed** (γιατί;) και διαπιστώνουμε ότι η τιμή  $p$  του ελέγχου  $t$  είναι  $<0,001$  (στον πίνακα εμφανίζεται η τιμή 0,000) και συνεπώς οι μέσοι όροι της μεταβλητής y2 που αντιστοιχούν στις δύο επεμβάσεις διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ . Οι δύο μέσοι όροι διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ακόμη και στην περίπτωση που το επίπεδο σημαντικότητας είχε προκαθοριστεί σε  $\alpha=0,01$  ή  $\alpha=0,001$ .

Γ) Αν θέλουμε να πραγματοποιήσουμε μονόπλευρο έλεγχο (one-tailed t-test), τότε για να υπολογίσουμε την παρατηρούμενη στάθμη σημαντικότητας του μονόπλευρου ελέγχου διαιρούμε την τιμή  $p$  του δίπλευρου ελέγχου  $t$  δια 2. Έστω ότι στο συγκεκριμένο παράδειγμα η εναλλακτική υπόθεση του ελέγχου έχει συγκεκριμένη κατεύθυνση και πρέπει να ελεγχθεί η μηδενική υπόθεση με μονόπλευρο έλεγχο, τότε η παρατηρούμενη στάθμη σημαντικότητας του (μονόπλευρου) ελέγχου είναι  $(0,438/2)=0,219$ .

**Παρατήρηση:** Οι μονόπλευροι έλεγχοι χρησιμοποιούνται μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις.

### Σημειώσεις αναγνώστη:

## Σύγκριση Μέσων Όρων Πολλών Επεμβάσεων (Ένας Παράγοντας)

**Ανεξάρτητη μεταβλητή (Παράγοντας):** Treatment, με 4 επίπεδα (1, 2, 3, 4), π.χ. 4 λιπάσματα

**Εξαρτημένη Μεταβλητή:** y (π.χ. απόδοση)

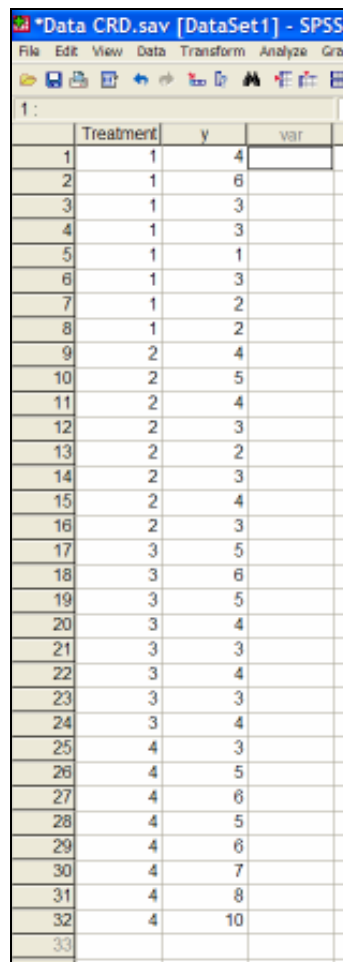
**Πειραματικό Σχέδιο:** CRD, ισορροπημένο με 8 επαναλήψεις ανά επέμβαση.

**Στατιστική διαδικασία:** One-way ANOVA (Ανάλυση Παραλλακτικότητας με Ένα Παράγοντα)

**Επίπεδο σημαντικότητας όλων των ελέγχων:** προκαθορίστηκε σε  $\alpha=0,05$ .

### Βήμα 1. Εισαγωγή Δεδομένων

Εισάγουμε τα δεδομένα όπως στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα B1).



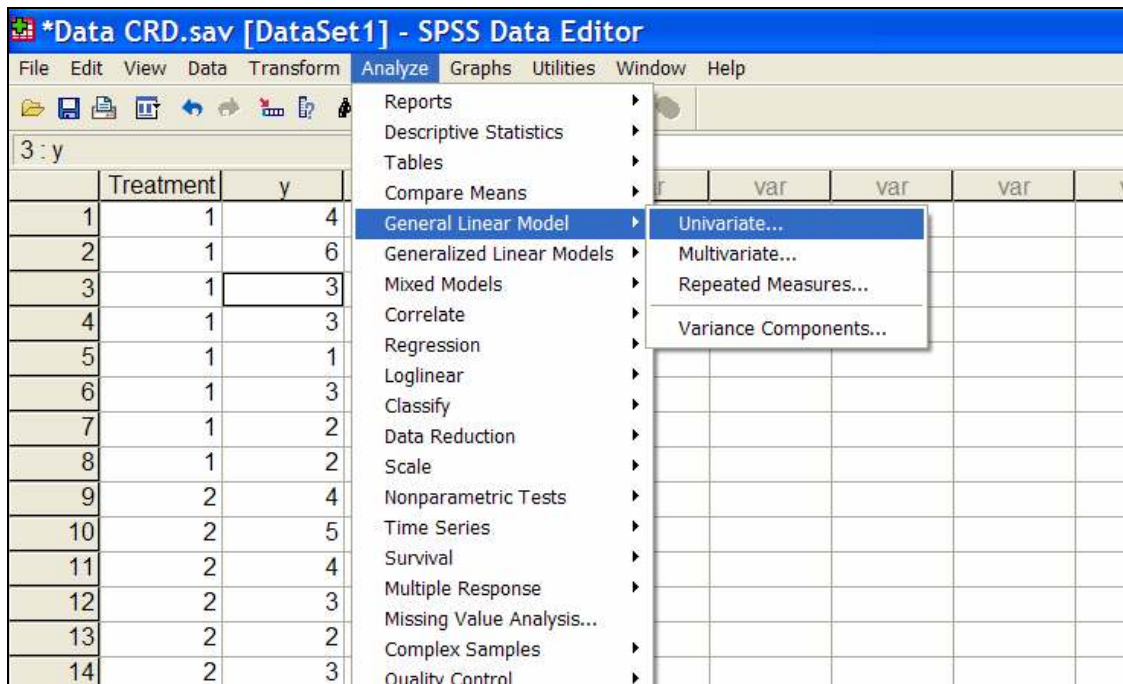
	Treatment	y	var
1	1	4	
2	1	6	
3	1	3	
4	1	3	
5	1	1	
6	1	3	
7	1	2	
8	1	2	
9	2	4	
10	2	5	
11	2	4	
12	2	3	
13	2	2	
14	2	3	
15	2	4	
16	2	3	
17	3	5	
18	3	6	
19	3	5	
20	3	4	
21	3	3	
22	3	4	
23	3	3	
24	3	4	
25	4	3	
26	4	5	
27	4	6	
28	4	5	
29	4	6	
30	4	7	
31	4	8	
32	4	10	
33			

**Εικόνα B1:** Εισαγωγή δεδομένων στο SPSS. Το παράθυρο του SPSS Data Editor.

### Βήμα 2. Διαδικασίες, Εντολές και Ρυθμίσεις

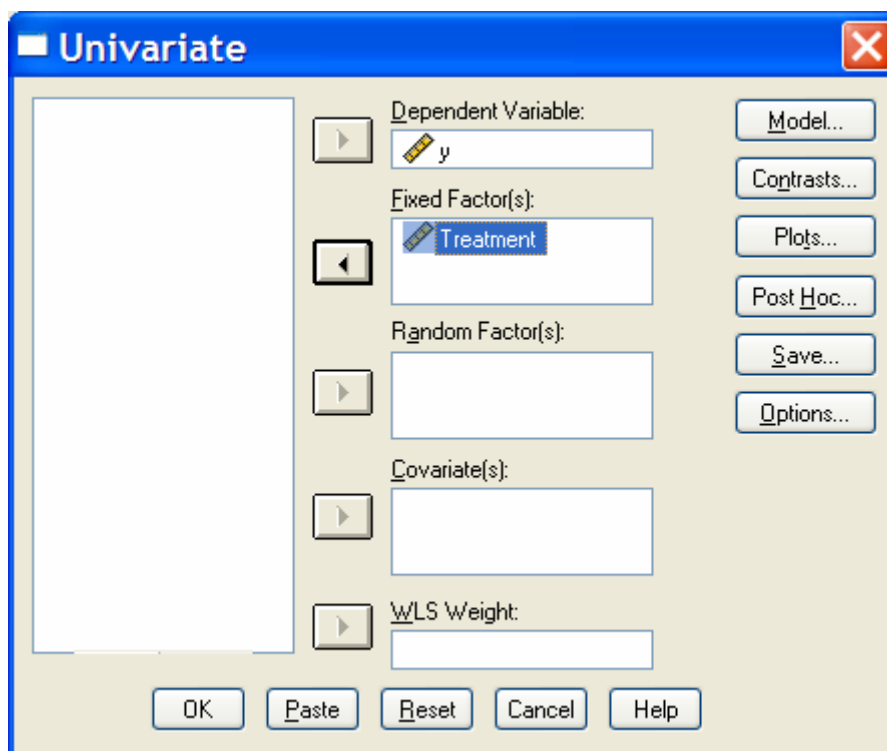
Πραγματοποιούμε τις παρακάτω ενέργειες (βλέπε και Εικόνα B2).

**Analyze**→ **General Linear Model** →**Univariate**



Εικόνα B2: Επιλογή Στατιστικής Διαδικασίας **General Linear Model: Univariate**

Εμφανίζεται το πλαίσιο διαλόγου **Univariate** (Εικόνα B3).



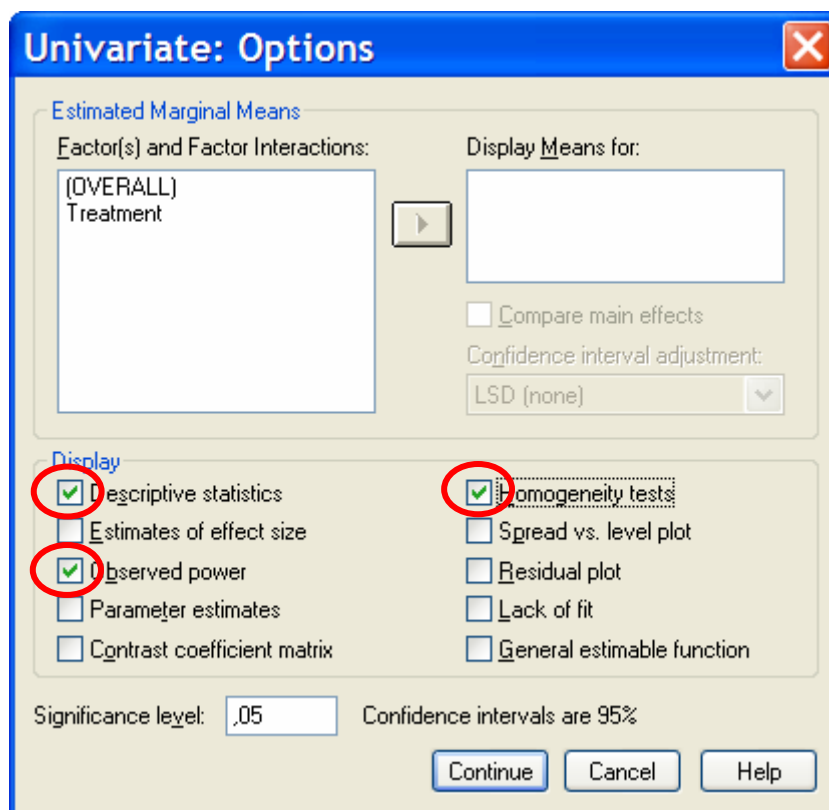
Εικόνα B3: το πλαίσιο διαλόγου **Univariate**

Στο πεδίο **Dependent Variable** εισάγουμε την εξαρτημένη μεταβλητή  $y$  και στο πεδίο **Fixed Factors(s)** τη μεταβλητή *Treatment*. Στο παράδειγμα αυτό θεωρούμε ότι τα επίπεδα του παράγοντα “Λίπασμα” (δηλαδή οι 4 επεμβάσεις) έχουν “λελογισμένα” προκαθοριστεί ή επιλεγεί. Πρόκειται δηλαδή να αναλύσουμε τα δεδομένα με βάση το μαθηματικό πρότυπο των “καθορισμένων επιδράσεων” (fixed effects model). Αν οι 4



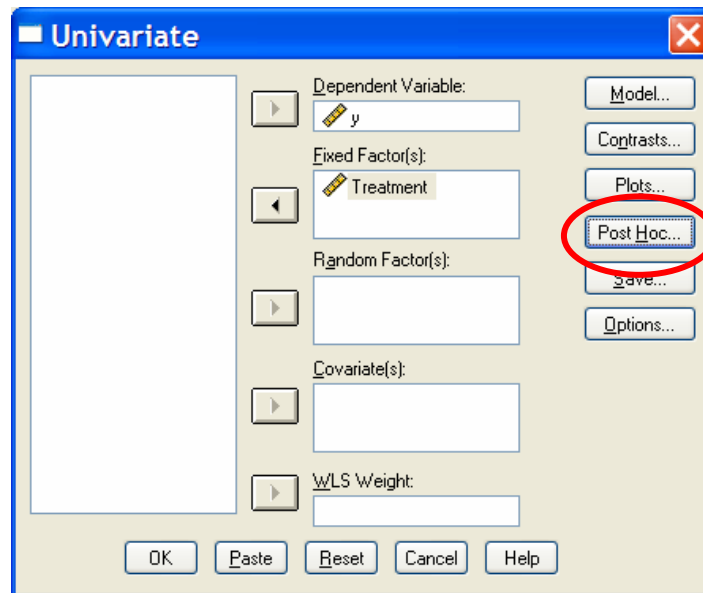
επεμβάσεις είχαν επιλεγεί με τυχαία δειγματοληψία από ένα μεγαλύτερο σύνολο (ή πληθυσμό) επεμβάσεων, τότε τα δεδομένα θα έπρεπε να αναλυθούν με βάση το μαθηματικό πρότυπο των “τυχαίων επιδράσεων” (random effects model). Στην περίπτωση αυτή θα έπρεπε να εισάγουμε τη μεταβλητή Treatment στο πεδίο **Random Factor(s)**. Θα παίρναμε τα ίδια αποτελέσματα από την ANOVA, αλλά δεν θα είχε νόημα να συγκρίνουμε τους μέσους όρους. Στην περίπτωση αυτή το ενδιαφέρον μας θα έπρεπε να εστιαστεί στον έλεγχο σχετικά με το αν η παραλλακτικότητα μεταξύ των επεμβάσεων διαφέρει στατιστικά σημαντικά από το μηδέν.

Στη συνέχεια πατάμε στο πλήκτρο **Options** και στην περιοχή **Display** εφαρμόζουμε τις ρυθμίσεις που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα B3).



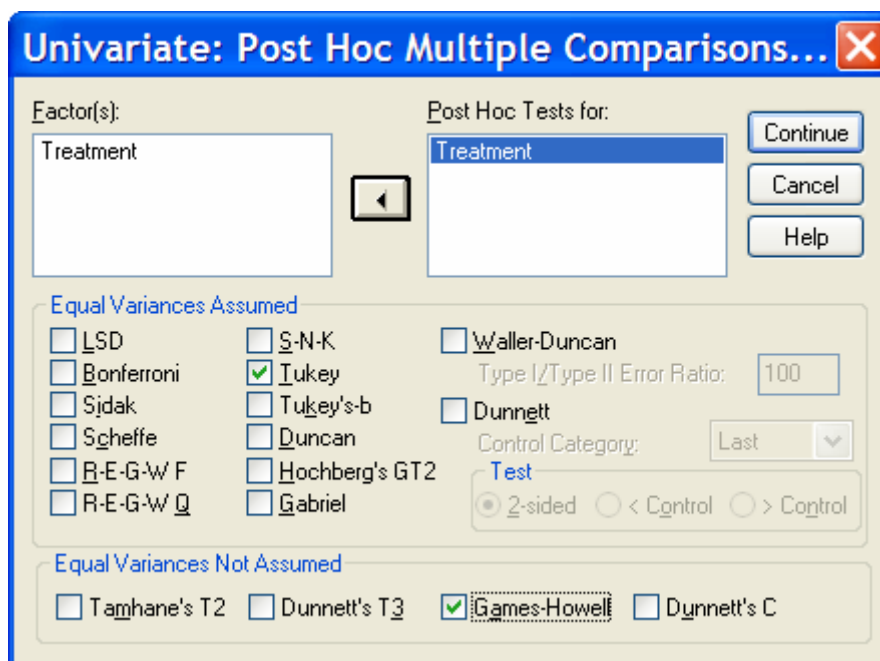
**Εικόνα B3:** Το πλαίσιο διαλόγου **Options**.

Πατάμε στο πλήκτρο **Continue**. Εμφανίζεται ξανά το πλαίσιο διαλόγου **Univariate** (Εικόνα B4).



**Εικόνα Β4:** Το πλαίσιο διαλόγου Univariate

Πατάμε στο πλήκτρο **Post Hoc**. Εμφανίζεται το πλαίσιο διαλόγου **Post Hoc Multiple Comparisons** (Εικόνα Β5).

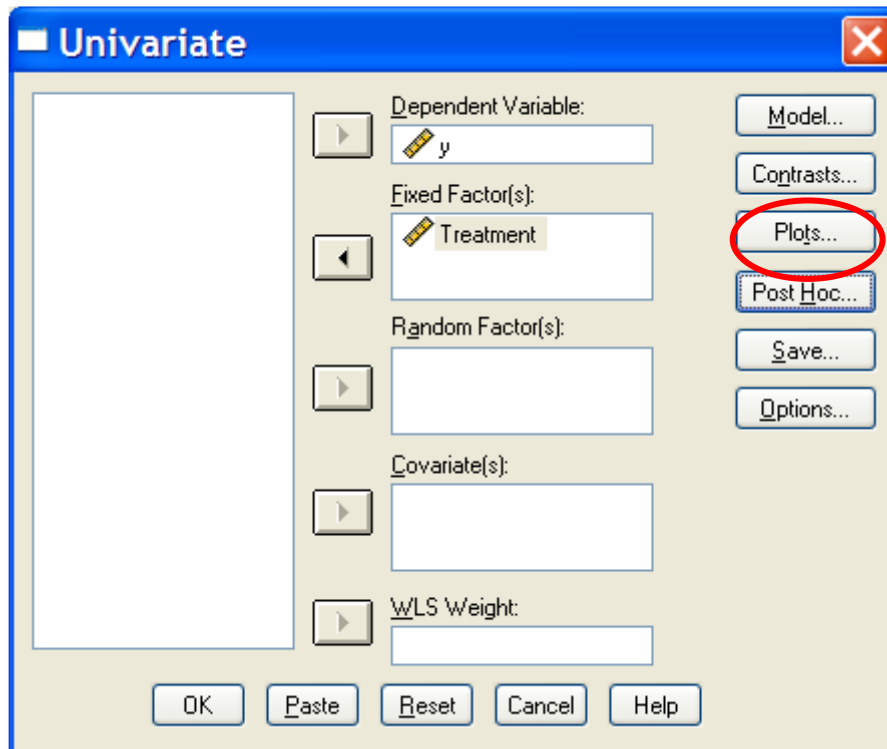


**Εικόνα Β5:** Το πλαίσιο διαλόγου Post Hoc Multiple Comparisons

Εισάγουμε τη μεταβλητή Treatment στο πεδίο **Post Hoc Tests for**. Επιλέγουμε τη μέθοδο πολλαπλών συγκρίσεων που θεωρούμε ως την πιο κατάλληλη για την περίπτωση που εξετάζουμε. Στην περιοχή **Equal Variances Assumed** περιλαμβάνονται στατιστικοί έλεγχοι-διαδικασίες που είναι κατάλληλοι όταν ισχύει η ομοιογένεια των παραλλακτικότητας μεταξύ των επεμβάσεων που θέλουμε να συγκρίνουμε. Στην περιοχή **Equal Variances Not Assumed** περιλαμβάνονται στατιστικοί έλεγχοι-διαδικασίες που είναι κατάλληλοι όταν **δεν** ισχύει η ομοιογένεια των παραλλακτικότητας μεταξύ των επεμβάσεων που θέλουμε να συγκρίνουμε. Προσοχή,

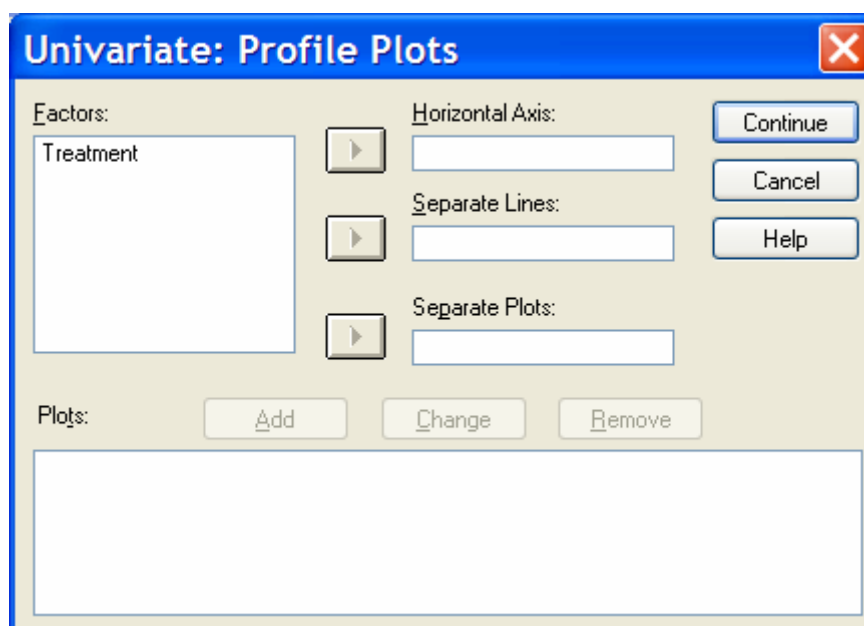
στο σημείο αυτό δεν γνωρίζουμε ακόμη αν ισχύει η ομοιογένεια των παραλλακτικότητων.

Πατάμε στο πλήκτρο **Continue**. Εμφανίζεται ξανά το πλαίσιο διαλόγου **Univariate** (Εικόνα B6).



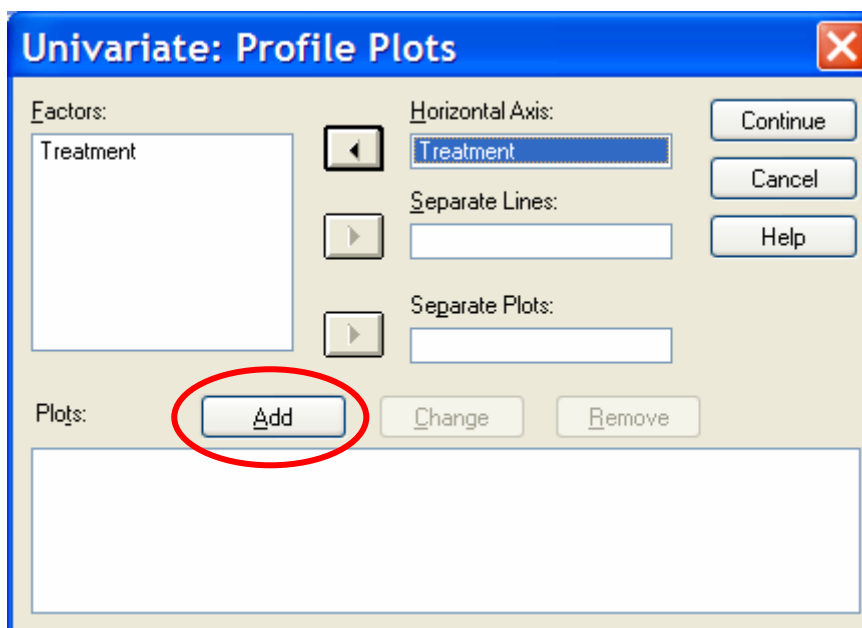
**Εικόνα B6:** Το πλαίσιο διαλόγου **Univariate**

Πατάμε στο πλήκτρο **Plots**. Εμφανίζεται το παρακάτω πλαίσιο διαλόγου (Εικόνα B7).

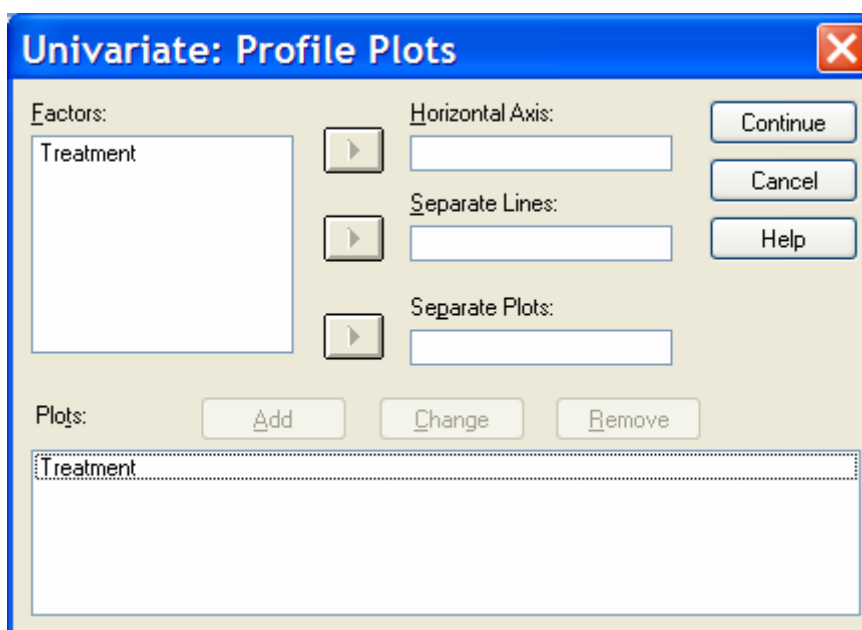


**Εικόνα B7:** Το πλαίσιο διαλόγου **Plots**

Εισάγουμε τη μεταβλητή Treatment στο πεδίο **Horizontal Axis** και στη συνέχεια πατάμε στο πλήκτρο **Add** (βλέπε Εικόνες B8 και B9).

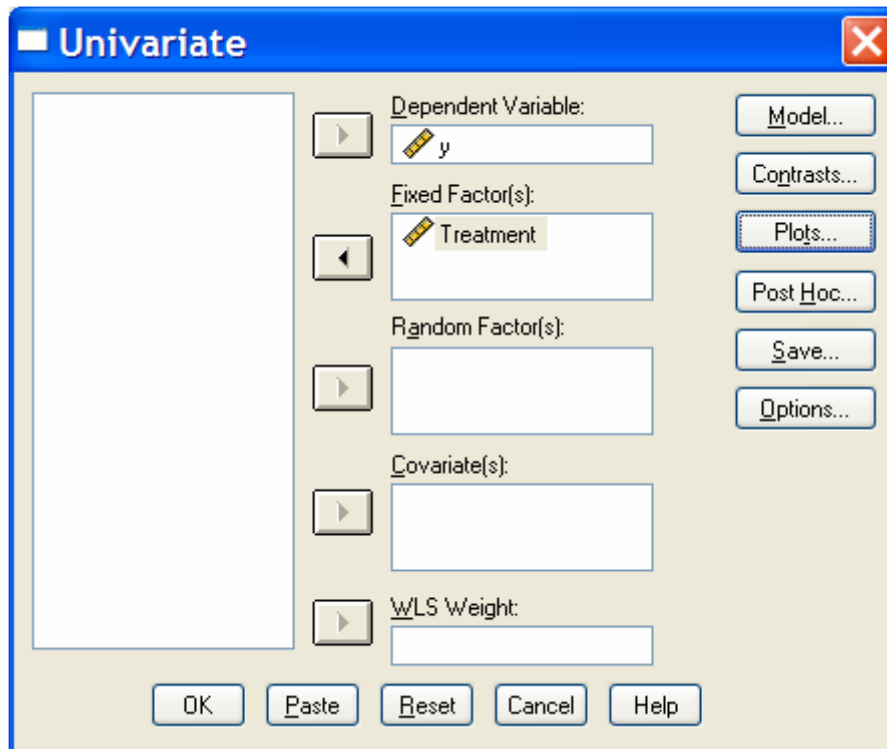


**Εικόνα B8:** Ρυθμίσεις για τη δημιουργία συγκριτικού στατιστικού διαγράμματος



**Εικόνα B9:** Ρυθμίσεις για τη δημιουργία συγκριτικού στατιστικού διαγράμματος

Πατάμε στο πλήκτρο **Continue**. Εμφανίζεται ξανά το πλαίσιο διαλόγου **Univariate** (Εικόνα B10).



Εικόνα B10: Το πλαίσιο διαλόγου **Univariate**

Πατάμε στο πλήκτρο **OK**.

### Βήμα 3. Έξοδος Αποτελεσμάτων και Σχολιασμός

Στο παράθυρο αποτελεσμάτων του SPSS (**SPSS Viewer**) εμφανίζονται τα παρακάτω αποτελέσματα:

#### Descriptive Statistics

Dependent Variable: y

Treatment	Mean	Std. Deviation	N
1	3,00	1,512	8
2	3,50	,926	8
3	4,25	1,035	8
4	6,25	2,121	8
Total	4,25	1,884	32

Στον πίνακα **Descriptive Statistics** παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της εξαρτημένης μεταβλητής  $y$  ανά επέμβαση, αλλά και για το σύνολο των 32 μετρήσεων (βλέπε γραμμή με τίτλο **Total**).

### Levene's Test of Equality of Error Variances<sup>a</sup>

Dependent Variable: y

F	df1	df2	Sig.
1,293	3	28	,296

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+Treatment

Στον πίνακα **Levene's Test of Equality of Error Variances** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου ομοιογένειας των παραλλακτικότητων. Αν η τιμή  $p$  του ελέγχου είναι μεγαλύτερη από 0,05 τότε η υπόθεση της ομοιογένειας δεν μπορεί να απορριφθεί σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ . Στο συγκεκριμένο παράδειγμα  $p=0,296>0,05$  και επομένως δεν υπάρχουν (ή δεν ανιχνεύθηκαν) στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των παραλλακτικότητων των 4 επεμβάσεων, σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ .

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: y

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power <sup>a</sup>
Corrected Model	49,000 <sup>b</sup>	3	16,333	7,497	,001	22,492	,972
Intercept	578,000	1	578,000	265,311	,000	265,311	1,000
Treatment	49,000	3	16,333	7,497	,001	22,492	,972
Error	61,000	28	2,179				
Total	688,000	32					
Corrected Total	110,000	31					

a. Computed using alpha = ,05

b. R Squared = ,445 (Adjusted R Squared = ,386)

Στον πίνακα **Tests of Between-Subjects Effects** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ANOVA. **Αγνοήστε** τις γραμμές του πίνακα με τίτλους Corrected Model, Intercept και Total. **Εστιάστε** την προσοχή σας μόνο στις γραμμές του πίνακα με τίτλους **Treatment**, **Error** και **Corrected Total**.

Στη στήλη με την επικεφαλίδα **Source** εμφανίζονται οι πηγές παραλλακτικότητας. Στη στήλη με την επικεφαλίδα **Type III Sum of Squares** παρουσιάζονται τα αθροίσματα τετραγώνων για κάθε πηγή παραλλακτικότητας, στη στήλη με την επικεφαλίδα **df** παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι βαθμοί ελευθερίας, στη στήλη με την επικεφαλίδα **Mean Square** εμφανίζονται τα αντίστοιχα μέσα τετράγωνα (παραλλακτικότητες), στη στήλη με την επικεφαλίδα **F** παρουσιάζεται η τιμή του στατιστικού  $F$ , στη στήλη με την επικεφαλίδα **Sig** εμφανίζεται η παρατηρούμενη στάθμη σημαντικότητας ( $p$ -value) του F-test, **αγνοήστε** τη στήλη με επικεφαλίδα **Non-centrality Parameter** (Παράμετρος Μη Κεντρικότητας)<sup>2</sup> και, τέλος, στη στήλη **Observed Power** παρουσιάζεται η παρατηρούμενη ισχύς του F-test. Η παρατηρούμενη ισχύς έχει υπολογιστεί για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  (βλέπε υποσημείωση α κάτω από την πίνακα). Με βάση την τιμή  $p=0,001<0,05$  συμπεραίνουμε ότι μεταξύ των επεμβάσεων υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ) ή ισοδύναμα ο παράγοντας “Λίπασμα” επιδρά στατιστικά σημαντικά στην εξαρτημένη μεταβλητή  $y$  (σε επίπεδο

<sup>2</sup> Η ποσότητα αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της παρατηρούμενης ισχύος του ελέγχου. Όταν η μηδενική υπόθεση ενός στατιστικού ελέγχου είναι αληθής τότε το στατιστικό του ελέγχου ( $t, F, X^2$ ) ακολουθεί την αντίστοιχη Κεντρική Κατανομή. Όταν, όμως, η εναλλακτική υπόθεση είναι αληθής τότε το στατιστικό του ελέγχου ( $t, F, X^2$ ) ακολουθεί την αντίστοιχη Μη Κεντρική Κατανομή, η οποία καθορίζεται από την παράμετρο Μη Κεντρικότητας (Non centrality parameter).

σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ). Η παρατηρούμενη ισχύς του ελέγχου είναι ίση με 0,972, τιμή μεγαλύτερη από το ελάχιστο αποδεκτό όριο του 0,800, όριο που τίθεται αρκετά συχνά στη σχετική βιβλιογραφία. Η παρατηρούμενη ισχύς εκφράζει την πιθανότητα ότι ο έλεγχος F θα ανιχνεύσει διαφορές μεταξύ των 4 επεμβάσεων-λιπασμάτων ως στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ , τόσο μεγάλες όσο αυτές που παρατηρήθηκαν στο συγκεκριμένο πείραμα – δείγμα. Μια πιο “χαλαρή” ερμηνεία είναι η εξής: η πιθανότητα οι παρατηρούμενες διαφορές μεταξύ των 4 επεμβάσεων-λιπασμάτων, οι οποίες εκφράζουν την επίδραση του παράγοντα Λίπασμα, να είναι πραγματικές και να μην οφείλονται στην τύχη, είναι ίση με 0,972 ή 97,2%. Κάτω από τον πίνακα της ANOVA εμφανίζεται η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$  (**R Squared**, βλέπε υποσημείωση b). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η τιμή του συντελεστή είναι ίση με 0,445. Η τιμή αυτή δηλώνει ότι το 44,5% της ολικής παραλλακτικότητας της εξαρτημένης μεταβλητής y μπορεί να αιτιολογηθεί από τις διαφορές μεταξύ των 4 επεμβάσεων ή, ισοδύναμα, από την επίδραση του παράγοντα “Λίπασμα”. Το υπόλοιπο  $1-0,445=0,555$  (55,5%) μπορεί να αποδοθεί στο πειραματικός σφάλμα. Ο συντελεστής προσδιορισμού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R^2 = \frac{ATE}{\Sigma AT},$$

όπου ATE είναι το άθροισμα τετραγώνων που αντιστοιχεί στις επεμβάσεις (παράγοντας “Λίπασμα”) και  $\Sigma AT$  το συνολικό άθροισμα τετραγώνων. Οι δύο ποσότητες ATE και  $\Sigma AT$  υπολογίζονται στον πίνακα της ANOVA (βλέπε στήλη με επικεφαλίδα **Type III Sum of Squares**). Για το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι  $ATE=49$  και  $\Sigma TA=110$ . Στις βιολογικές επιστήμες τιμές του συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$  μεγαλύτερες ή ίσες από 0,60 (60%) θεωρούνται εν γένει ικανοποιητικές. Σε άλλα επιστημονικά πεδία (Κοινωνικές και Οικονομικές Επιστήμες) ακόμη και τιμές του συντελεστή προσδιορισμού  $\geq 0,20$  θεωρούνται ικανοποιητικές.

Το SPSS δεν υπολογίζει το συντελεστή παραλλακτικότητας CV. Συνεπώς θα πρέπει να κάνουμε εμείς τον υπολογισμό σύμφωνα με τη σχέση:

$$CV = \frac{\sqrt{MT\Sigma}}{\bar{Y}} \times 100 \quad [1],$$

όπου  $MT\Sigma$  είναι το μέσο τετράγωνο που αντιστοιχεί στο σφάλμα (υπολογίζεται στον πίνακα της ANOVA) και  $\bar{Y}$  είναι ο γενικός μέσος όρος της εξαρτημένης μεταβλητής για το σύνολο των 32 μετρήσεων. Από τον πίνακα της ANOVA έχουμε ότι  $MT\Sigma=2,179$  (η τιμή **Mean Square** που αντιστοιχεί στην πηγή παραλλακτικότητας **Error**) και από τον πίνακα **Descriptive Statistics** έχουμε  $\bar{Y}=4,25$  (βρίσκεται στη γραμμή με τίτλο **Total**). Έτσι, με αντικατάσταση στη σχέση [1] έχουμε:

$$CV = \frac{\sqrt{2,179}}{4,25} \times 100 = 34,7\%.$$

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η τιμή του συντελεστή παραλλακτικότητας CV είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αποδεκτή οριακή τιμή 20% (για πειράματα αγρού) και πολύ μεγαλύτερη από το γενικό όριο ομοιογένειας του 10%. Γενικά, για να καταλήξουμε σε συμπέρασμα σχετικά με την ακρίβεια του πειράματος θα πρέπει να λάβουμε υπόψη το υλικό πειραματισμού (πειραματικές επεμβάσεις, καλλιεργητική φροντίδα, φυτικό υλικό) καθώς και τις ιδιαιτερότητες των χαρακτηριστικών που μετράμε (δηλαδή τις ιδιαιτερότητες των εξαρτημένων μεταβλητών, όπως είναι για παράδειγμα το ύψος και η απόδοση). Σημαντικό ρόλο παίζουν επίσης η εγκυρότητα και η αξιοπιστία (ακρίβεια) των οργάνων και συσκευών που χρησιμοποιούνται στις ποικίλες μετρήσεις.

Στον πίνακα **Multiple Comparisons** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συγκρίσεων των μέσων όρων ανά δύο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ελέγχων Tukey HSD (κατάλληλος για την περίπτωση που ισχύει η ομοιογένεια των παραλλακτικότητων) και Games-Howell (κατάλληλος για την περίπτωση που δεν ισχύει η ομοιογένεια των παραλλακτικότητων). Στη στήλη με επικεφαλίδα **Mean Difference** παρουσιάζεται η διαφορά των μέσων όρων που συγκρίνονται κάθε φορά, στη στήλη με επικεφαλίδα **Std. Error** παρουσιάζεται το αντίστοιχο (κοινό για όλες τις συγκρίσεις) τυπικό σφάλμα της διαφοράς, στη στήλη **Sig.** παρουσιάζεται η τιμή  $p$  του ελέγχου σημαντικότητας της διαφοράς και στις δύο τελευταίες στήλες εμφανίζεται το κάτω (**Lower Bound**) και το άνω (**Upper Bound**) όριο ενός 95% διαστήματος εμπιστοσύνης (**Confidence Interval**) για τη διαφορά των δύο μέσων όρων που συγκρίνονται. Να τονιστεί ότι ορισμένα επιστημονικά περιοδικά ζητούν από τους συγγραφείς να παρουσιάσουν μόνο το τυπικό σφάλμα των διαφορών των μέσων όρων. Σε περίπτωση που μια διαφορά είναι στατιστικά σημαντική, στο επίπεδο σημαντικότητας που έχει δηλωθεί (στο παράδειγμα  $\alpha=0,05$ ), δίπλα και δεξιά από τη διαφορά των δύο μέσων όρων που συγκρίνονται εμφανίζεται ένα αστεράκι (\*). Επίσης, αν η τιμή  $p$  που αντιστοιχεί στον έλεγχο σημαντικότητας της διαφοράς είναι  $\leq \alpha=0,05$  τότε αυτό σημαίνει ότι η διαφορά των μέσων όρων διαφέρει στατιστικά σημαντικά (σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ ) από το μηδέν και συνεπώς οι δύο μέσοι όροι που συγκρίνονται διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους (σε  $\alpha=0,05$ ). Τέλος, αν το 95% διάστημα εμπιστοσύνης για τη διαφορά των δύο μέσων όρων δεν περιέχει το μηδέν, τότε και το στοιχείο αυτό συνηγορεί υπέρ της στατιστικής σημαντικότητας της διαφοράς. Οι διαδικασίες πολλαπλών συγκρίσεων μέσων όρων Student-Newman-Keuls (S-N-K), Tukey, Tukey B, Scheffe, Gabriel, Duncan, Ryan-Einot-Gabriel-Welsch F, Ryan-Einot-Gabriel-Welsch Range, Hochberg και Waller-Duncan έχουν ως αποτέλεσμα και την κατασκευή ενός ακόμη πίνακα όπως αυτός του παραδείγματος με τίτλο **Homogeneous Subsets**. Στον πίνακα αυτό ομαδοποιούνται σε υποσύνολα (**Subsets**) οι μέσοι όροι που **δεν** διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, οι μέσοι όροι των επεμβάσεων 3 και 4 δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά (ανήκουν στο **Subset 2**). Οι μέσοι όροι των επεμβάσεων 3, 2 και 1 επίσης δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά (ανήκουν στο **Subset 1**). Για κάθε ομοιογενή ομάδα (subset) μέσων όρων υπολογίζεται η τιμή  $p$  του ελέγχου ομοιογένειας των μέσων όρων. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, για το subset 2 η τιμή  $p=0,052$  (οριακά μεγαλύτερη από 0,05), επομένως, με αυστηρή ερμηνεία, οι μέσοι όροι που ανήκουν στο subset 2 δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ . Ομοίως, για το subset 1 η τιμή  $p=0,346 > 0,05$  γεγονός που δηλώνει ότι οι 3 μέσοι όροι που περιλαμβάνονται στο subset 1 δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.



## Multiple Comparisons

Dependent Variable: y

	(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	-,50	,738	,905	-2,51	1,51
		3	-1,25	,738	,346	-3,26	,76
		4	-3,25*	,738	,001	-5,26	-1,24
	2	1	,50	,738	,905	-1,51	2,51
		3	-,75	,738	,741	-2,76	1,26
		4	-2,75*	,738	,005	-4,76	-,74
	3	1	1,25	,738	,346	-,76	3,26
		2	,75	,738	,741	-1,26	2,76
		4	-2,00	,738	,052	-4,01	,01
	4	1	3,25*	,738	,001	1,24	5,26
		2	2,75*	,738	,005	,74	4,76
		3	2,00	,738	,052	-,01	4,01
Games-Howell	1	2	-,50	,627	,854	-2,37	1,37
		3	-1,25	,648	,266	-3,16	,66
		4	-3,25*	,921	,018	-5,96	-,54
	2	1	,50	,627	,854	-1,37	2,37
		3	-,75	,491	,449	-2,18	,68
		4	-2,75*	,818	,033	-5,27	-,23
	3	1	1,25	,648	,266	-,66	3,16
		2	,75	,491	,449	-,68	2,18
		4	-2,00	,835	,140	-4,55	,55
	4	1	3,25*	,921	,018	,54	5,96
		2	2,75*	,818	,033	,23	5,27
		3	2,00	,835	,140	-,55	4,55

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

## Homogeneous Subsets

y

Treatment	N	Subset	
		1	2
Tukey HSD <sup>a,b</sup> 1	8	3,00	
2	8	3,50	
3	8	4,25	4,25
4	8		6,25
Sig.		,346	,052

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 2,179.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b. Alpha = ,05.

Ο πίνακας με τίτλο **Homogeneous Subsets** διευκολύνει την κατάδειξη με γράμματα των μέσων όρων που διαφέρουν στατιστικά σημαντικά. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων του παραδείγματος μπορούν να παρουσιαστούν ως εξής (Πίνακας X):

**Πίνακας X: Σύγκριση των Τεσσάρων Επεμβάσεων**

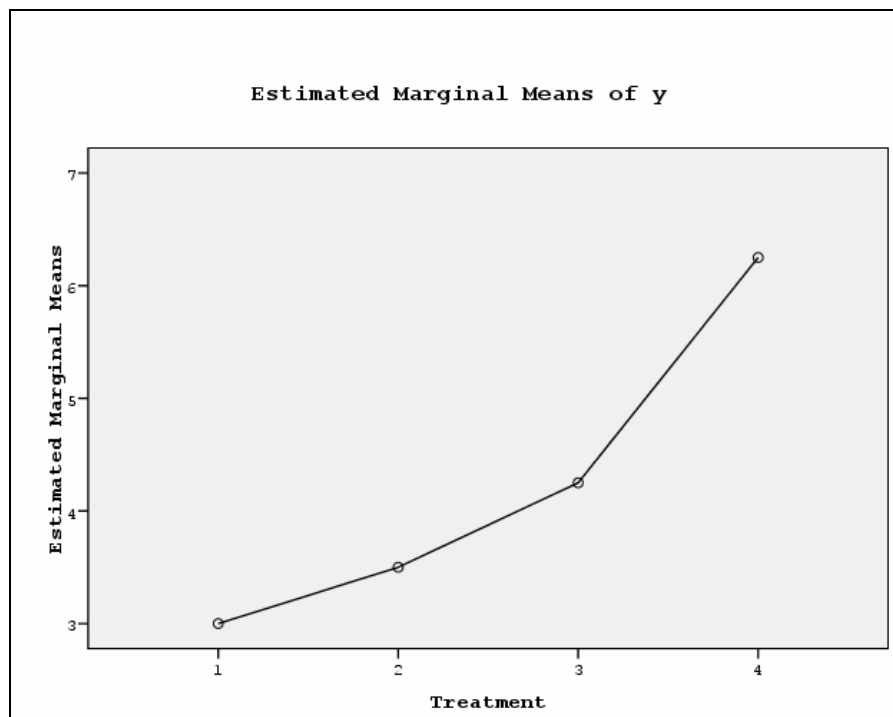
Επεμβάσεις	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	N
Λίπασμα 1	3,00 <b>b</b>	1,51	8
Λίπασμα 2	3,50 <b>b</b>	0,93	8
Λίπασμα 3	4,25 <b>ab</b>	1,04	8
Λίπασμα 4	6,25 <b>a</b>	2,12	8

Μέσοι όροι που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα με έντονη γραφή διαφέρουν στατιστικά σημαντικά, σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  (ή  $P<0,05$ ), σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ελέγχου Tukey HSD.

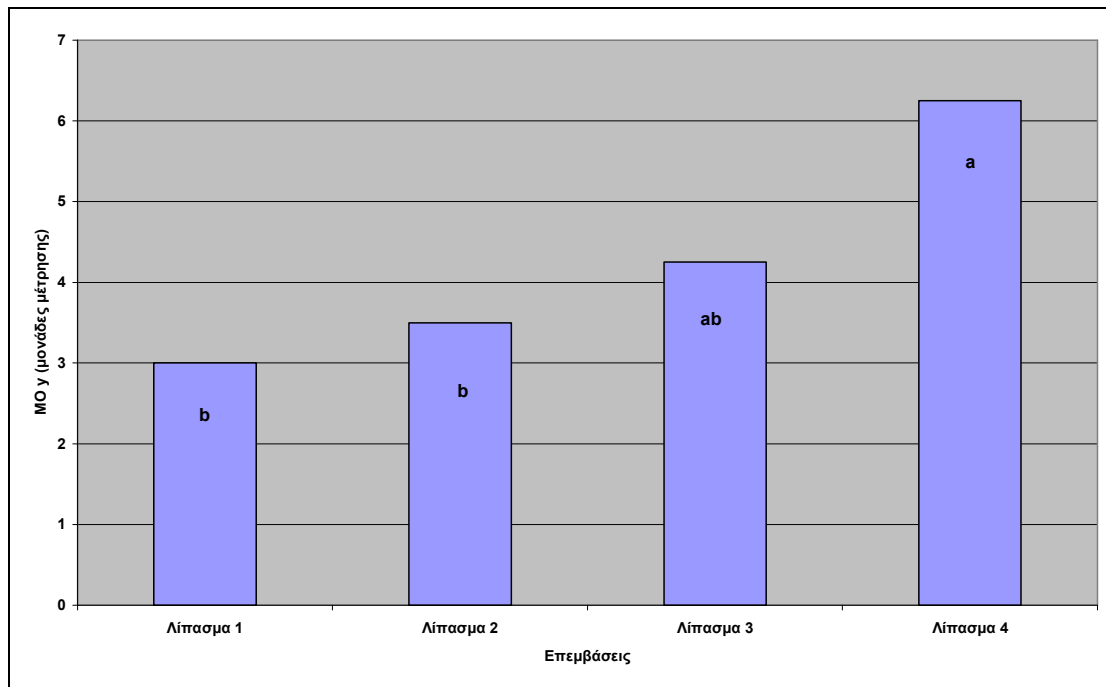
ή (εναλλακτική διατύπωση)

Μέσοι όροι που ακολουθούνται από κοινό γράμμα με έντονη γραφή δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά, σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  (ή  $P<0,05$ ), σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ελέγχου Tukey HSD.

Τέλος, εμφανίζεται το παρακάτω συγκριτικό διάγραμμα τύπου γραμμής (line plot) που οπτικοποιεί τις διαφορές των μέσων όρων που αντιστοιχούν στις 4 επεμβάσεις.



Το διάγραμμα αυτού του τύπου (line plot) δεν είναι ο καλύτερος τρόπος για τη διαγραμματική συγκριτική παρουσίαση των μέσων όρων των επεμβάσεων, εκτός και αν οι επεμβάσεις είναι ισαπέχοντα επίπεδα ενός ποσοτικού παράγοντα (για παράδειγμα 4 δόσεις φαρμάκου 0, 10, 20 και 30, ή ισαπέχοντα χρονικά διαστήματα). Στη γενική περίπτωση είναι καλύτερα να παρουσιάσουμε τους μέσους όρους με ραβδογράμματα (Σχήμα B1) δηλώνοντας με γράμματα τους μέσους όρους που διαφέρουν στατιστικά σημαντικά (για παράδειγμα σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ελέγχου Tukey HSD).



**Σχήμα Β1:** Συγκριτικό ραβδόγραμμα των μέσων όρων των 4 επεμβάσεων

Αν για τις συγκρίσεις των μέσων όρων είχαμε επιλέξει το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς-ΕΣΔ (Least Significant Difference-LSD) τότε το SPSS θα κατασκεύαζε τον αντίστοιχο πίνακα **Multiple Comparisons**, εμφανίζοντας ποιιοι μέσοι όροι διαφέρουν στατιστικά σημαντικά, αλλά δεν θα μας υπολόγιζε την τιμή LSD. Στις βιολογικές επιστήμες η τιμή LSD (όταν χρησιμοποιείται αυτό το κριτήριο) συνήθως υπολογίζεται και παρουσιάζεται στους πίνακες ή τα διαγράμματα σύγκρισης των μέσων όρων. Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να εργαστούμε ως εξής:

Η τιμή  $LSD_{\alpha}$  σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$  δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$LSD_{\alpha} = t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{2MT\Sigma}{r}} \quad [2],$$

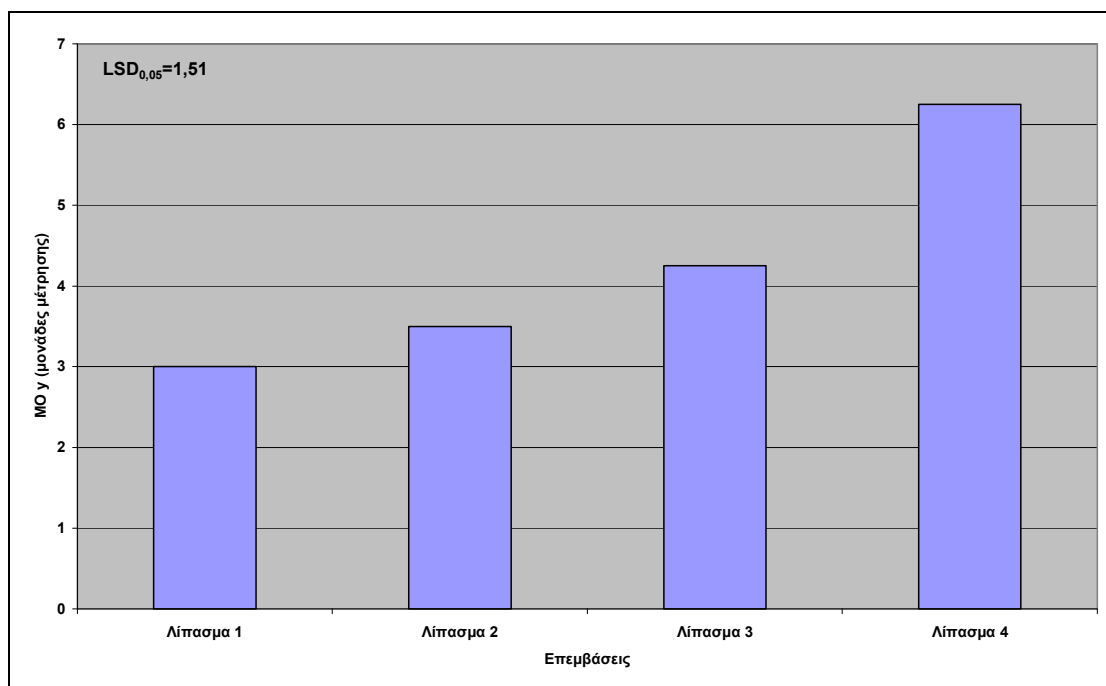
όπου  $MT\Sigma$  είναι το μέσο τετράγωνο που αντιστοιχεί στο Σφάλμα (υπολογίζεται από την ANOVA) και  $r$  είναι το πλήθος των μετρήσεων (επαναλήψεων) με βάση τις οποίες υπολογίστηκαν οι αντίστοιχοι μέσοι όροι που θα συγκριθούν. Η σχέση αυτή ισχύει μόνο για ισορροπημένα πειραματικά σχέδια. Η ποσότητα  $t_{\alpha/2}$  αντιστοιχεί στην κρίσιμη (θεωρητική) τιμή της t-κατανομής σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha/2$  (δίπλευρος έλεγχος) για βαθμούς ελευθερίας ίσους με αυτούς που υπολογίζονται για το Σφάλμα από την ANOVA. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα,  $MT\Sigma=2,179$ ,  $r=8$  και  $t_{0,025} = 2,048$  για 28 βαθμούς ελευθερίας (βε). Με αντικατάσταση στη σχέση [2] έχουμε:

$$ΕΣΔ_{0,05} \text{ ή } LSD_{0,05} = 2,048 \sqrt{\frac{2 \times 2,179}{8}} = 1,51$$

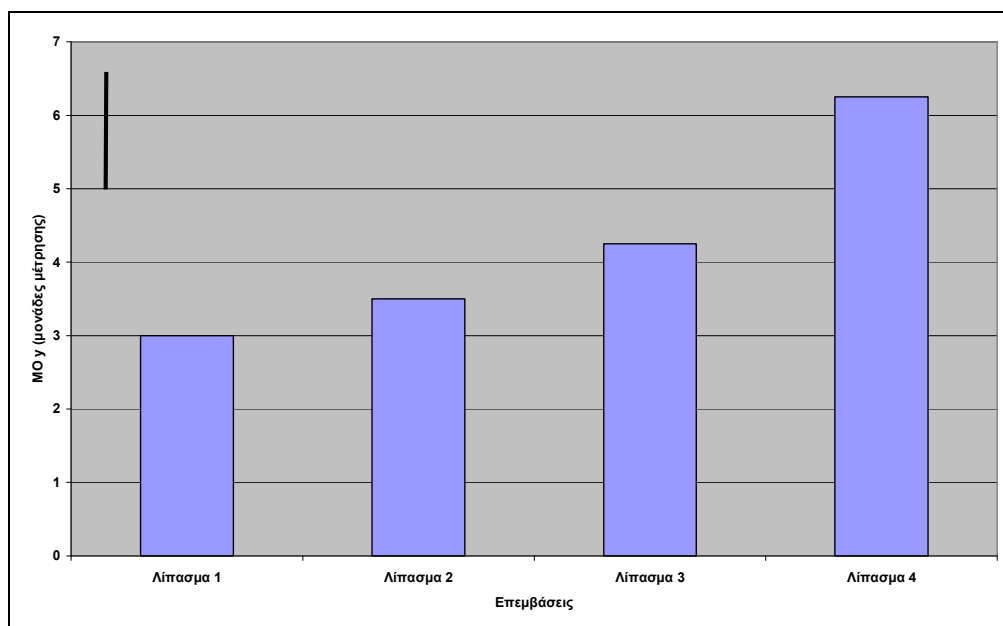
Επομένως, μέσοι όροι που διαφέρουν σε απόλυτη τιμή πάνω από 1,51 μονάδες (της εξαρτημένης μεταβλητής  $y$ ) διαφέρουν και στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (ΕΣΔ). Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων του παραδείγματος μπορούν να παρουσιαστούν ως εξής (Πίνακας XX και Σχήματα Β2-Β3):

Πίνακας XX: Σύγκριση των Τεσσάρων Επεμβάσεων

Επεμβάσεις	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	N
Λίπασμα 1	3,00	1,51	8
Λίπασμα 2	3,50	0,93	8
Λίπασμα 3	4,25	1,04	8
Λίπασμα 4	6,25	2,12	8
LSD <sub>0,05</sub>	1,51		



Σχήμα Β2: Συγκριτικό ραβδόγραμμα των μέσων όρων των 4 επεμβάσεων

Σχήμα Β3: Συγκριτικό ραβδόγραμμα των μέσων όρων των 4 επεμβάσεων. Η κάθετη έντονη γραμμή αντιστοιχεί στην τιμή LSD<sub>0,05</sub>=1,51

Αν το επίπεδο σημαντικότητας είχε προκαθοριστεί σε  $\alpha=0,01$  τότε η κρίσιμη τιμή της t-κατανομής για 28 βε και επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=(0,01/2)=0,005$  θα ήταν ίση με 2,763 και συνεπώς η τιμή  $LSD_{0,01}=1,82$ . Παρατηρούμε ότι η τιμή LSD για  $\alpha=0,01$  είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή για  $\alpha=0,05$ . Αυτό είναι αναμενόμενο αφού το επίπεδο σημαντικότητας μειώθηκε από 0,05 σε 0,01. Ο στατιστικός έλεγχος γίνεται πιο αυστηρός (“συντηρητικός”) με αποτέλεσμα να απαιτούνται μεγαλύτερες διαφορές (σε απόλυτη τιμή) μεταξύ των μέσων όρων ώστε να ανιχνευθούν ως στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,01$ .

Στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η σύγκριση των μέσων όρων σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 με το κριτήριο Bonferroni τότε η LSD πρέπει να υπολογιστεί για επίπεδο σημαντικότητας:

$$a_c = \frac{0,05}{\text{πλήθος συγκρίσεων} - \text{ελέγχων}}$$

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θέλουμε να συγκρίνουμε  $k=4$  μέσους όρους. Όλες οι δυνατές συγκρίσεις-έλεγχοι, ανά δύο, είναι σε πλήθος  $k(k-1)/2$  δηλαδή  $(4 \times 3)/2=6$ . Συνεπώς, με βάση το κριτήριο-διόρθωση του Bonferroni (Bonferroni adjustment) το επίπεδο σημαντικότητας κάθε ελέγχου-σύγκρισης πρέπει να διορθωθεί σε:

$$a_c = \frac{0,05}{6} \approx 0,0083$$

Για να υπολογιστεί η  $LSD_{0,05 \text{ Bonferroni}}$  πρέπει να βρούμε την κρίσιμη τιμή της t-κατανομής για επίπεδο σημαντικότητας  $a_c/2$  δηλαδή για  $(0,0083)/2 \approx 0,0042$ . Η κρίσιμη τιμή της t-κατανομής σε επίπεδο σημαντικότητας 0,0042 και για 28 βε είναι ίση με 2,839. Με αντικατάσταση στη σχέση [2] η Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ , αλλά με τη διόρθωση κατά Bonferroni υπολογίζεται σε:

$$LSD_{0,05 \text{ Bonferroni}} = 2,839 \sqrt{\frac{2 \times 2,179}{8}} = 2,095 \approx 2,10.$$

Επομένως, μέσοι όροι που διαφέρουν σε απόλυτη τιμή πάνω από 2,10 μονάδες (της εξαρτημένης μεταβλητής  $y$ ) διαφέρουν και στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (ΕΣΔ) κατά Bonferroni. **Προσοχή:** Η διόρθωση του Bonferroni οδηγεί σε μια από τις πιο συντηρητικές-αυστηρές μεθόδους σύγκρισης μέσων όρων. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων του παραδείγματος μπορούν να παρουσιαστούν ως εξής (Πίνακας XXX):

**Πίνακας XXX: Σύγκριση των Τεσσάρων Επεμβάσεων**

Επεμβάσεις	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	N
Λίπασμα 1	3,00	1,51	8
Λίπασμα 2	3,50	0,93	8
Λίπασμα 3	4,25	1,04	8
Λίπασμα 4	6,25	2,12	8
$LSD_{0,05 \text{ Bonferroni}}$	2,10		

Στην περίπτωση που στο συγκεκριμένο αριθμητικό παράδειγμα δεν ίσχυε η ομοιογένεια των παραλλακτικότητας και είχαμε επιλέξει μία από τις μεθόδους Tamhane, Dunnett

T3, Games-Howell ή Dunnett C μπορούμε να παρουσιάσουμε τη Μικρότερη Παρατηρούμενη Σημαντική Διαφορά (Smallest Observed Significant Difference-SOSD). Στους παραπάνω ελέγχους για κάθε διαφορά μέσω των όρων δεν υπολογίζεται ένα κοινό τυπικό σφάλμα. Υπολογίζονται εν γένει διαφορετικές τιμές σφάλματος. Στον πίνακα **Multiple Comparisons** και στο τμήμα του πίνακα που αφορά τα αποτελέσματα του ελέγχου **Games-Howell** η μικρότερη παρατηρούμενη στατιστικά σημαντική διαφορά (σε  $\alpha=0,05$ ) είναι σε απόλυτη τιμή ίση με 2,75 και αντιστοιχεί στη σύγκριση των μέσων όρων των επεμβάσεων 4 και 2 ( $p=0,033$ ). Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων του παραδείγματος μπορούν να παρουσιαστούν ως εξής (Πίνακας XXXX):

**Πίνακας XXXX: Σύγκριση των Τεσσάρων Επεμβάσεων**

Επεμβάσεις	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	N
Λίπασμα 1	3,00	1,51	8
Λίπασμα 2	3,50	0,93	8
Λίπασμα 3	4,25	1,04	8
Λίπασμα 4	6,25	2,12	8
*Games Howell SOSD <sub>0,05</sub>	2,75		

\* Smallest Observed Significant Difference

Επομένως, μέσοι όροι που διαφέρουν σε απόλυτη τιμή πάνω από 2,75 μονάδες (της εξαρτημένης μεταβλητής  $y$ ) διαφέρουν και στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ελέγχου Games-Howell.

### Παρατηρήσεις

Η εφαρμογή του ελέγχου Tukey βασίζεται στον υπολογισμό της τιμής HSD (Honestly Significant Difference-Πραγματική Σημαντική Διαφορά). Για να ελεγχθεί η μηδενική υπόθεση ότι όλοι οι μέσοι όροι είναι ίση μεταξύ τους υπολογίζεται το στατιστικό:

$$q = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j}{SE},$$

όπου  $\bar{X}_i$  και  $\bar{X}_j$  είναι οι μέσοι όροι των επεμβάσεων  $i$  και  $j$  ( $\bar{X}_i$  είναι ο μεγαλύτερος μέσος όρος) και SE είναι το (κοινό) τυπικό σφάλμα στην εκτίμηση των μέσων όρων. Το τυπικό σφάλμα SE δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$SE = \sqrt{\frac{MT\sigma}{r}} \quad [3],$$

όπου MT $\sigma$  είναι το μέσο τετράγωνο του σφάλματος (υπολογίζεται στην ANOVA) και  $r$  είναι το πλήθος των μετρήσεων (επαναλήψεων) με βάση τις οποίες υπολογίστηκαν οι αντίστοιχοι μέσοι όροι που θα συγκριθούν. Η σχέση [3] ισχύει μόνο για ισορροπημένα πειραματικά σχέδια. Στη συνέχεια, το στατιστικό  $q$  συγκρίνεται με την κρίσιμη τιμή  $q_{\alpha, \nu, k}$ , η οποία ονομάζεται *Studentized Range* και εξαρτάται από το επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$ , τους βαθμούς ελευθερίας  $\nu$  του σφάλματος (από ANOVA) και από το πλήθος  $k$  των μέσων όρων που πρόκειται να συγκριθούν. Η κρίσιμη τιμή λαμβάνεται από ειδικούς πίνακες (βλέπε Παράρτημα 4). Για το συγκεκριμένο αριθμητικό παράδειγμα

έχουμε  $\alpha=0,05$ ,  $\nu=28$  και  $k=4$ . Από τους ειδικούς πίνακες βρίσκουμε ότι  $q_{\alpha,\nu,k}=3,863$ . Η τιμή HSD δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{HSD} = q_{\alpha,\nu,k} \times \text{SE} \Rightarrow \text{HSD} = 3,863 \times \sqrt{\frac{2,179}{8}} = 3,863 \times 0,522 = 2,016$$

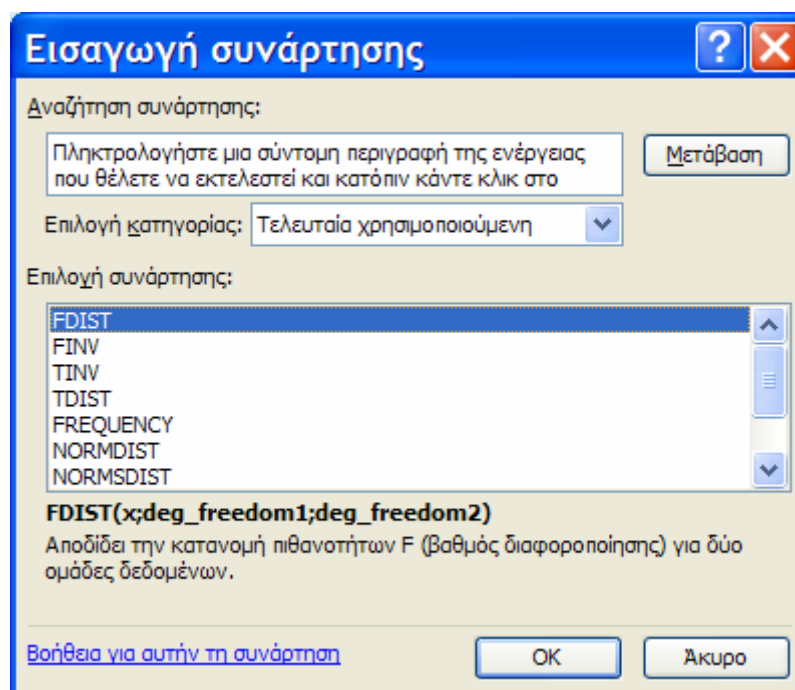
Επομένως, μέσοι όροι που διαφέρουν σε απόλυτη τιμή πάνω από 2,016 μονάδες (της εξαρτημένης μεταβλητής  $y$ ) διαφέρουν και στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ελέγχου Tukey HSD.

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται όταν την κρίσιμη τιμή της  $t$ -κατανομής την αναζητούμε στους ειδικούς πίνακες, οι οποίοι συνήθως δίνονται στις τελευταίες σελίδες των βιβλίων στατιστικής και βιομετρίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι τιμές της  $t$ -κατανομής αφορούν σε δίπλευρους ελέγχους με αποτέλεσμα την κρίσιμη τιμή, για παράδειγμα, σε επίπεδο σημαντικότητας 0,025 να την αναζητούμε στη στήλη που αφορά επίπεδο σημαντικότητας 0,05 (η συνολική πιθανότητα 0,05, λόγω συμμετρίας της  $t$ -κατανομής, μοιράζεται σε 0,025 στη δεξιά “ουρά” και 0,025 στην αριστερή “ουρά”). Αντί για τους πίνακες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις δυνατότητες του EXCEL για να βρίσκουμε τις κρίσιμες τιμές όχι μόνο της  $t$ , αλλά και της  $F$  και  $\chi^2$  κατανομής.

Στο EXCEL πραγματοποιούμε τις παρακάτω ενέργειες:

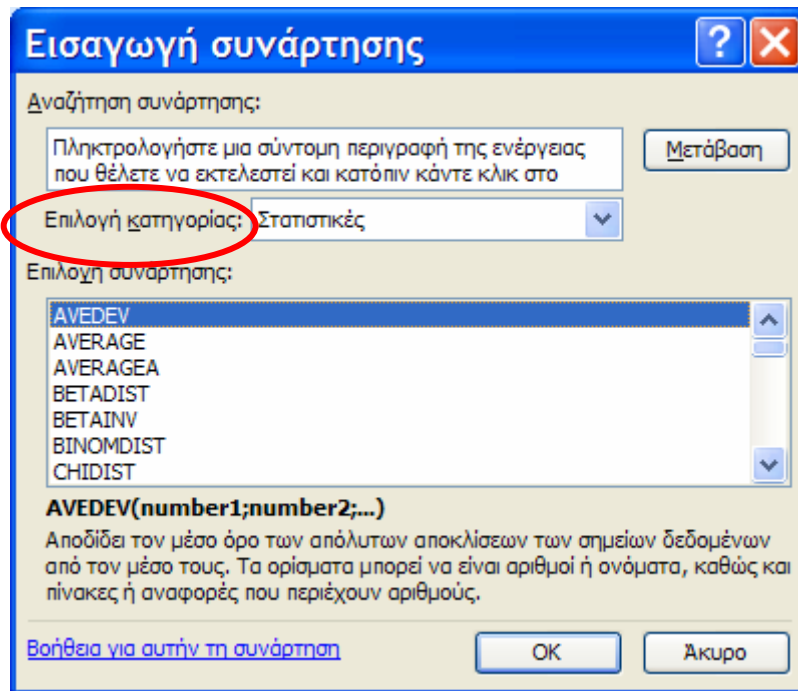
### Εισαγωγή → Συνάρτηση

Θα εμφανιστεί το παρακάτω πλαίσιο διαλόγου **Εισαγωγή Συνάρτησης** (Εικόνα B11).



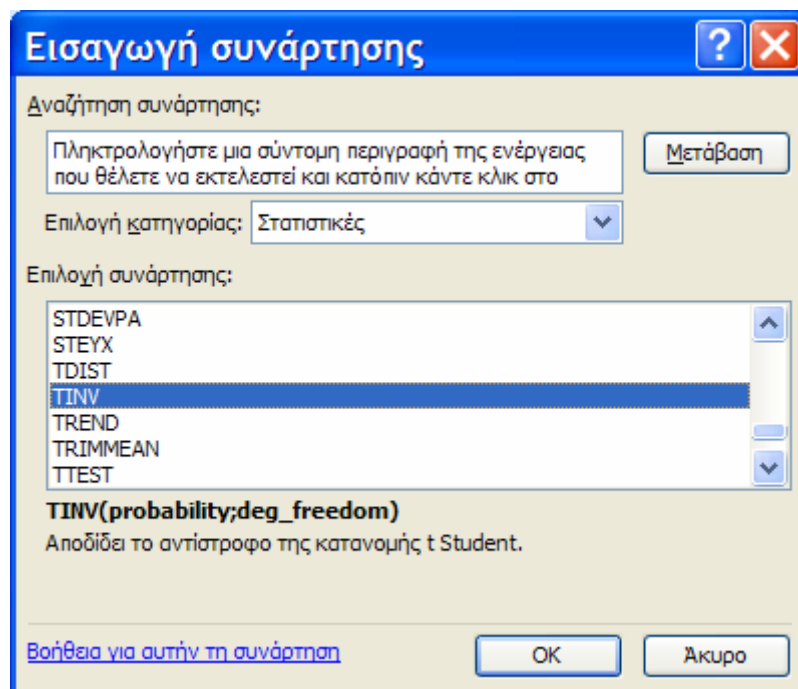
**Εικόνα B11:** Το πλαίσιο διαλόγου Εισαγωγή συνάρτησης του EXCEL

Στο πεδίο **Επιλογή κατηγορίας** επιλέγουμε **Στατιστικές** (Εικόνα B12).



**Εικόνα B12:** Επιλογή κατηγορίας συναρτήσεων

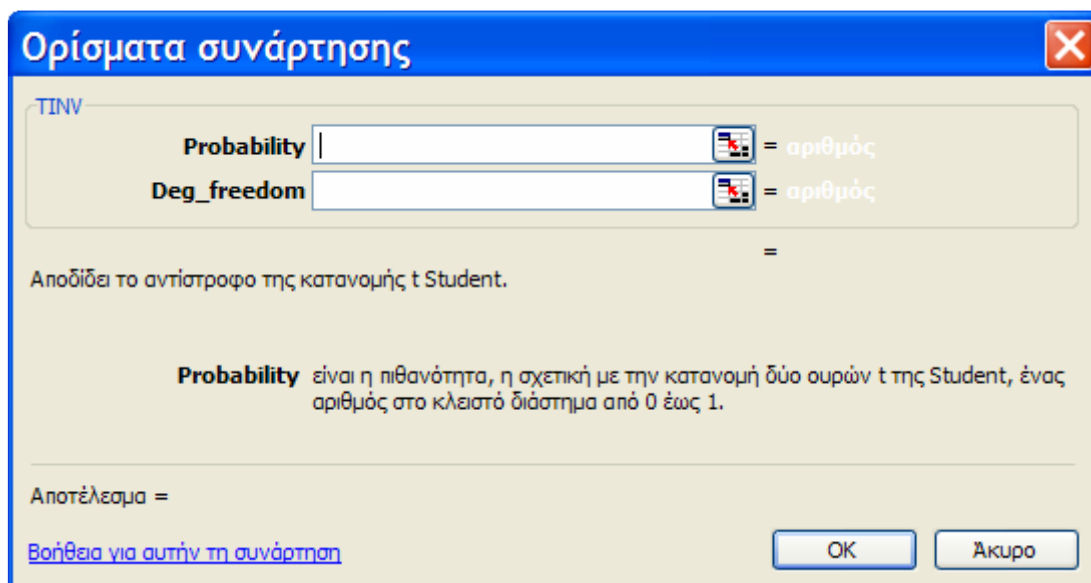
Στο πεδίο **Επιλογή συνάρτησης** αναζητούμε και επιλέγουμε τη συνάρτηση **TINV** (Εικόνα B13).



**Εικόνα B12:** Επιλογή συνάρτησης TINV

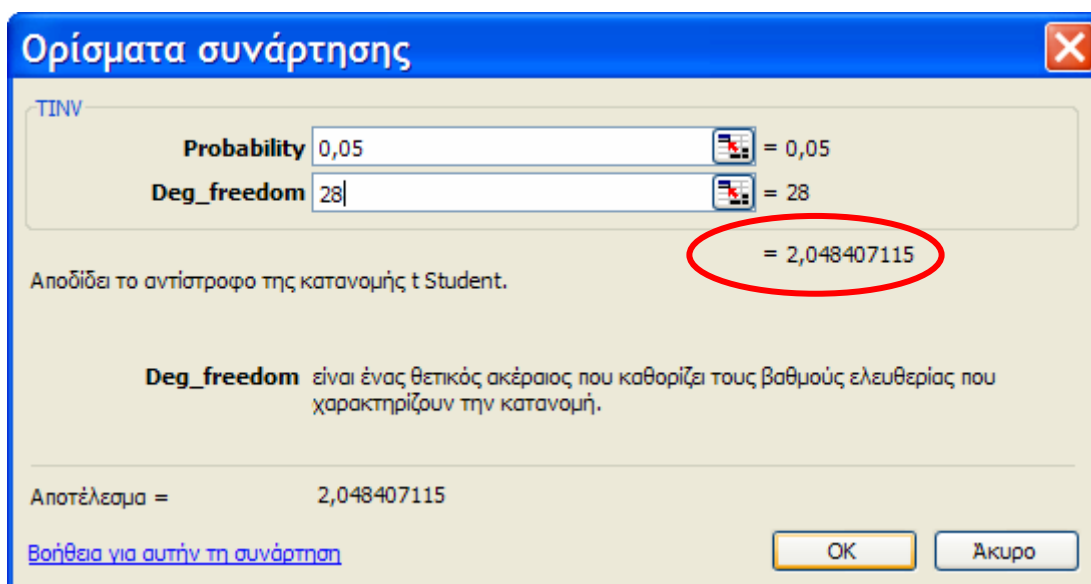
Πατάμε στο πλήκτρο **OK**. Εμφανίζεται το παρακάτω πλαίσιο διαλόγου (Εικόνα B13).





Εικόνα B13: Το πλαίσιο διαλόγου **Ορίσματα συνάρτησης** της TINV

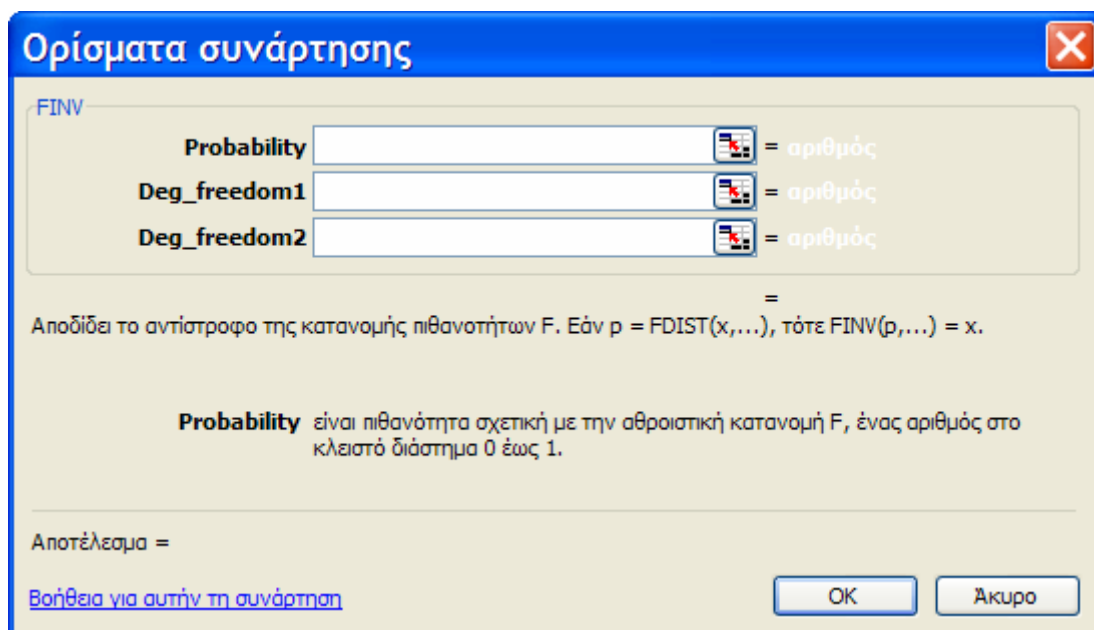
Στο πεδίο **Probability** εισάγουμε το επιθυμητό επίπεδο σημαντικότητας του ελέγχου (ΠΡΟΣΟΧΗ! το EXCEL θεωρεί δίπλευρο έλεγχο), για παράδειγμα 0,05. Στο πεδίο **Deg\_freedom** εισάγουμε τους επιθυμητούς βαθμούς ελευθερίας, για παράδειγμα 28 (Εικόνα B14).



Εικόνα B14: Εισαγωγή ορισμάτων της συνάρτησης TINV

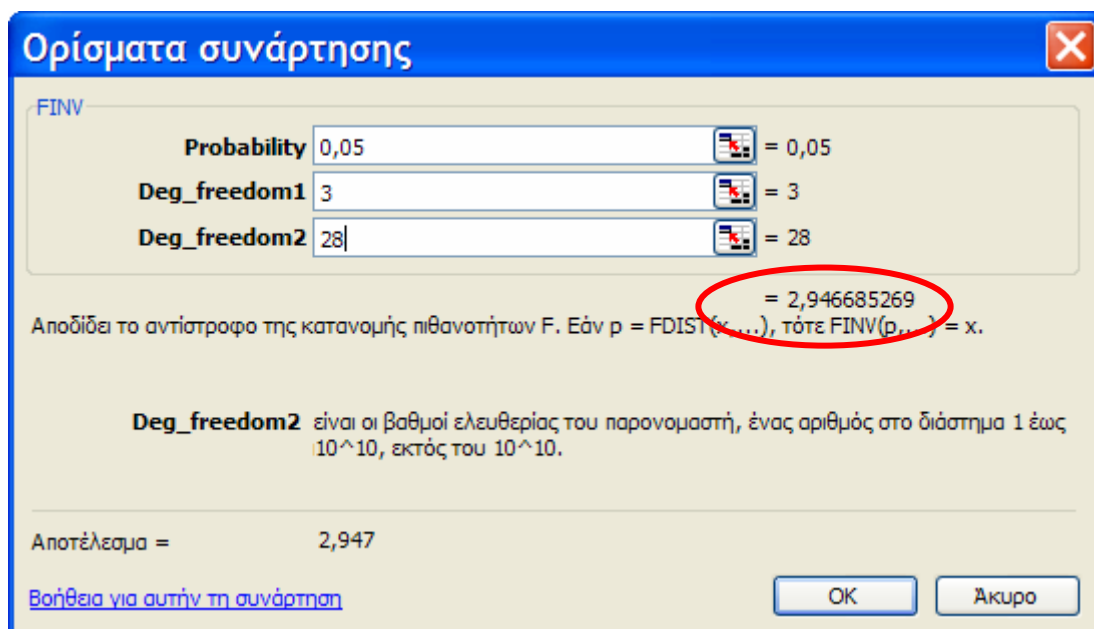
Το EXCEL υπολογίζει την κρίσιμη τιμή της t-κατανομής (για δίπλευρο έλεγχο), σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  και για 28 βαθμούς ελευθερίας. Η κρίσιμη τιμή είναι  $2,048407115 \approx 2,048$ .

Με παρόμοιο τρόπο μπορούμε να βρούμε κρίσιμες τιμές για την F-κατανομή. Επαναλαμβάνουμε τα ίδια βήματα όπως στα προηγούμενα με τη διαφορά ότι θα αναζητήσουμε τη συνάρτηση **FINV**.



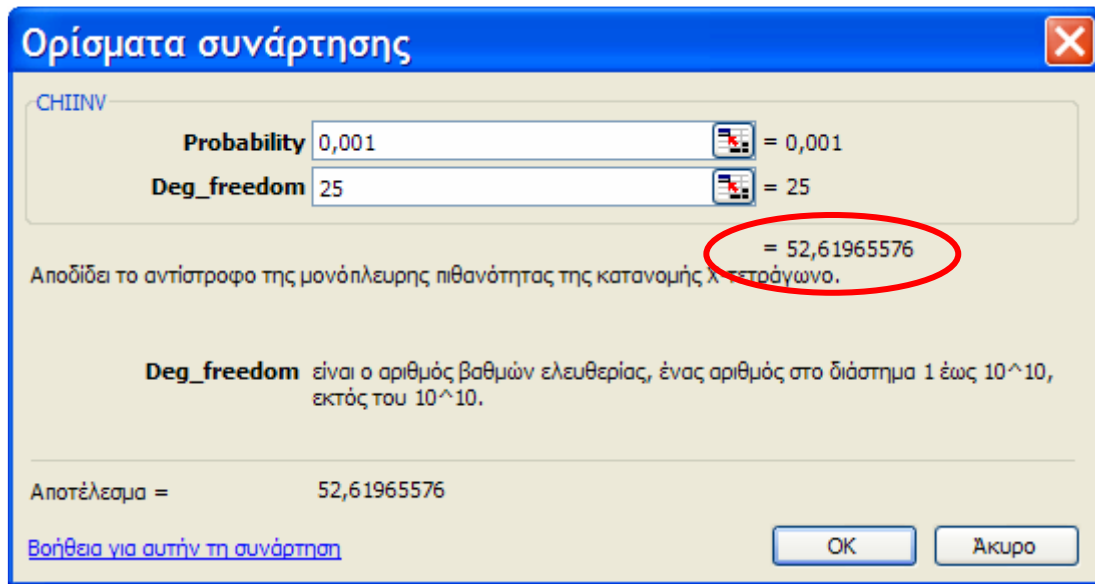
Εικόνα B15: Το πλαίσιο διαλόγου **Ορίσματα συνάρτησης** της FINV

Στο πεδίο **Probability** εισάγουμε το επιθυμητό επίπεδο σημαντικότητας του ελέγχου, για παράδειγμα 0,05. Στο πεδίο **Deg\_freedom1** εισάγουμε τους επιθυμητούς βαθμούς ελευθερίας του αριθμητή του στατιστικού  $F$ , για παράδειγμα 3, και στο πεδίο **Deg\_freedom2** εισάγουμε τους επιθυμητούς βαθμούς ελευθερίας του παρονομαστή του στατιστικού  $F$ , για παράδειγμα 28. Η ζητούμενη κρίσιμη τιμή της  $F$ -κατανομής είναι περίπου ίση με 2,947 (Εικόνα B16).



Εικόνα B16: Αποτελέσματα εφαρμογής της συνάρτησης FINV

Για την αναζήτηση κρίσιμων τιμών της  $\chi^2$ -κατανομής θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τη συνάρτηση **CHIINV**.



**Εικόνα B17:** Αποτελέσματα της συνάρτησης CHINV

Στο παράδειγμα της παραπάνω εικόνας η κρίσιμη τιμή της  $\chi^2$ -κατανομής σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,001$  και για 25 βε είναι περίπου ίση με 52,620.

### Σημειώσεις αναγνώστη:

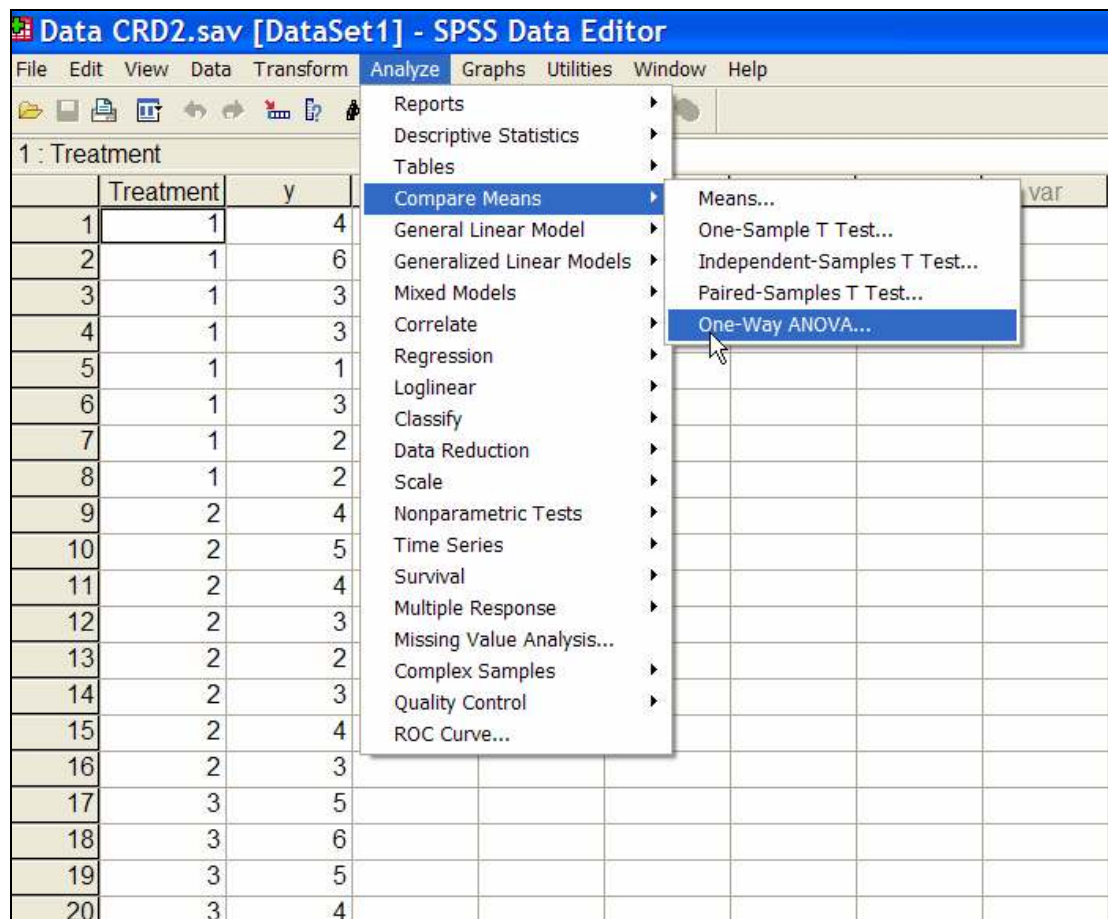
## Σύγκριση Ομάδων Μέσων Όρων (Αντιθέσεις-Contrasts)

Έστω ότι στο προηγούμενο αριθμητικό παράδειγμα είχε ενδιαφέρον να συγκριθεί ο μέσος όρος των επεμβάσεων 1 και 3 (ως ομάδα) με το μέσο όρο των επεμβάσεων 2 και 4 (ως ομάδα). Αυτού του είδους οι συγκρίσεις ονομάζονται αντιθέσεις (contrasts) και (θεωρητικά) προκαθορίζονται από τον ερευνητή πριν την εγκατάσταση του πειράματος (a priori planned contrasts).

### Διαδικασίες, Εντολές και Ρυθμίσεις

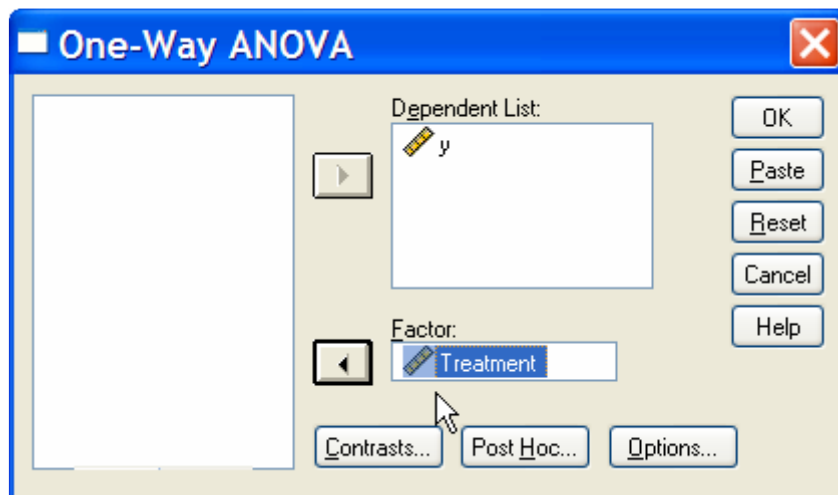
Πραγματοποιήστε τις παρακάτω ενέργειες (βλέπε και Εικόνα Γ1).

Analyze → Compare Means → One-Way ANOVA



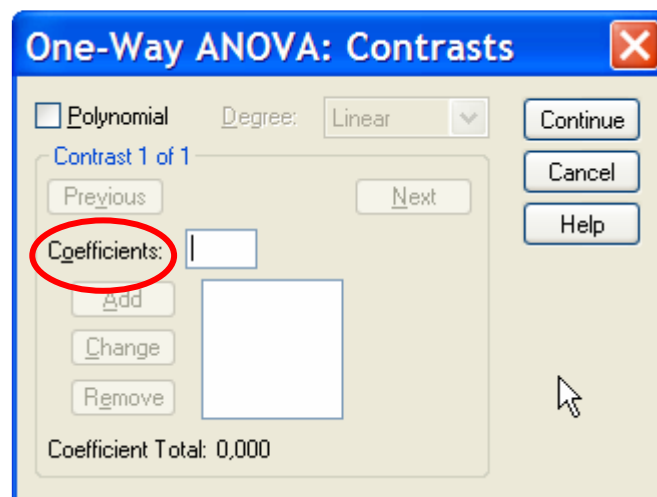
Εικόνα Γ1: Επιλογή Στατιστικής Διαδικασίας Compare Means: One-Way ANOVA

Εισάγουμε τη μεταβλητή y στο πεδίο **Dependent List** και τη μεταβλητή Treatment στο πεδίο **Factor** (Εικόνα Γ2)



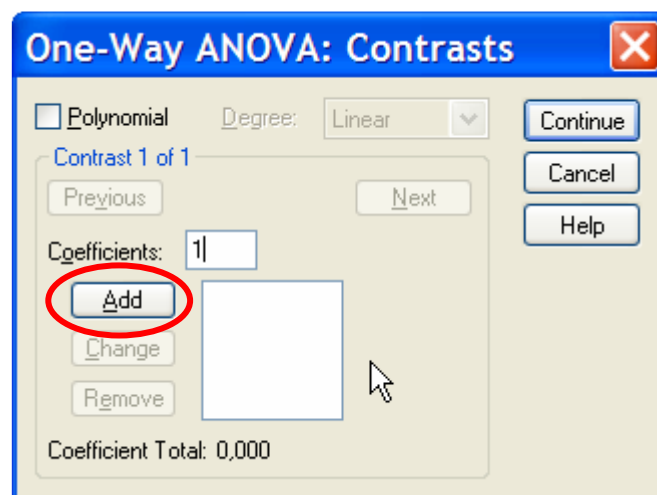
Εικόνα Γ2: Το πλαίσιο διαλόγου **One-Way ANOVA**

Πατάμε στο πλήκτρο **Contrasts**. Θα εμφανιστεί το παρακάτω πλαίσιο διαλόγου (**One-Way ANOVA: Contrasts**).

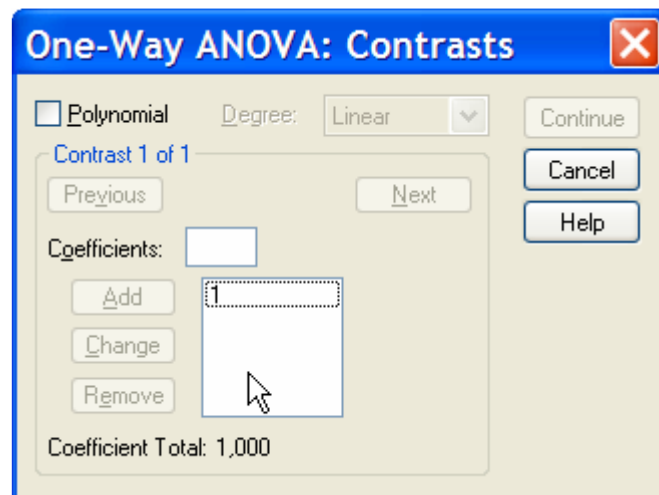


Εικόνα Γ3: Το πλαίσιο διαλόγου **Contrasts**

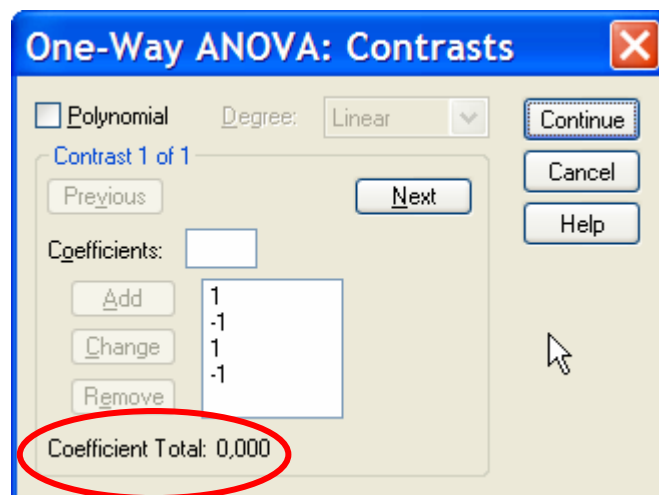
Στο πεδίο **Coefficients** εισάγουμε τον αριθμό 1 και πατάμε στο πλήκτρο **Add** (Εικόνα Γ4).



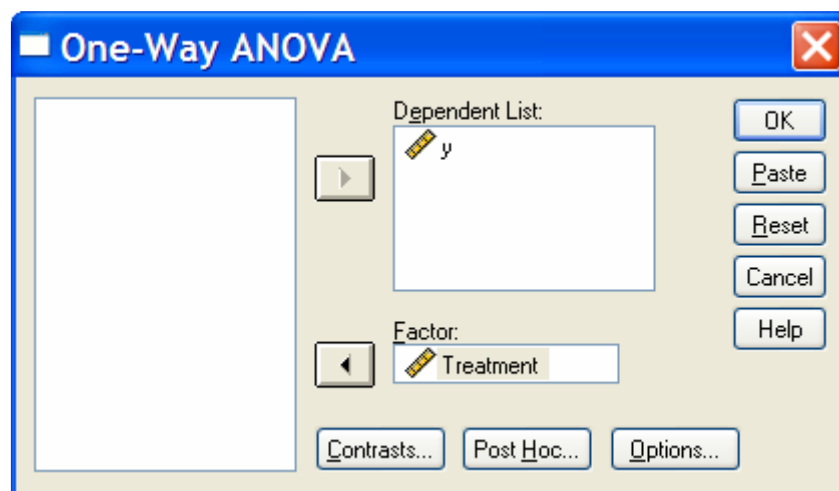
Εικόνα Γ4: Καθορισμός του πρώτου συντελεστή της αντίθεσης



Επαναλάβετε τη διαδικασία καταχωρώντας διαδοχικά και με αυτή τη σειρά τους αριθμούς -1, 1 και -1.

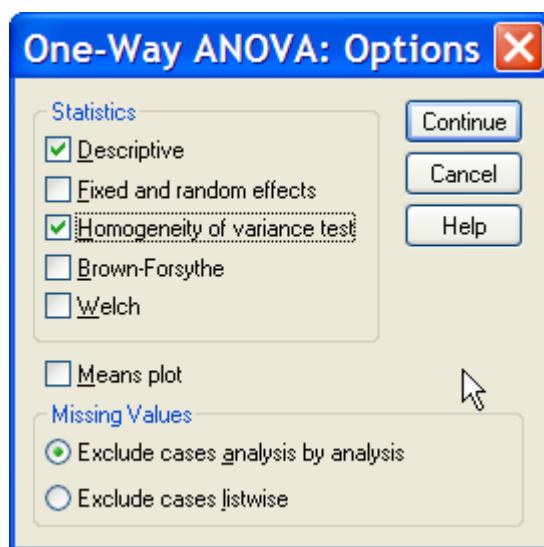


Οι συντελεστές με θετικό πρόσημο ομαδοποιούν τις επεμβάσεις 1 και 3 ενώ οι συντελεστές με αρνητικό τις επεμβάσεις 2 και 4. Θα πρέπει το άθροισμα των 4 συντελεστών να είναι ίσο με μηδέν (βλέπε περιοχή **Coefficient Total: 0,000**). Πατήστε στο πλήκτρο **Continue**.

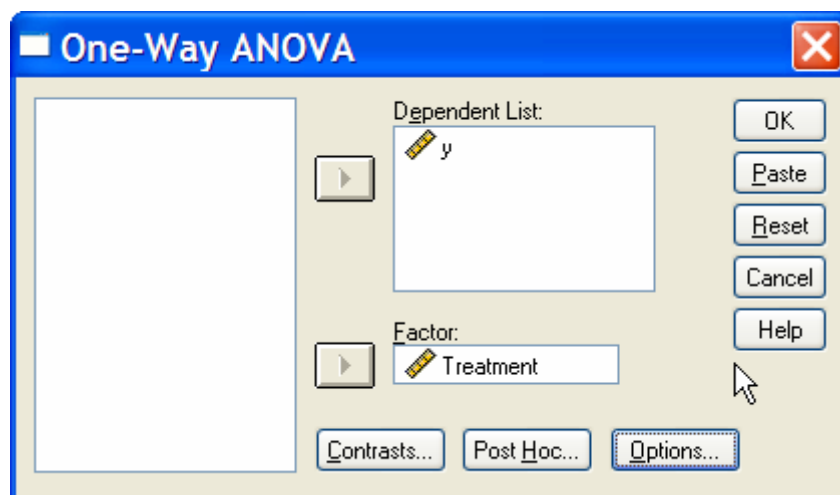


Πατήστε στο πλήκτρο **Options**.

Στην περιοχή **Statistics** εφαρμόστε τις ρυθμίσεις που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Πατήστε στο πλήκτρο **Continue**.



Πατήστε στο πλήκτρο **OK**.

## Έξοδος Αποτελεσμάτων

Descriptives

y	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	8	3,00	1,512	,535	1,74	4,26	1	6
2	8	3,50	,926	,327	2,73	4,27	2	5
3	8	4,25	1,035	,366	3,38	5,12	3	6
4	8	6,25	2,121	,750	4,48	8,02	3	10
Total	32	4,25	1,884	,333	3,57	4,93	1	10

### Test of Homogeneity of Variances

y

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,293	3	28	,296

### ANOVA

y

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	49,000	3	16,333	7,497	,001
Within Groups	61,000	28	2,179		
Total	110,000	31			

### Contrast Coefficients

Contrast	Treatment			
	1	2	3	4
1	1	-1	1	-1

### Contrast Tests

	Contrast	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)
y	Assume equal variances 1	-2,50	1,044	-2,395	28	,024
	Does not assume equal 1	-2,50	1,044	-2,395	19,431	,027

## Σχόλια

Από τον έλεγχο του **Levene** διαπιστώνεται ότι η υπόθεση της ομοιογένειας των παραλλακτικότητας μεταξύ των τεσσάρων ομάδων δεν μπορεί να απορριφθεί σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  ( $p=0,296$ ).

Από τον πίνακα με τίτλο **Contrasts Tests** διαπιστώνεται ότι η αντίθεση είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  (από τη γραμμή **Assume equal variances** έχουμε  $p=0,024$ ). Σε περίπτωση που δεν ίσχυε η ομοιογένεια παραλλακτικότητας τότε το συμπέρασμα σχετικά με τη στατιστική σημαντικότητα της αντίθεσης θα έπρεπε να εξαχθεί από την τιμή  $p$  της γραμμής **Does not assume equal**.



# Ενότητα Β

## Ανάλυση Παραλλακτικότητας (ANOVA) Παραγοντικών Πειραμάτων (General Linear Models-GLM)



Viola adorata

## Ταυτότητα Πειραμάτων

### 1. Παραγοντικό Πείραμα Split plot (RCBD)

Παραγοντικό Πείραμα:	4×4
Πειραματικό σχέδιο:	RCBD
Διάταξη:	Split plot
Πλήθος Ομάδων:	4
Κωδικοποίηση	<u>Παράγοντες:</u> <b>FA</b> (main plot factor) με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <b>FB</b> (sub plot factor) με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <b>Block</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <u>Εξαρτημένη Μεταβλητή: Y</u>
Πλήθος πειραματικών μονάδων:	64
Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS:	Βλέπε Εικόνα A1
Εντολές:	Βλέπε Εικόνα A2
Αποτελέσματα (Πίνακας ANOVA):	Βλέπε Εικόνα A3

### 2. Παραγοντικό Πείραμα Split plot (CRD)

Παραγοντικό Πείραμα:	4×4
Πειραματικό σχέδιο:	CRD
Διάταξη:	Split plot
Πλήθος Επαναλήψεων:	4
Κωδικοποίηση	<u>Παράγοντες:</u> <b>FA</b> (main plot factor) με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <b>FB</b> (sub plot factor) με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <b>Replication</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <u>Εξαρτημένη Μεταβλητή: Y</u>
Πλήθος πειραματικών μονάδων:	64
Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS:	Βλέπε Εικόνα B1
Εντολές:	Βλέπε Εικόνα B2
Αποτελέσματα (Πίνακας ANOVA):	Βλέπε Εικόνα B3

### 3. Παραγοντικό Πείραμα Strip plot ή Split block (RCBD)

Παραγοντικό Πείραμα:	4×4
Πειραματικό σχέδιο:	RCBD
Διάταξη:	Strip plot ή Split block
Πλήθος Ομάδων:	4
Κωδικοποίηση	<u>Παράγοντες:</u> <b>FA</b> (horizontal strip factor) με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <b>FB</b> (vertical strip factor) με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <b>Block</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <u>Εξαρτημένη Μεταβλητή: Y</u>
Πλήθος πειραματικών μονάδων:	64
Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS:	Βλέπε Εικόνα Γ1
Εντολές:	Βλέπε Εικόνα Γ2
Αποτελέσματα (Πίνακας ANOVA):	Βλέπε Εικόνα Γ3

#### 4. Παραγοντικό Πείραμα Split-split plot (RCBD)

Παραγοντικό Πείραμα:	3×2×3
Πειραματικό σχέδιο:	RCBD
Διάταξη:	Split-split plot
Πλήθος Ομάδων:	4
Κωδικοποίηση	<u>Παράγοντες:</u> <b>FA</b> (main plot factor) με 3 επίπεδα: 1 έως 3 <b>FB</b> (sub plot factor) με 2 επίπεδα: 1 έως 2 <b>FC</b> (sub-sub plot factor) με 3 επίπεδα: 1 έως 3 <b>Block</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <u>Εξαρτημένη Μεταβλητή: Y</u>
Πλήθος πειραματικών μονάδων:	72
Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS:	Βλέπε Εικόνα Δ1
Εντολές:	Βλέπε Εικόνα Δ2
Αποτελέσματα (Πίνακας ANOVA):	Βλέπε Εικόνα Δ3

#### 5. Παραγοντικό Πείραμα Split plot (a), 3 παράγοντες: 1 main & 2 sub plot

Παραγοντικό Πείραμα:	3×2×3
Πειραματικό σχέδιο:	RCBD
Διάταξη:	Split plot (1 main plot factor, 2 sub plot factors)
Πλήθος Ομάδων:	4
Κωδικοποίηση	<u>Παράγοντες:</u> <b>FA</b> (main plot factor) με 3 επίπεδα: 1 έως 3 <b>FB</b> (sub plot factor) με 2 επίπεδα: 1 έως 2 <b>FC</b> (sub plot factor) με 3 επίπεδα: 1 έως 3 <b>Block</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <u>Εξαρτημένη Μεταβλητή: Y</u>
Πλήθος πειραματικών μονάδων:	72
Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS:	Όπως στην Εικόνα Δ1
Εντολές:	Βλέπε Εικόνα Ε2
Αποτελέσματα (Πίνακας ANOVA):	Βλέπε Εικόνα Ε3

#### 6. Παραγοντικό Πείραμα Split plot (b), 3 παράγοντες: 2 main & 1 sub plot

Παραγοντικό Πείραμα:	3×2×3
Πειραματικό σχέδιο:	RCBD
Διάταξη:	Split plot (2 main plot factors, 1 sub plot factor)
Πλήθος Ομάδων:	4
Κωδικοποίηση	<u>Παράγοντες:</u> <b>FA</b> (main plot factor) με 3 επίπεδα: 1 έως 3 <b>FB</b> (main plot factor) με 2 επίπεδα: 1 έως 2 <b>FC</b> (sub plot factor) με 3 επίπεδα: 1 έως 3 <b>Block</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <u>Εξαρτημένη Μεταβλητή: Y</u>
Πλήθος πειραματικών μονάδων:	72
Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS:	Όπως στην Εικόνα Δ1
Εντολές:	Βλέπε Εικόνα ΣΤ2
Αποτελέσματα (Πίνακας ANOVA):	Βλέπε Εικόνα ΣΤ3

### 7. Παραγοντικό Πείραμα με 2 παράγοντες (RCBD)

Παραγοντικό Πείραμα:	4×4
Πειραματικό σχέδιο:	RCBD
Πλήθος Ομάδων:	4
Κωδικοποίηση	<u>Παράγοντες:</u> <b>FA</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <b>FB</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <b>Block</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <u>Εξαρτημένη Μεταβλητή: Y</u>
Πλήθος πειραματικών μονάδων:	64
Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS:	Όπως στην Εικόνα A1
Εντολές:	Βλέπε Εικόνα Z2
Αποτελέσματα (Πίνακας ANOVA):	Βλέπε Εικόνα Z3

### 8. Παραγοντικό Πείραμα με 2 παράγοντες (CRD)

Παραγοντικό Πείραμα:	4×4
Πειραματικό σχέδιο:	CRD
Πλήθος Επαναλήψεων:	4
Κωδικοποίηση	<u>Παράγοντες:</u> <b>FA</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <b>FB</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <b>Replication</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <u>Εξαρτημένη Μεταβλητή: Y</u>
Πλήθος πειραματικών μονάδων:	64
Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS:	Όπως στην Εικόνα B1
Εντολές:	Βλέπε Εικόνα H2
Αποτελέσματα (Πίνακας ANOVA):	Βλέπε Εικόνα H3

### 9. Παραγοντικό Πείραμα με 3 παράγοντες (RCBD)

Παραγοντικό Πείραμα:	3×2×3
Πειραματικό σχέδιο:	RCBD
Πλήθος Ομάδων:	4
Κωδικοποίηση	<u>Παράγοντες:</u> <b>FA</b> με 3 επίπεδα: 1 έως 3 <b>FB</b> με 2 επίπεδα: 1 έως 2 <b>FC</b> με 3 επίπεδα: 1 έως 3 <b>Block</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <u>Εξαρτημένη Μεταβλητή: Y</u>
Πλήθος πειραματικών μονάδων:	72
Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS:	Όπως στην Εικόνα Δ1
Εντολές:	Βλέπε Εικόνα Θ2
Αποτελέσματα (Πίνακας ANOVA):	Βλέπε Εικόνα Θ3

## 1. Παραγοντικό Πείραμα Split plot (RCBD)

	FA	FB	Block	Y	var
1	1	1	1	42,9	
2	1	1	2	41,6	
3	1	1	3	28,9	
4	1	1	4	30,8	
5	2	1	1	53,3	
6	2	1	2	69,6	
7	2	1	3	45,4	
8	2	1	4	35,1	
9	3	1	1	62,3	
10	3	1	2	58,5	
11	3	1	3	44,6	
12	3	1	4	50,3	
13	4	1	1	75,4	
14	4	1	2	65,6	
15	4	1	3	54,0	
16	4	1	4	52,7	
17	1	2	1	53,8	
18	1	2	2	58,5	
19	1	2	3	43,9	
20	1	2	4	46,3	
21	2	2	1	57,6	
22	2	2	2	69,6	
23	2	2	3	42,4	
24	2	2	4	51,9	
25	3	2	1	63,4	
26	3	2	2	50,4	
27	3	2	3	45,0	
28	3	2	4	46,7	
29	4	2	1	70,3	
30	4	2	2	67,3	
31	4	2	3	57,6	
32	4	2	4	58,5	
33	1	3	1	49,5	
34	1	3	2	53,8	
35	1	3	3	40,7	
36	1	3	4	39,4	

Εικόνα Α1: Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS: Split plot (RCBD)

The image illustrates the steps to create a split plot (RCBD) in SPSS:

- Step 1:** In the **Analyze** menu, select **General Linear Model** > **Univariate...**
- Step 2:** In the **Univariate** dialog box, set the **Dependent Variable** to **Y** and add **FA**, **FB**, and **Block** as **Fixed Factor(s)**.
- Step 3:** In the **Univariate** dialog box, set the **Dependent Variable** to **Y** and add **FA**, **FB**, and **Block** as **Fixed Factor(s)**.
- Step 4:** In the **Univariate: Model** dialog box, select **Custom** and add the **FA\*FB** interaction term to the **Model** list.

**Εικόνα A2:** Εντολές στο SPSS: Split plot (RCBD)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Y

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Intercept	Hypothesis	178485,126	1	178485,126	188,350	,001
	Error	2842,873	3	947,624 <sup>a</sup>		
<b>Block</b>	Hypothesis	<b>2842,873</b>	<b>3</b>	<b>947,624</b>	13,794	,001
	Error	618,294	9	68,699 <sup>b</sup>		
<b>FA</b>	Hypothesis	<b>2848,022</b>	<b>3</b>	<b>949,341</b>	<b>13,819</b>	<b>,001</b>
	Error	618,294	9	68,699 <sup>b</sup>		
<b>FA * Block</b>	Hypothesis	<b>618,294</b>	<b>9</b>	<b>68,699</b>	3,382	,004
	Error	731,203	36	20,311 <sup>c</sup>		
<b>FB</b>	Hypothesis	<b>170,537</b>	<b>3</b>	<b>56,846</b>	<b>2,799</b>	<b>,054</b>
	Error	731,203	36	20,311 <sup>c</sup>		
<b>FA * FB</b>	Hypothesis	<b>586,466</b>	<b>9</b>	<b>65,163</b>	<b>3,208</b>	<b>,006</b>
	Error	<b>731,203</b>	<b>36</b>	<b>20,311<sup>c</sup></b>		

Εικόνα Α3: Πίνακας ANOVA: Split plot (RCBD)

#### Επεξηγήσεις:

Τα στοιχεία του πίνακα που είναι χρήσιμα για τα στατιστικά συμπεράσματα δηλώνονται με κίτρινη επισήμανση και έντονη γραφή.

Η πηγή παραλλακτικότητας **FA\*Block** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error a** (Main plot analysis).

Η τελευταία γραμμή του πίνακα με την ένδειξη **Error** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error b** (Sub plot analysis).

Συνεπώς: Μέσο τετράγωνο σφάλματος a (Error a)=68,699 (9 β.ε.) και μέσο τετράγωνο σφάλματος b (Error b)=20,311 (36 β.ε.).

#### Σημειώσεις αναγνώστη:

## 2. Παραγοντικό Πείραμα Split plot (CRD)

\*Data for Split Plot.sav [DataSet1] - IBM SPSS Statist

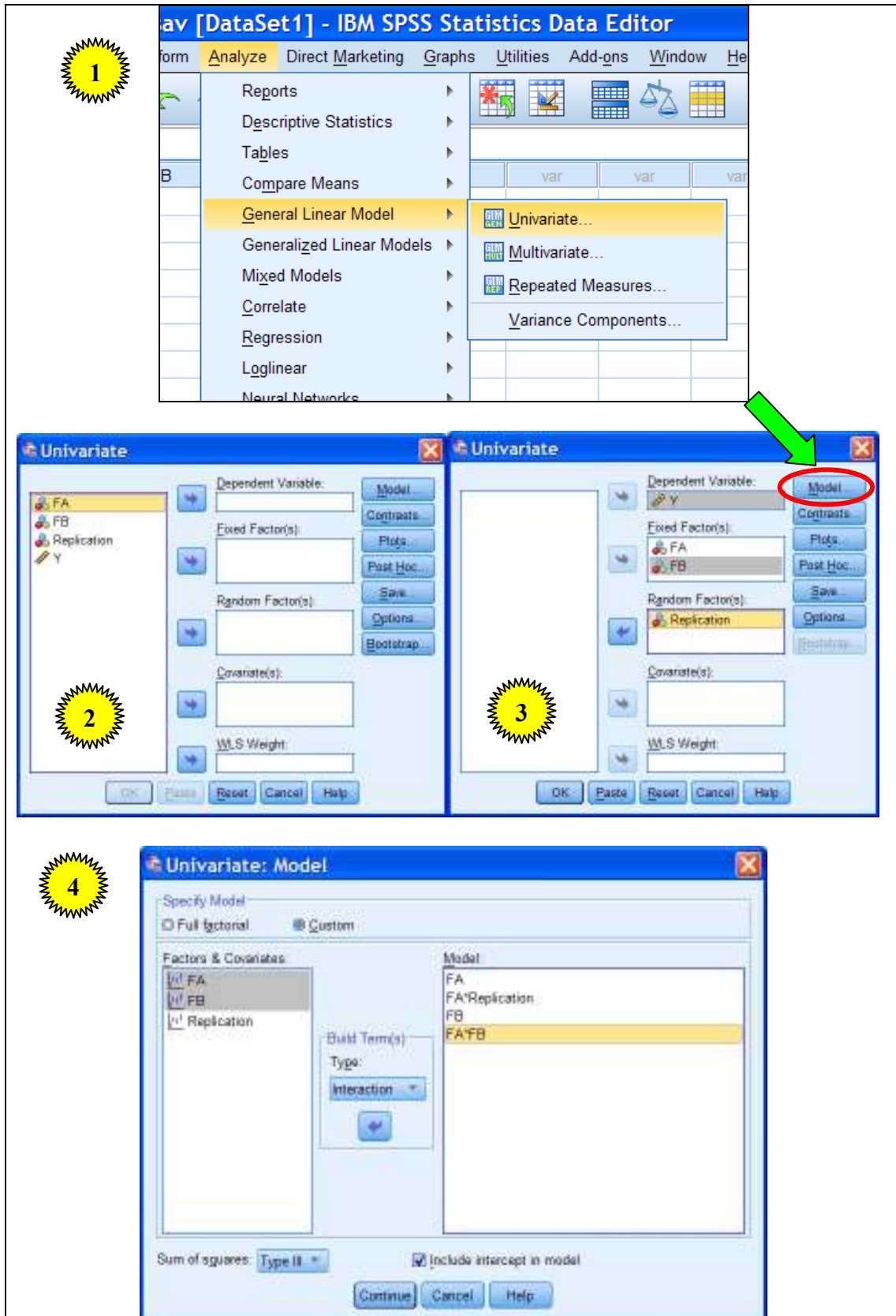
File Edit View Data Transform Analyze Direct Marketing Graphs

	FA	FB	Replication	Y	var
1	1	1	1	42,9	
2	1	1	2	41,6	
3	1	1	3	28,9	
4	1	1	4	30,8	
5	2	1	1	53,3	
6	2	1	2	69,6	
7	2	1	3	45,4	
8	2	1	4	35,1	
9	3	1	1	62,3	
10	3	1	2	58,5	
11	3	1	3	44,6	
12	3	1	4	50,3	
13	4	1	1	75,4	
14	4	1	2	65,6	
15	4	1	3	54,0	
16	4	1	4	52,7	
17	1	2	1	53,8	
18	1	2	2	58,5	
19	1	2	3	43,9	
20	1	2	4	46,3	
21	2	2	1	57,6	
22	2	2	2	69,6	
23	2	2	3	42,4	
24	2	2	4	51,9	
25	3	2	1	63,4	
26	3	2	2	50,4	
27	3	2	3	45,0	
28	3	2	4	46,7	
29	4	2	1	70,3	
30	4	2	2	67,3	
31	4	2	3	57,6	
32	4	2	4	58,5	
33	1	3	1	49,5	
34	1	3	2	53,8	
35	1	3	3	40,7	
36	1	3	4	39,4	

Data View Variable View

**Εικόνα Β1:** Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS: Split plot (CRD)





**Εικόνα B2:** Εντολές στο SPSS: Split plot (CRD)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Y

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	178485,126	1	178485,126	618,815	,000
	Error	3461,167	12	288,431 <sup>a</sup>		
<b>FA</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>2848,022</b>	<b>3</b>	<b>949,341</b>	<b>3,291</b>	<b>,058</b>
	Error	3461,167	12	288,431 <sup>a</sup>		
<b>FA * Replication</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>3461,167</b>	<b>12</b>	<b>288,431</b>	14,201	,000
	Error	731,203	36	20,311 <sup>b</sup>		
<b>FB</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>170,537</b>	<b>3</b>	<b>56,846</b>	<b>2,799</b>	<b>,054</b>
	Error	731,203	36	20,311 <sup>b</sup>		
<b>FA * FB</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>586,466</b>	<b>9</b>	<b>65,163</b>	<b>3,208</b>	<b>,006</b>
	<b>Error</b>	<b>731,203</b>	<b>36</b>	<b>20,311<sup>b</sup></b>		

Εικόνα Β3: Πίνακας ANOVA: Split plot (CRD)

#### Επεξηγήσεις:

Τα στοιχεία του πίνακα που είναι χρήσιμα για τα στατιστικά συμπεράσματα δηλώνονται με κίτρινη επισήμανση και έντονη γραφή.

Η πηγή παραλλακτικότητας **FA\*Replication** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error a** (Main plot analysis).

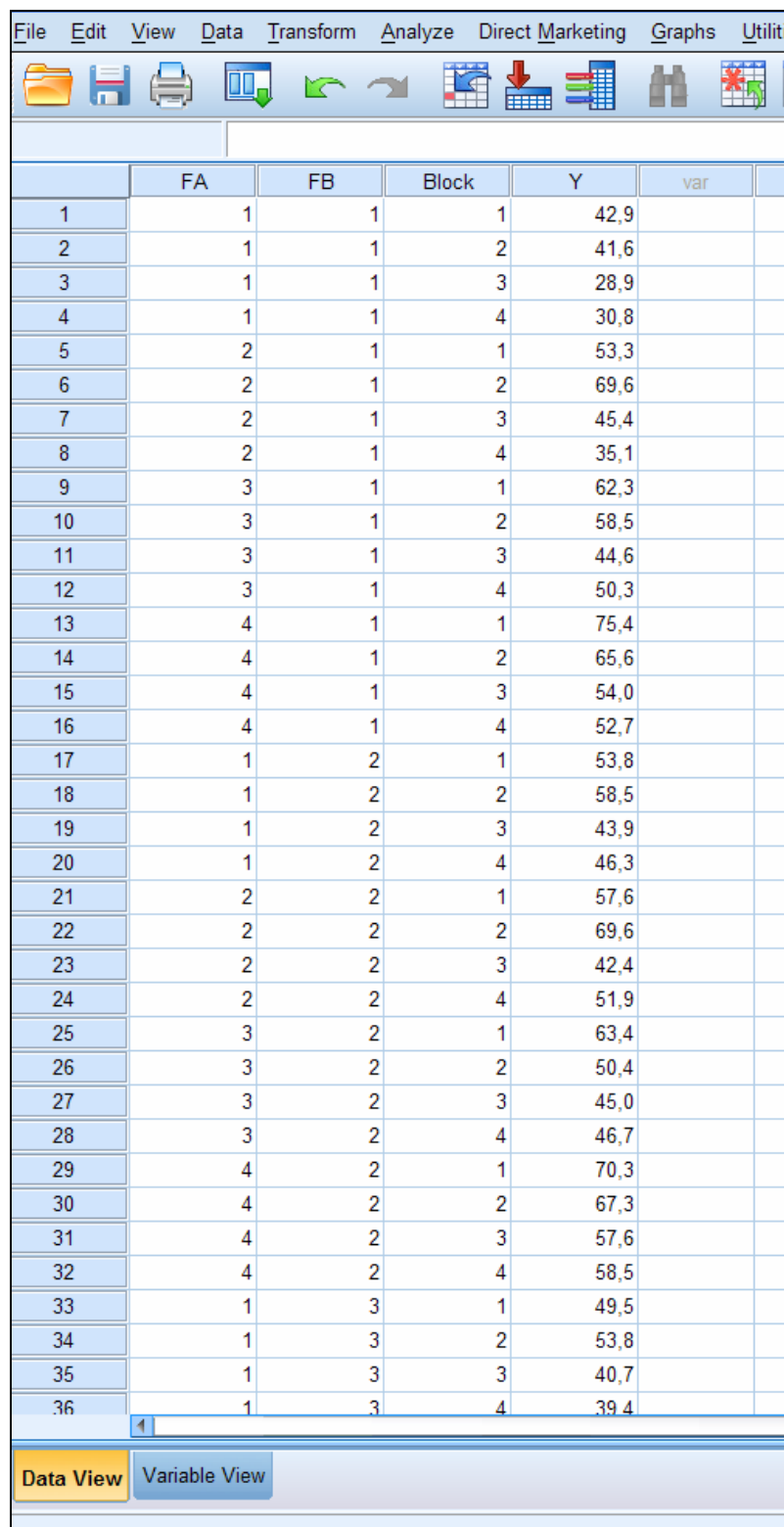
Η τελευταία γραμμή του πίνακα με την ένδειξη **Error** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error b** (Sub plot analysis).

Συνεπώς: Μέσο τετράγωνο σφάλματος a (Error a)=288,431 (12 β.ε.) και μέσο τετράγωνο σφάλματος b (Error b)=20,311 (36 β.ε.).

#### Παρατηρήσεις:

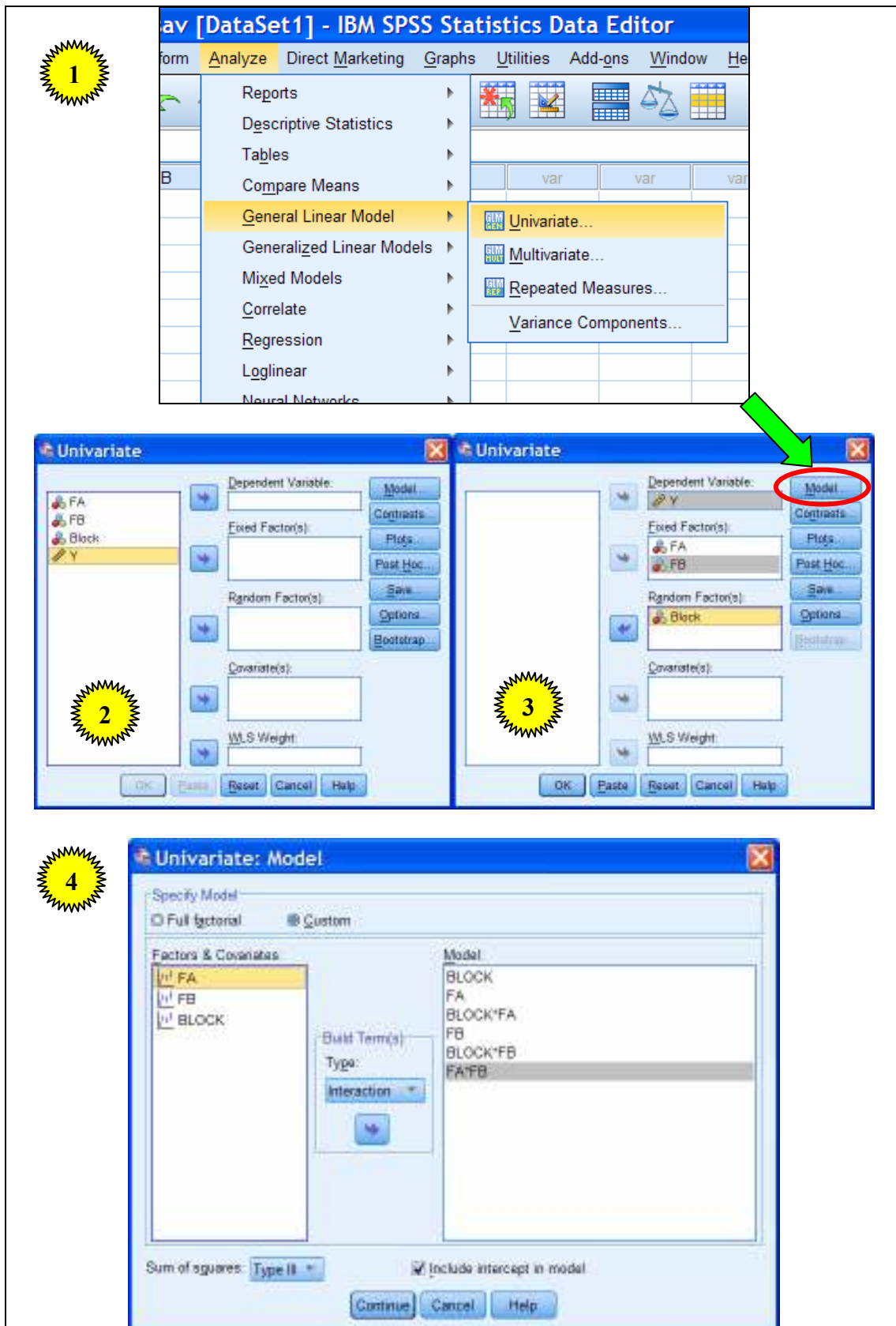
1. Στον πίνακα ANOVA το άθροισμα τετραγώνων που αντιστοιχεί στην πηγή παραλλακτικότητας **FA\*Replication** υπολογιστικά είναι ίσο με το άθροισμα τετραγώνων της πηγής **Replication(FA)**. Ο προηγούμενος συμβολισμός είναι ο ορθός και δηλώνει ότι τα επίπεδα του παράγοντα που εμφανίζεται εκτός παρένθεσης είναι εμφωλευμένα μέσα (εντός) στα επίπεδα του παράγοντα που εμφανίζεται μέσα στην παρένθεση (ιεραρχική δομή παραγόντων).
2. Σε παραγοντικά πειράματα που βασίζονται στο CRD, στο αντίστοιχο μαθηματικό υπόδειγμα δεν περιλαμβάνεται όρος που αντιστοιχεί στην κύρια επίδραση των επαναλήψεων (Replication).

### 3. Παραγοντικό Πείραμα Strip plot ή Split block (RCBD)



	FA	FB	Block	Y	var
1	1	1	1	42,9	
2	1	1	2	41,6	
3	1	1	3	28,9	
4	1	1	4	30,8	
5	2	1	1	53,3	
6	2	1	2	69,6	
7	2	1	3	45,4	
8	2	1	4	35,1	
9	3	1	1	62,3	
10	3	1	2	58,5	
11	3	1	3	44,6	
12	3	1	4	50,3	
13	4	1	1	75,4	
14	4	1	2	65,6	
15	4	1	3	54,0	
16	4	1	4	52,7	
17	1	2	1	53,8	
18	1	2	2	58,5	
19	1	2	3	43,9	
20	1	2	4	46,3	
21	2	2	1	57,6	
22	2	2	2	69,6	
23	2	2	3	42,4	
24	2	2	4	51,9	
25	3	2	1	63,4	
26	3	2	2	50,4	
27	3	2	3	45,0	
28	3	2	4	46,7	
29	4	2	1	70,3	
30	4	2	2	67,3	
31	4	2	3	57,6	
32	4	2	4	58,5	
33	1	3	1	49,5	
34	1	3	2	53,8	
35	1	3	3	40,7	
36	1	3	4	39,4	

Εικόνα Γ1: Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS: Strip plot ή Split Block (RCBD)



Εικόνα Γ2: Εντολές στο SPSS: Strip plot ή Split Block (RCBD)

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Y

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Intercept	Hypothesis	178485,126	1	178485,126	188,350	,001
	Error	2842,873	3	947,624 <sup>a</sup>		
<b>Block</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>2842,873</b>	<b>3</b>	<b>947,624</b>	16,605	,003
	Error	332,323	5,823	57,069 <sup>b</sup>		
<b>FA</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>2848,022</b>	<b>3</b>	<b>949,341</b>	<b>13,819</b>	<b>,001</b>
	Error	618,294	9	68,699 <sup>c</sup>		
<b>FA * Block</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>618,294</b>	<b>9</b>	<b>68,699</b>	2,959	,014
	Error	626,908	27	23,219 <sup>d</sup>		
<b>FB</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>170,537</b>	<b>3</b>	<b>56,846</b>	<b>4,905</b>	<b>,027</b>
	Error	104,294	9	11,588 <sup>e</sup>		
<b>FB * Block</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>104,294</b>	<b>9</b>	<b>11,588</b>	,499	,862
	Error	626,908	27	23,219 <sup>d</sup>		
<b>FA * FB</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>586,466</b>	<b>9</b>	<b>65,163</b>	<b>2,806</b>	<b>,018</b>
	Error	626,908	27	23,219 <sup>d</sup>		

Εικόνα Γ3: Πίνακας ANOVA: Strip plot ή Split Block (RCBD)

## Επεξηγήσεις:

Τα στοιχεία του πίνακα που είναι χρήσιμα για τα στατιστικά συμπεράσματα δηλώνονται με κίτρινη επισήμανση και έντονη γραφή.

Η πηγή παραλλακτικότητας **FA\*Block** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error a**.

Η πηγή παραλλακτικότητας **FB\*Block** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error b**.

Η τελευταία γραμμή του πίνακα με την ένδειξη **Error** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error c**.

Συνεπώς: Μέσο τετράγωνο σφάλματος a (Error a)=68,699 (9 β.ε.), μέσο τετράγωνο σφάλματος b (Error b)=11,588 (9 β.ε.) και μέσο τετράγωνο σφάλματος c (Error c)=23,219 (27 β.ε.).

## Σημειώσεις αναγνώστη:

## 4. Παραγοντικό Πείραμα Split-split plot (RCBD)

\*Split Split Plot.sav [DataSet5] - IBM SPSS Statistics Data

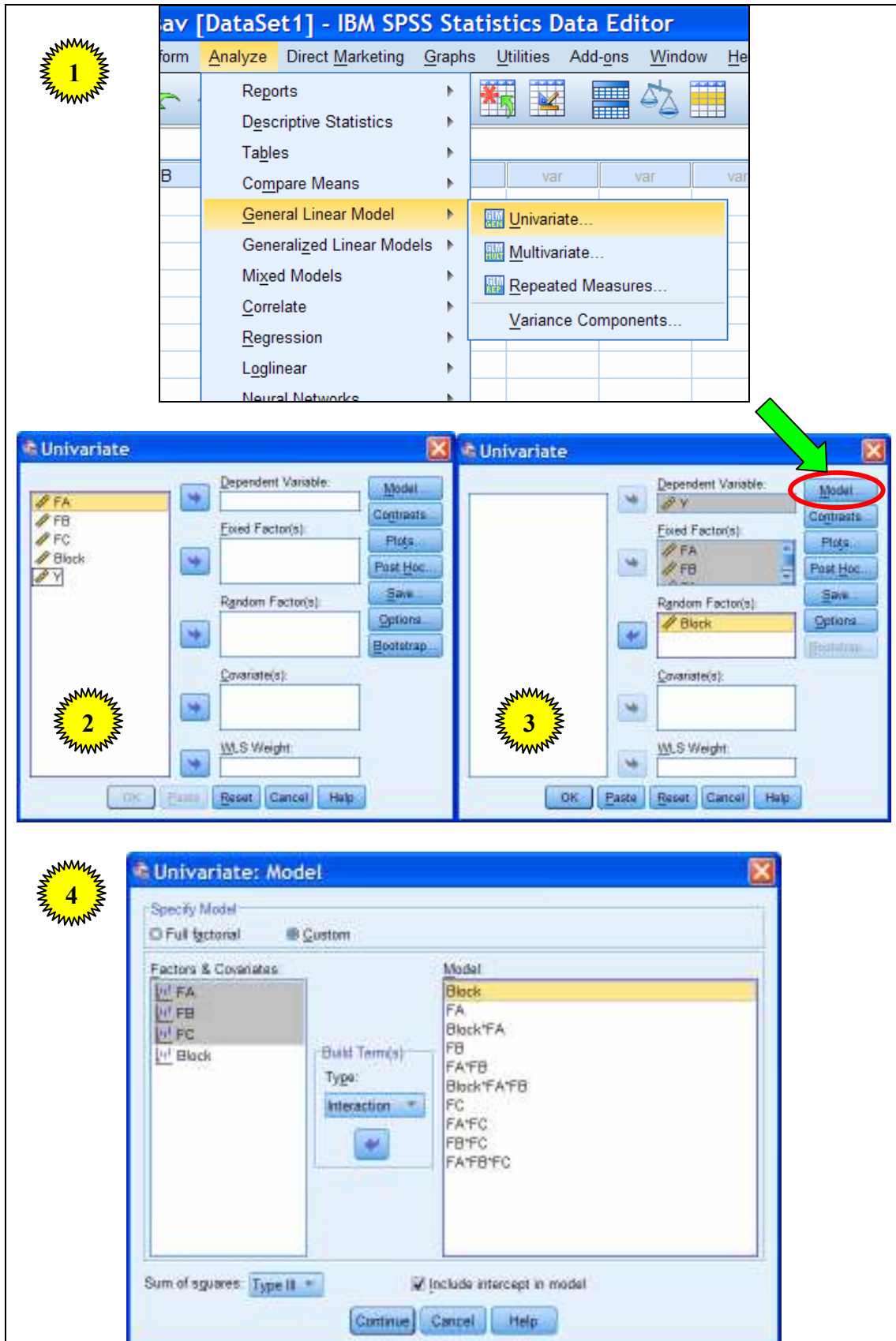
File Edit View Data Transform Analyze Direct Marketing Graphs Utilities

1 : FA 1

	FA	FB	FC	Block	Y
1	1	1	1	1	25,70
2	1	1	1	2	25,40
3	1	1	1	3	23,80
4	1	1	1	4	22,00
5	1	1	2	1	31,80
6	1	1	2	2	29,50
7	1	1	2	3	28,70
8	1	1	2	4	26,40
9	1	1	3	1	34,60
10	1	1	3	2	37,20
11	1	1	3	3	29,10
12	1	1	3	4	23,70
13	1	2	1	1	27,70
14	1	2	1	2	30,30
15	1	2	1	3	30,20
16	1	2	1	4	33,20
17	1	2	2	1	38,00
18	1	2	2	2	40,60
19	1	2	2	3	34,60
20	1	2	2	4	31,00
21	1	2	3	1	42,10
22	1	2	3	2	43,60
23	1	2	3	3	44,60
24	1	2	3	4	42,70
25	2	1	1	1	28,90
26	2	1	1	2	24,70
27	2	1	1	3	27,80
28	2	1	1	4	23,40
29	2	1	2	1	37,50
30	2	1	2	2	31,50
31	2	1	2	3	31,00
32	2	1	2	4	27,80
33	2	1	3	1	38,40
34	2	1	3	2	32,50
35	2	1	3	3	31,20
36	2	1	3	4	29,80

Data View Variable View

Εικόνα Δ1: Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS: Split-split plot (RCBD)



**Εικόνα Δ2:** Εντολές στο SPSS: Split-split plot (RCBD)

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Y

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	68907,094	1	68907,094	1441,007	,000
	Error	143,456	3	47,819 <sup>a</sup>		
<b>Block</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>143,456</b>	<b>3</b>	<b>47,819</b>	2,567	,150
	Error	111,758	6	18,626 <sup>b</sup>		
<b>FA</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>443,689</b>	<b>2</b>	<b>221,844</b>	<b>11,910</b>	<b>,008</b>
	Error	111,758	6	18,626 <sup>b</sup>		
<b>FA * Block</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>111,758</b>	<b>6</b>	<b>18,626</b>	2,140	,147
	Error	78,343	9	8,705 <sup>c</sup>		
<b>FB</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>706,880</b>	<b>1</b>	<b>706,880</b>	<b>81,206</b>	<b>,000</b>
	Error	78,343	9	8,705 <sup>c</sup>		
<b>FA * FB</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>40,687</b>	<b>2</b>	<b>20,344</b>	<b>2,337</b>	<b>,152</b>
	Error	78,343	9	8,705 <sup>c</sup>		
<b>FA * FB * Block</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>78,343</b>	<b>9</b>	<b>8,705</b>	1,860	,091
	Error	168,498	36	4,681 <sup>d</sup>		
<b>FC</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>962,335</b>	<b>2</b>	<b>481,168</b>	<b>102,802</b>	<b>,000</b>
	Error	168,498	36	4,681 <sup>d</sup>		
<b>FA * FC</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>13,110</b>	<b>4</b>	<b>3,277</b>	<b>,700</b>	<b>,597</b>
	Error	168,498	36	4,681 <sup>d</sup>		
<b>FB * FC</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>127,831</b>	<b>2</b>	<b>63,915</b>	<b>13,656</b>	<b>,000</b>
	Error	168,498	36	4,681 <sup>d</sup>		
<b>FA * FB * FC</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>44,019</b>	<b>4</b>	<b>11,005</b>	<b>2,351</b>	<b>,072</b>
	<b>Error</b>	<b>168,498</b>	<b>36</b>	<b>4,681<sup>d</sup></b>		

Εικόνα Δ3: Πίνακας ANOVA: Split-split plot (RCBD)

## Επεξηγήσεις:

Τα στοιχεία του πίνακα που είναι χρήσιμα για τα στατιστικά συμπεράσματα δηλώνονται με κίτρινη επισήμανση και έντονη γραφή.

Η πηγή παραλλακτικότητας **FA\*Block** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error a** (Main plot analysis).

Η πηγή παραλλακτικότητας **FA\*FB\*Block** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error b** (Sub plot analysis).

Η τελευταία γραμμή του πίνακα με την ένδειξη **Error** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error c** (Sub-sub plot analysis).

Συνεπώς: Μέσο τετράγωνο σφάλματος a (Error a)=18,626 (6 β.ε.), μέσο τετράγωνο σφάλματος b (Error b)=8,705 (9 β.ε.) και μέσο τετράγωνο σφάλματος c (Error c)=4,681 (36 β.ε.).



## 5. Παραγοντικό Πείραμα Split plot (a), 3 factors: 1 main & 2 sub plot

The image illustrates the SPSS interface for creating a Split plot (a) with 3 factors. It is divided into four numbered steps:

- Step 1:** The main SPSS window shows the menu path: **Analyze** > **General Linear Model** > **Univariate...**
- Step 2:** The **Univariate** dialog box is shown. The **Dependent Variable** is **Y**. The **Fixed Factor(s)** are **FA**, **FB**, **FC**, and **Block**. The **Model** button is highlighted with a red circle and a green arrow.
- Step 3:** The **Univariate** dialog box is shown again. The **Dependent Variable** is **Y**. The **Fixed Factor(s)** are **FA**, **FB**, and **Block**. The **Model** button is highlighted with a red circle.
- Step 4:** The **Univariate: Model** dialog box is shown. The **Specify Model** section has **Custom** selected. The **Factors & Covariates** list includes **FA**, **FB**, **FC**, and **Block**. The **Build Term(s)** section has **Interaction** selected. The **Model** list includes **Block**, **FA**, **Block\*FA**, **FB**, **FC**, **FB\*FC**, **FA\*FB**, **FA\*FC**, and **FA\*FB\*FC**. The **Sum of squares** is set to **Type III** and **Include intercept in model** is checked.

**Εικόνα Ε2:** Εντολές στο SPSS: Split plot (a), 3 factors, (RCBD)

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Y

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	68907,094	1	68907,094	1441,007	,000
	Error	143,456	3	47,819 <sup>a</sup>		
<b>Block</b>	Hypothesis	<b>143,456</b>	<b>3</b>	<b>47,819</b>	2,567	,150
	Error	111,758	6	18,626 <sup>b</sup>		
<b>FA</b>	Hypothesis	<b>443,689</b>	<b>2</b>	<b>221,844</b>	<b>11,910</b>	<b>,008</b>
	Error	111,758	6	18,626 <sup>b</sup>		
<b>FA * Block</b>	Hypothesis	<b>111,758</b>	<b>6</b>	<b>18,626</b>	3,396	,008
	Error	246,841	45	5,485 <sup>c</sup>		
<b>FB</b>	Hypothesis	<b>706,880</b>	<b>1</b>	<b>706,880</b>	<b>128,867</b>	<b>,000</b>
	Error	246,841	45	5,485 <sup>c</sup>		
<b>FC</b>	Hypothesis	<b>962,335</b>	<b>2</b>	<b>481,168</b>	<b>87,719</b>	<b>,000</b>
	Error	246,841	45	5,485 <sup>c</sup>		
<b>FB * FC</b>	Hypothesis	<b>127,831</b>	<b>2</b>	<b>63,915</b>	<b>11,652</b>	<b>,000</b>
	Error	246,841	45	5,485 <sup>c</sup>		
<b>FA * FB</b>	Hypothesis	<b>40,687</b>	<b>2</b>	<b>20,344</b>	<b>3,709</b>	<b>,032</b>
	Error	246,841	45	5,485 <sup>c</sup>		
<b>FA * FC</b>	Hypothesis	<b>13,110</b>	<b>4</b>	<b>3,277</b>	<b>,597</b>	<b>,666</b>
	Error	246,841	45	5,485 <sup>c</sup>		
<b>FA * FB * FC</b>	Hypothesis	<b>44,019</b>	<b>4</b>	<b>11,005</b>	<b>2,006</b>	<b>,110</b>
	Error	<b>246,841</b>	<b>45</b>	<b>5,485<sup>c</sup></b>		

Εικόνα Ε3: Πίνακας ANOVA: Split plot (a), 3 factors, (RCBD)

## Επεξηγήσεις:

Τα στοιχεία του πίνακα που είναι χρήσιμα για τα στατιστικά συμπεράσματα δηλώνονται με κίτρινη επισήμανση και έντονη γραφή.

Η πηγή παραλλακτικότητας **FA\*Block** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error a** (Main plot analysis).

Η τελευταία γραμμή του πίνακα με την ένδειξη **Error** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error b** (Sub plot analysis).

Συνεπώς: Μέσο τετράγωνο σφάλματος a (Error a)=18,626 (6 β.ε.) και μέσο τετράγωνο σφάλματος b (Error b)=5,485 (45 β.ε.).

## 6. Παραγοντικό Πείραμα Split plot (b), 3 factors: 2 main & 1 sub plot

The image illustrates the SPSS interface for setting up a Split plot (b) with 3 factors. It is divided into four numbered steps:

- Step 1:** The main SPSS window shows the menu path: **Analyze** > **General Linear Model** > **Univariate...**
- Step 2:** The **Univariate** dialog box is shown. The **Dependent Variable** is **Y**. The **Fixed Factor(s)** are **FA**, **FB**, and **FC**. The **Random Factor(s)** is **Block**. The **Model** button is highlighted with a red circle and a green arrow.
- Step 3:** The **Univariate** dialog box is shown again, but with the **Fixed Factor(s)** list containing only **FA** and **FB**. The **Random Factor(s)** is still **Block**.
- Step 4:** The **Univariate: Model** dialog box is shown. The **Specify Model** section has **Custom** selected. The **Factors & Covariates** list includes **FA**, **FB**, **FC**, and **Block**. The **Build Term(s)** section has **Interaction** selected. The **Model** list contains the following terms: **Block**, **FA**, **FB**, **FA\*FB**, **Block\*FA\*FB**, **FC**, **FA\*FC**, **FB\*FC**, and **FA\*FB\*FC**. The **FA\*FB\*FC** term is highlighted.

Εικόνα ΣΤ2: Εντολές στο SPSS: Split plot (b), 3 factors, (RCBD)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Y

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	68907,094	1	68907,094	1441,007	,000
	Error	143,456	3	47,819 <sup>a</sup>		
<b>Block</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>143,456</b>	<b>3</b>	<b>47,819</b>	3,773	,034
	Error	190,101	15	12,673 <sup>b</sup>		
<b>FA</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>443,689</b>	<b>2</b>	<b>221,844</b>	<b>17,505</b>	<b>,000</b>
	Error	190,101	15	12,673 <sup>b</sup>		
<b>FB</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>706,880</b>	<b>1</b>	<b>706,880</b>	<b>55,777</b>	<b>,000</b>
	Error	190,101	15	12,673 <sup>b</sup>		
<b>FA * FB</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>40,687</b>	<b>2</b>	<b>20,344</b>	<b>1,605</b>	<b>,233</b>
	Error	190,101	15	12,673 <sup>b</sup>		
<b>FA * FB * Block</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>190,101</b>	<b>15</b>	<b>12,673</b>	2,708	,007
	Error	168,498	36	4,681 <sup>c</sup>		
<b>FC</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>962,335</b>	<b>2</b>	<b>481,168</b>	<b>102,802</b>	<b>,000</b>
	Error	168,498	36	4,681 <sup>c</sup>		
<b>FA * FC</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>13,110</b>	<b>4</b>	<b>3,277</b>	<b>,700</b>	<b>,597</b>
	Error	168,498	36	4,681 <sup>c</sup>		
<b>FB * FC</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>127,831</b>	<b>2</b>	<b>63,915</b>	<b>13,656</b>	<b>,000</b>
	Error	168,498	36	4,681 <sup>c</sup>		
<b>FA * FB * FC</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>44,019</b>	<b>4</b>	<b>11,005</b>	<b>2,351</b>	<b>,072</b>
	<b>Error</b>	<b>168,498</b>	<b>36</b>	<b>4,681<sup>c</sup></b>		

Εικόνα ΣΤ3: Πίνακας ANOVA: Split plot (b), 3 factors, (RCBD)

#### Επεξηγήσεις:

Τα στοιχεία του πίνακα που είναι χρήσιμα για τα στατιστικά συμπεράσματα δηλώνονται με κίτρινη επισήμανση και έντονη γραφή.

Η πηγή παραλλακτικότητας **FA\*FB\*Block** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error a** (Main plot analysis).

Η τελευταία γραμμή του πίνακα με την ένδειξη **Error** αντιστοιχεί στο σφάλμα **Error b** (Sub plot analysis).

Συνεπώς: Μέσο τετράγωνο σφάλματος a (Error a)=12,673 (15 β.ε.) και μέσο τετράγωνο σφάλματος b (Error b)=4,681 (36 β.ε.).

## 7. Παραγοντικό Πείραμα με 2 παράγοντες (RCBD)

The image illustrates the SPSS interface for setting up a 2-factor RCBD experiment, divided into four numbered steps:

- Step 1:** The 'Analyze' menu is open, and 'General Linear Model' > 'Univariate...' is selected.
- Step 2:** The 'Univariate' dialog box is shown. The dependent variable is 'Y', and fixed factors are 'FA' and 'FB'.
- Step 3:** The 'Univariate' dialog box is shown. The random factor is 'Block'.
- Step 4:** The 'Univariate: Model' dialog box is shown. The model type is 'Custom', and the interaction term 'FA\*FB' is selected in the 'Model' list.

Εικόνα Z2: Εντολές στο SPSS: Παραγοντικό Πείραμα με 2 παράγοντες (RCBD)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Y

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	68907,094	1	68907,094	1441,007	,000
	Error	143,456	3	47,819 <sup>a</sup>		
Block	Hypothesis	143,456	3	47,819	2,001	,123
	Error	1505,894	63	23,903 <sup>b</sup>		
FA	Hypothesis	443,689	2	221,844	9,281	,000
	Error	1505,894	63	23,903 <sup>b</sup>		
FB	Hypothesis	706,880	1	706,880	29,573	,000
	Error	1505,894	63	23,903 <sup>b</sup>		
FA * FB	Hypothesis	40,687	2	20,344	,851	,432
	Error	1505,894	63	23,903 <sup>b</sup>		

Εικόνα Z3: Πίνακας ANOVA: Παραγοντικό Πείραμα με 2 παράγοντες (RCBD)

#### Επεξηγήσεις:

Τα στοιχεία του πίνακα που είναι χρήσιμα για τα στατιστικά συμπεράσματα δηλώνονται με κίτρινη επισήμανση και έντονη γραφή.

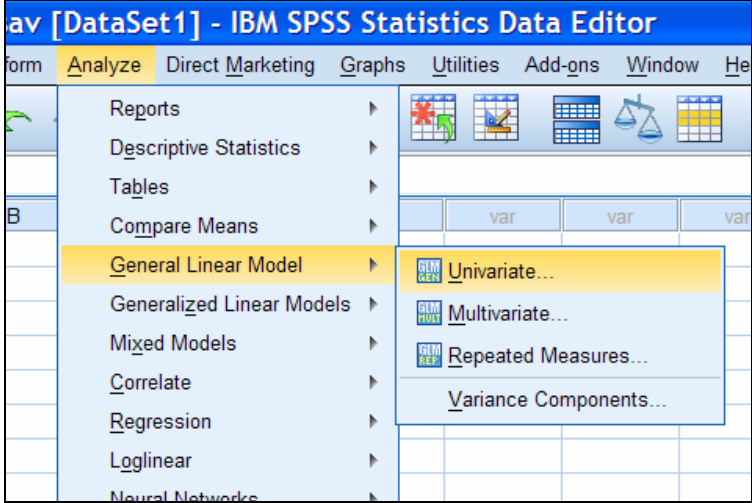
Η τελευταία γραμμή του πίνακα με την ένδειξη **Error** αντιστοιχεί στο Πειραματικό Σφάλμα.

Συνεπώς: Μέσο τετράγωνο σφάλματος=23,903 (63 β.ε.).

#### Σημειώσεις αναγνώστη:


## 8. Παραγοντικό Πείραμα με 2 παράγοντες (CRD)

**1**



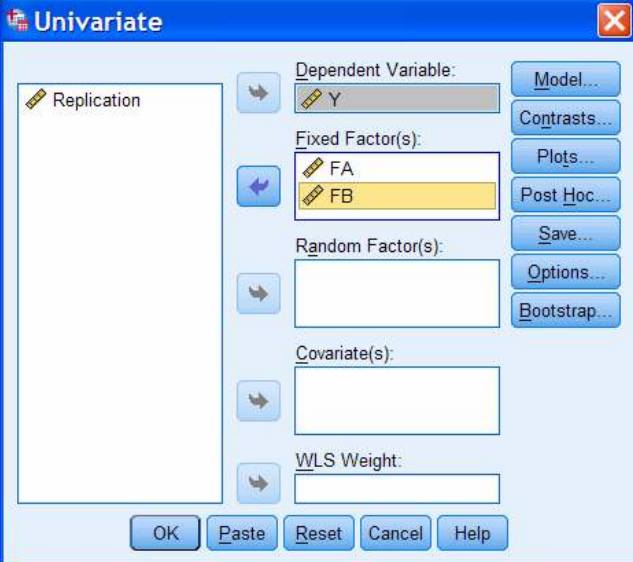
The screenshot shows the SPSS 'Analyze' menu. The 'General Linear Model' option is highlighted, and its sub-menu is open, showing 'Univariate...', 'Multivariate...', 'Repeated Measures...', and 'Variance Components...'.

**2**



The 'Univariate' dialog box is shown. The 'Dependent Variable' field is empty. The 'Fixed Factor(s)' field is empty. The 'Random Factor(s)' field is empty. The 'Covariate(s)' field is empty. The 'WLS Weight' field is empty. The 'Model...', 'Contrasts...', 'Plots...', 'Post Hoc...', 'Save...', 'Options...', and 'Bootstrap...' buttons are visible on the right. The 'OK', 'Paste', 'Reset', 'Cancel', and 'Help' buttons are at the bottom.

**3**



The 'Univariate' dialog box is shown with the following settings: 'Dependent Variable' is 'Replication', 'Fixed Factor(s)' are 'FA' and 'FB', 'Random Factor(s)' is empty, 'Covariate(s)' is empty, and 'WLS Weight' is empty. The 'Model...', 'Contrasts...', 'Plots...', 'Post Hoc...', 'Save...', 'Options...', and 'Bootstrap...' buttons are visible on the right. The 'OK', 'Paste', 'Reset', 'Cancel', and 'Help' buttons are at the bottom.

**Εικόνα Η2:** Εντολές στο SPSS: Παραγοντικό Πείραμα με 2 παράγοντες (CRD)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Y

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1191,256 <sup>a</sup>	5	238,251	9,534	,000
Intercept	68907,094	1	68907,094	2757,370	,000
FA	443,689	2	221,844	8,877	,000
FB	706,880	1	706,880	28,286	,000
FA * FB	40,687	2	20,344	,814	,447
Error	1649,350	66	24,990		
Total	71747,700	72			
Corrected Total	2840,606	71			

a. R Squared = ,419 (Adjusted R Squared = ,375)

**Εικόνα Η3:** Πίνακας ANOVA: Παραγοντικό Πείραμα με 2 παράγοντες (CRD)

#### Επεξηγήσεις:

Τα στοιχεία του πίνακα που είναι χρήσιμα για τα στατιστικά συμπεράσματα δηλώνονται με κίτρινη επισήμανση και έντονη γραφή.

Η γραμμή του πίνακα με την ένδειξη **Error** αντιστοιχεί στο Πειραματικό Σφάλμα.

Συνεπώς: Μέσο τετράγωνο σφάλματος=24,990 (66 β.ε.).

#### Σημειώσεις αναγνώστη:



## 9. Παραγοντικό Πείραμα με 3 παράγοντες (RCBD)

**1**

IBM SPSS Statistics Data Editor

Form **Analyze** Direct Marketing **Graphs** Utilities Add-ons **Window** Help

Reports  
Descriptive Statistics  
Tables  
Compare Means  
**General Linear Model**  
Generalized Linear Models  
Mixed Models  
Correlate  
Regression  
Loglinear  
Neural Networks

Univariate...  
Multivariate...  
Repeated Measures...  
Variance Components...

**2**

Univariate

Dependent Variable: Model

Fixed Factor(s):  
FA  
FB  
FC

Random Factor(s):  
Block

Covariate(s):  
Y

WLS Weight:

Model  
Contrasts  
Plots  
Post Hoc  
Save  
Options  
Bootstrap

**3**

Univariate

Dependent Variable: Y

Fixed Factor(s):  
FA  
FB  
FC

Random Factor(s):  
Block

Covariate(s):

WLS Weight:

Model  
Contrasts  
Plots  
Post Hoc  
Save  
Options  
Bootstrap

**4**

Univariate: Model

Specify Model  
 Full factorial  Custom

Factors & Covariates  
FA  
FB  
FC  
Block

Build Term(s)  
Type: All 3-way

Model  
Block  
FA  
FB  
FC  
FA\*FB  
FA\*FC  
FB\*FC  
FA\*FB\*FC

Sum of squares: Type III  Include intercept in model

Continue Cancel Help

Εικόνα 02: Εντολές στο SPSS: Παραγοντικό Πείραμα με 3 παράγοντες (RCBD)

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Y

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Intercept	Hypothesis	68907,094	1	68907,094	1441,007	,000
	Error	143,456	3	47,819 <sup>a</sup>		
<b>Block</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>143,456</b>	<b>3</b>	<b>47,819</b>	6,801	,001
	Error	358,599	51	7,031 <sup>b</sup>		
<b>FA</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>443,689</b>	<b>2</b>	<b>221,844</b>	<b>31,551</b>	<b>,000</b>
	Error	358,599	51	7,031 <sup>b</sup>		
<b>FB</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>706,880</b>	<b>1</b>	<b>706,880</b>	<b>100,533</b>	<b>,000</b>
	Error	358,599	51	7,031 <sup>b</sup>		
<b>FC</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>962,335</b>	<b>2</b>	<b>481,168</b>	<b>68,432</b>	<b>,000</b>
	Error	358,599	51	7,031 <sup>b</sup>		
<b>FA * FB</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>40,687</b>	<b>2</b>	<b>20,344</b>	<b>2,893</b>	<b>,065</b>
	Error	358,599	51	7,031 <sup>b</sup>		
<b>FA * FC</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>13,110</b>	<b>4</b>	<b>3,277</b>	<b>,466</b>	<b>,760</b>
	Error	358,599	51	7,031 <sup>b</sup>		
<b>FB * FC</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>127,831</b>	<b>2</b>	<b>63,915</b>	<b>9,090</b>	<b>,000</b>
	Error	358,599	51	7,031 <sup>b</sup>		
<b>FA * FB * FC</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>44,019</b>	<b>4</b>	<b>11,005</b>	<b>1,565</b>	<b>,198</b>
	<b>Error</b>	<b>358,599</b>	<b>51</b>	<b>7,031<sup>b</sup></b>		

Εικόνα 03: Πίνακας ANOVA: Παραγοντικό Πείραμα με 3 παράγοντες (RCBD)

## Επεξηγήσεις:

Τα στοιχεία του πίνακα που είναι χρήσιμα για τα στατιστικά συμπεράσματα δηλώνονται με κίτρινη επισήμανση και έντονη γραφή.

Η τελευταία γραμμή του πίνακα με την ένδειξη **Error** αντιστοιχεί στο Πειραματικό Σφάλμα.

Συνεπώς: Μέσο τετράγωνο σφάλματος=7,031 (51 β.ε.).

## Σημειώσεις αναγνώστη:

# Ενότητα Γ

## Συνδυασμένη Ανάλυση Πειραμάτων Δικτυωμένων στο Χώρο και στο Χρόνο (General Linear Models-GLM)



## Πειράματα Δικτυωμένα στο Χώρο και στο Χρόνο: Ταυτότητα Πειραμάτων

1. **One Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations (or Combined over Years).**
2. **One Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, with new Locations each Year.**
3. **Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, with the same Locations each Year but Randomized.**
4. **Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, same Locations and Randomization each Year (Perennial Crops).**
5. **Two Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations (or Combined over Years).**
6. **Two Factor Randomized Complete Block Design with Split plot Combined over Locations.**
7. **Two Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, same Location but Randomized each Year.**
8. **Two Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, same Location and Randomization each Year.**
9. **Two Factor Randomized Complete Block Design with Split, Combined over Locations and Years, same Location but Randomized each Year.**
10. **Two Factor Randomized Complete Block Design with Split, Combined over Locations and Years, same Location and Randomization each Year.**
11. **Two Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, with new Locations each Year.**
12. **Two Factor Randomized Complete Block Design with Split, Combined over Locations and Years with new Locations each Year.**

### Παρατηρήσεις:

Για την περιγραφή των παραπάνω πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε η ορολογία του λογισμικού MSTAT.

Η δομή των πινάκων ANOVA που αντιστοιχούν στα παραπάνω πειράματα βασίζεται στα υποδείγματα του λογισμικού MSTAT.

Στα επόμενα οι παράγοντες **Year** και **Location** θεωρούνται καθορισμένοι (fixed effects) (Steel and Torrie 1986, Steel, Torrie and Dickey 1997).

## Περιγραφή Μεθοδολογίας

Η ανάλυση των δεδομένων θα γίνει με χρήση εντολών σε μορφή κώδικα του SPSS σε τέσσερα βήματα:

1. Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS
2. Εκκίνηση του Syntax Editor του SPSS
3. Πληκτρολόγηση Εντολών στον Syntax Editor
4. Εκτέλεση Εντολών

### Παρατήρηση:

Για τη διευκόλυνση της πληκτρολόγησης εντολών στον Syntax Editor μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τη δυνατότητα του SPSS να παράγει αυτόματα κώδικα, δηλαδή ακολουθίες εντολών, διαδικασιών και ρυθμίσεων. Εκείνο που έχετε να κάνετε είναι το εξής: σε κάθε στατιστική διαδικασία, αφού αρχικά ορίσετε τις μεταβλητές και κάνετε τις βασικές ρυθμίσεις και επιλογές, στη συνέχεια, στο αρχικό πλαίσιο διαλόγου της στατιστικής διαδικασίας, μπορείτε να πατήσετε το πλήκτρο **Paste** (**Paste**). Θα παρατηρήσετε ότι μετά το πάτημα του πλήκτρου **Paste** θα ενεργοποιηθεί το πρόγραμμα Syntax Editor του SPSS και στην περιοχή εργασίας θα εμφανιστεί ο αντίστοιχος κώδικας. Σε αυτόν τον κώδικα μπορείτε να κάνετε τροποποιήσεις και προσθήκες.

### Παράδειγμα:

Έστω ότι έχετε επιλέξει κάποια στατιστική διαδικασία και έχετε κάνει τις βασικές ρυθμίσεις και επιλογές (εικόνες 1-4). Αν στο τέλος (εικόνα 5) πατήσετε στο πλήκτρο **Paste** τότε στο παράθυρο του Syntax Editor θα εμφανιστεί ο κώδικας που φαίνεται στην εικόνα 6.

UNIANOVA y BY fa block  
 /RANDOM=block  
 /METHOD=SSTYPE (3)  
 /INTERCEPT=INCLUDE  
 /POSTHOC=fa (TUKEY)  
 /PLOT=PROFILE (fa)  
 /EMMEANS=TABLES (OVERALL)  
 /EMMEANS=TABLES (fa)  
 /EMMEANS=TABLES (fa\*block)  
 /PRINT=OPOWER ETASQ  
 /CRITERIA=ALPHA (.05)  
 /DESIGN=fa block fa\*block.

## 1. Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS

Εισάγουμε τα δεδομένα στο φύλλο εργασίας του Data Editor του SPSS κατά τα γνωστά. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.

### Συμβολισμοί:

Η μεταβλητή **Year** αντιστοιχεί στα έτη πειραματισμού

Η μεταβλητή **Location** αντιστοιχεί στις τοποθεσίες πειραματισμού

Η μεταβλητή **Block** αντιστοιχεί στις ομάδες

Οι μεταβλητές **FA** και **FB** αντιστοιχούν, κατά περίπτωση, στους παράγοντες που περιλαμβάνονται στο πείραμα.

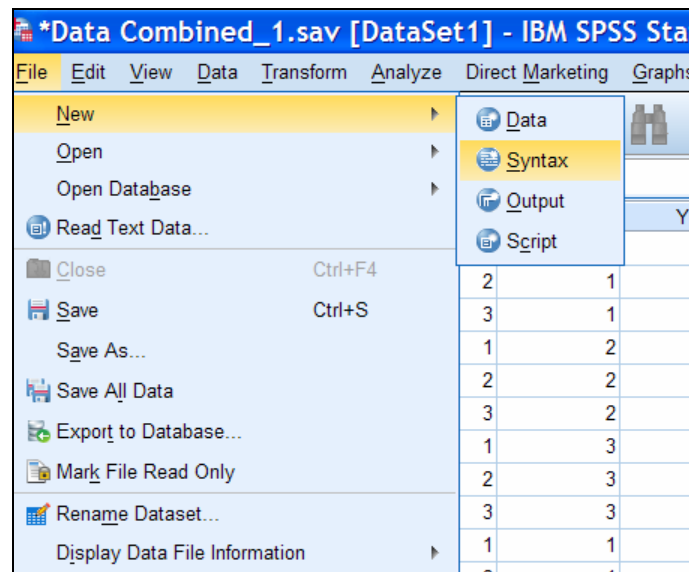
Η μεταβλητή **Y** αντιστοιχεί στην εξαρτημένη μεταβλητή.

	Year	Location	Block	FA	FB	Y
1	1	1	1	1		5,00
2	1	1	2	1		6,00
3	1	1	3	1		3,00
4	1	1	1	2		3,00
5	1	1	2	2		4,00
6	1	1	3	2		2,00
7	1	1	1	3		1,00
8	1	1	2	3		1,00
9	1	1	3	3		9,00
10	2	1	1	1		13,00
11	2	1	2	1		15,00
12	2	1	3	1		13,00
13	2	1	1	2		15,00
14	2	1	2	2		11,00
15	2	1	3	2		11,00
16	2	1	1	3		11,00
17	2	1	2	3		15,00
18	2	1	3	3		14,00
19	3	1	1	1		30,00
20	3	1	2	1		25,00
21	3	1	3	1		29,00
22	3	1	1	2		25,00
23	3	1	2	2		25,00
24	3	1	3	2		21,00
25	3	1	1	3		20,00
26	3	1	2	3		22,00
27	3	1	3	3		29,00
28	1	2	1	1		10,00
29	1	2	2	1		7,00
30	1	2	3	1		1,00
31	1	2	1	2		6,00
32	1	2	2	2		1,00
33	1	2	3	2		2,00
34	1	2	1	3		9,00
35	1	2	2	3		3,00
36	1	2	3	3		3,00

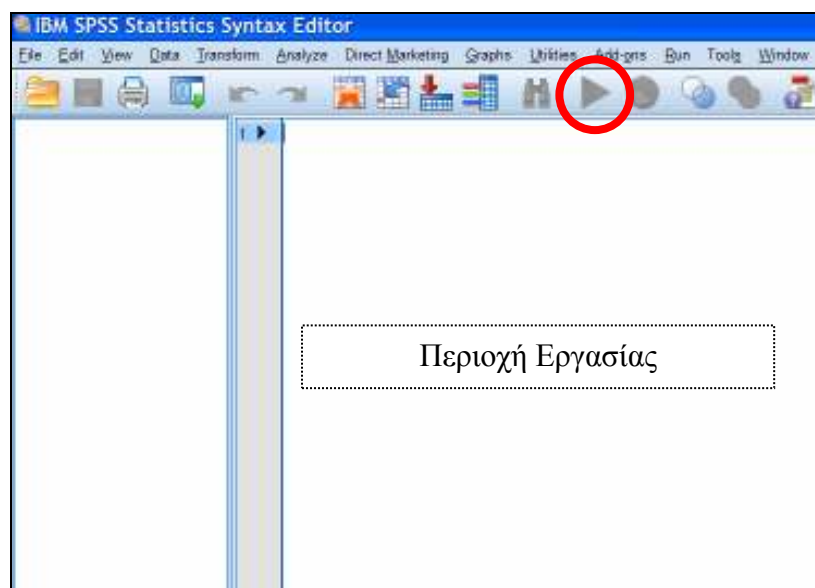
**Εικόνα 11:** Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS: Πειράματα Δικτυωμένα στο Χώρο και στο Χρόνο

## 2. Εκκίνηση του Syntax Editor του SPSS

File→New→Syntax (Βλέπε Εικόνα I2)



Εικόνα I2: Εκκίνηση του Syntax Editor του SPSS




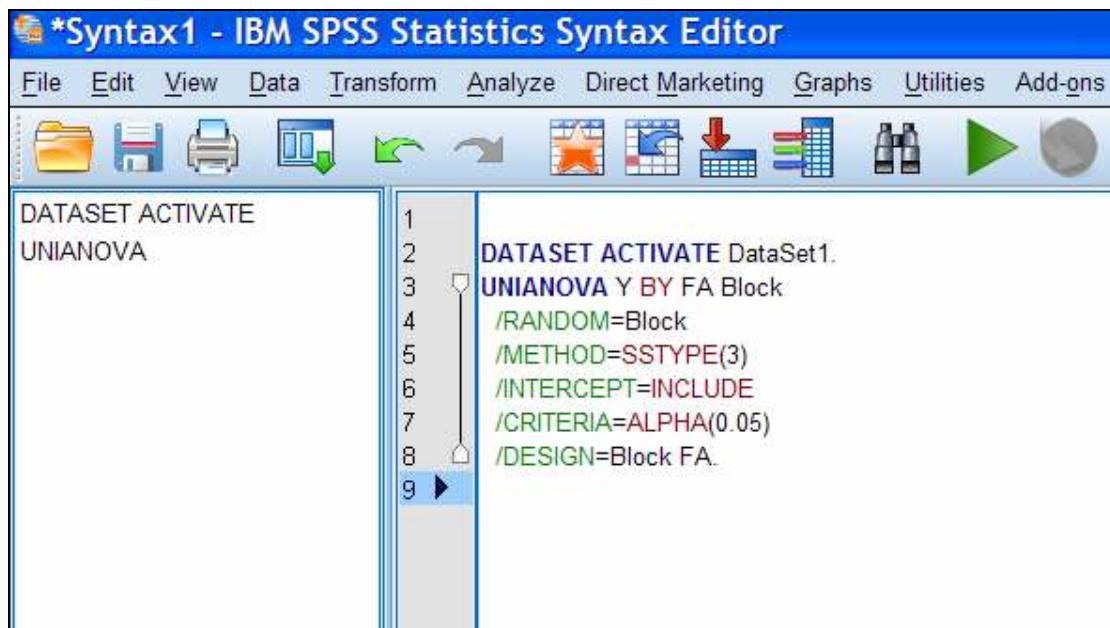
Εικόνα I3: Το παράθυρο του Syntax Editor του SPSS

## 3. Πληκτρολόγηση Εντολών στον Syntax Editor

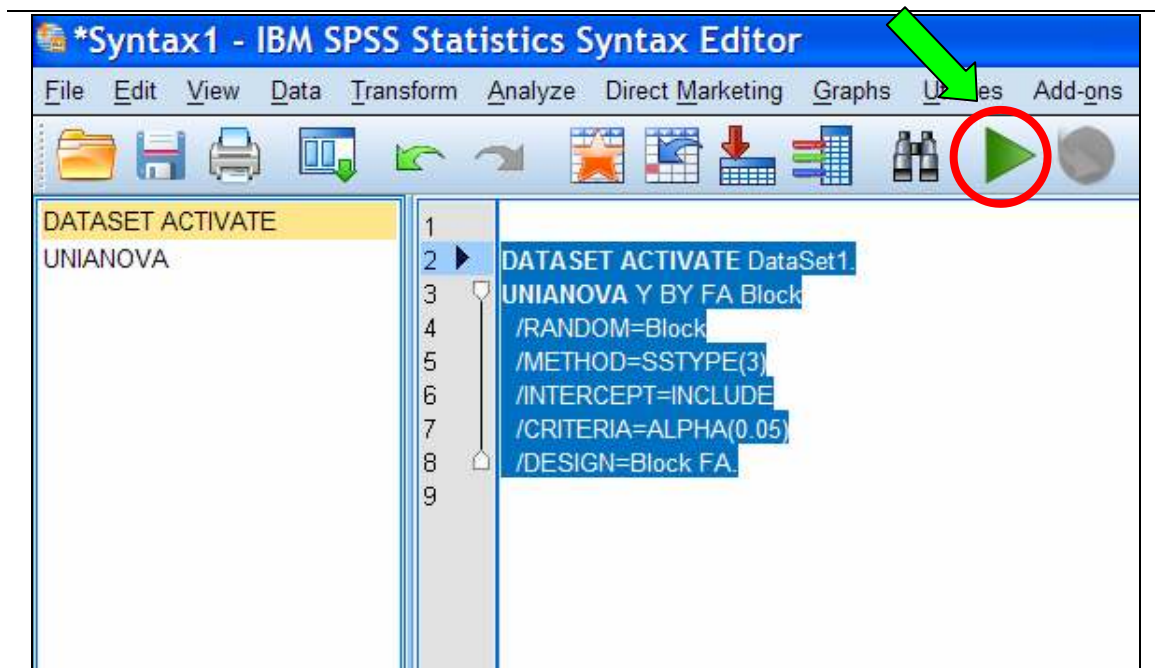
Στην περιοχή εργασίας του Syntax Editor (δεξί πλαίσιο, βλέπε Εικόνα I4) πληκτρολογούμε κατάλληλες εντολές του SPSS ανάλογα με το πείραμα.

## 4. Εκτέλεση Εντολών

Αφού ολοκληρωθεί η πληκτρολόγηση των εντολών επιλέγουμε όλες τις γραμμές εντολών και πατάμε στο πλήκτρο  “Run Selection” (βλέπε Εικόνα I3 και I5 το εργαλείο μέσα στον κύκλο).



**Εικόνα 14:** Πληκτρολόγηση εντολών στο παράθυρο του Syntax Editor του SPSS



**Εικόνα 15:** Επιλογή και εκτέλεση εντολών στο παράθυρο του Syntax Editor του SPSS



## 1. One Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations (or Combined over Years)

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY Location FA Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Location Block(Location) FA Location*FA.
```

ή

```
UNIANOVA Y BY Year FA Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Year Block(Year) FA Year*FA.
```

**Παρατήρηση:** Ο ίδιος κώδικας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην περίπτωση που το ζητούμενο είναι η συνδυασμένη ανάλυση μιας σειράς επαναλήψεων του ίδιου πειράματος (οπότε αντί για τις μεταβλητές **Location** ή **Year** μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα, η μεταβλητή **Experiment**, η οποία κατά περίπτωση θα πρέπει να δηλωθεί ή ως **fixed** ή ως **random**).

## 2. One Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, with new Locations each Year

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY Year Location FA Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Year Location(Year) Block(Location(Year)) FA Year*FA
  FA*Location(Year).
```

### 3. Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, with the same Locations each Year but Randomized

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY Year Location FA Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Year Location Year*Location Block(Year*Location) FA
  Year*FA Location*FA Year*Location*FA.
```

### 4. Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, same Locations and Randomization each Year (Perennial Crops)

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY Year Location FA Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Location Block(Location) Year Location*Year
  Year*Block(Location) FA Location*FA Year*FA Location*Year*FA.
```

### 5. Two Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations (or Combined over Years).

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY Location FA FB Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Location Block(Location) FA Location*FA FB Location*FB
  FA*FB Location*FA*FB.
```

## 6. Two Factor Randomized Complete Block Design with Split Plot Combined over Locations.

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY Location FA FB Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Location Block(Location) FA Location*FA
  FA*Block(Location) FB Location*FB FA*FB Location*FA*FB.
```

## 7. Two Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, same Location but Randomized each Year

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY Year Location FA FB Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Year Location Year*Location Block(Year*Location) FA
  Year*FA Location*FA Year*Location*FA FB Year*FB Location*FB
  Year*Location*FB FA*FB Year*FA*FB Location*FA*FB
  Year*Location*FA*FB.
```

## 8. Two Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, same Location and Randomization each Year

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY Year Location FA FB Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Location Block(Location) Year Location*Year
  Year*Block(Location) FA Location*FA Year*FA Location*Year*FA FB
  Location*FB Year*FB Location*Year*FB FA*FB Location*FA*FB
  Year*FA*FB Location*Year*FA*FB.
```

## 9. Two Factor Randomized Complete Block Design with Split, Combined over Locations and Years, same Location but Randomized each Year

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY Year Location FA FB Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Year Location Year*Location Block(Year*Location) FA
Year*FA Location*FA Year*Location*FA FA*Block(Year*Location) FB
Year*FB Location*FB Year*Location*FB FA*FB Year*FA*FB
Location*FA*FB Year*Location*FA*FB.
```

## 10. Two Factor Randomized Complete Block Design with Split, Combined over Locations and Years, same Location and Randomization each Year

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY Year Location FA FB Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Location Block(Location) Year Location*Year
Year*Block(Location) FA Location*FA Year*FA Location*Year*FA
FA*Block(Location*Year) FB Location*FB Year*FB Location*Year*FB
FA*FB Location*FA*FB Year*FA*FB Location*Year*FA*FB.
```

## 11. Two Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, with new Locations each Year

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY Year Location FA FB Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Year Location(Year) Block(Location(Year)) FA Year*FA
FA*Location(Year) FB Year*FB FB*Location(Year) FA*FB Year*FA*FB
FA*FB*Location(Year).
```

## 12. Two Factor Randomized Complete Block Design with Split Combined over Locations and Years, with new Locations each Year

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY Year Location FA FB Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Year Location(Year) Block(Location(Year)) FA Year*FA
  FA*Location(Year) FA*Block(Location(Year)) FB Year*FB
  FB*Location(Year) FA*FB Year*FA*FB FA*FB*Location(Year).
```

**Σημειώσεις αναγνώστη:**

## Γενικές Παρατηρήσεις

Η τελεία (.) στο τέλος της εντολής `/DESIGN=`, η οποία εισάγεται στο τέλος της παράθεσης των όρων του υποδείγματος, είναι **απαραίτητη** για την εκτέλεση των εντολών.

Οι όροι του μαθηματικού υποδείγματος (ονόματα μεταβλητών), δηλαδή οι κύριες επιδράσεις και αλληλεπιδράσεις, οι οποίες ακολουθούν την εντολή `/DESIGN=`, γράφονται με ένα κενό διάστημα μεταξύ τους.

Σε όλες τις περιπτώσεις που παρουσιάστηκαν, με κίτρινη επισήμανση δηλώνονται οι όροι αλληλεπίδρασης με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της δομής και σύνθεσης των αντίστοιχων υποδειγμάτων.

Στους πίνακες ANOVA, τα *F*-test που αντιστοιχούν σε πηγές παραλλακτικότητας (κύριες επιδράσεις και αλληλεπιδράσεις) που στο πείραμα δεν έχουν επαναλήψεις δεν είναι έγκυρα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις των πειραμάτων δικτυωμένων στο χώρο και στο χρόνο οι αναλύσεις γίνονται θεωρώντας, κατά περίπτωση, το χώρο ή/και το χρόνο ως **main** ή **sub plot** παράγοντες σε πειράματα με διάταξη split plot ή strip plot.

Αν πρέπει οι παράγοντες **Year** ή/και **Location** να εισαχθούν στο υπόδειγμα ως τυχαίοι θα πρέπει να τους συμπεριλάβετε στη δήλωση `/RANDOM`. Για παράδειγμα, αν στον αντίστοιχο κώδικα γράψετε `/RANDOM=Block Location` η διαδικασία GLM θα θεωρήσει τους παράγοντες **Block** και **Location** ως τυχαίους.

Για να είναι έγκυρα τα αποτελέσματα της συνδυασμένης ανάλυσης θα πρέπει να ισχύει η ομοιογένεια των σφαλμάτων που υπολογίζονται από τις μεμονωμένες ANOVA για κάθε πείραμα ξεχωριστά. Για τον έλεγχο ομοιογένειας μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τους ελέγχους **Fmax** ή/και του **Bartlett**.

Γενικά, για να είναι έγκυρα τα αποτελέσματα της ANOVA θα πρέπει τα σφάλματα του αντίστοιχου μαθηματικού υποδείγματος να είναι ανεξάρτητα, να ακολουθούν Κανονική Κατανομή και να παρουσιάζουν σταθερή διακύμανση-παραλλακτικότητα (προϋπόθεση της ομοσκεδαστικότητας). Σε αντίθετη περίπτωση, θα πρέπει να προβείτε είτε σε μετασχηματισμούς των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής είτε να χρησιμοποιήσετε διαδικασίες όπως η **Generalized Linear Models** του SPSS. Η διαδικασία αυτή δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει την κατανομή των εξαρτημένων μεταβλητών ανάλογα με το είδος των μετρήσεών τους (συνεχείς, διακριτές, συχνότητες, διατεταγμένες, τιμές 0 ή 1).

Στους παραπάνω κώδικες αν κάτω από την εντολή `/INTERCEPT=INCLUDE` προσθέσετε την εντολή `/PRINT=OPOWER ETASQ`, τότε στους πίνακες ANOVA για κάθε πηγή παραλλακτικότητας θα εμφανιστεί η **παρατηρούμενη ισχύς** (observed power, OPOWER) του αντίστοιχου ελέγχου *F* και ο δείκτης **partial eta squared** (μερικός συντελεστής  $\eta^2$ , ETASQ), ο οποίος αποτελεί μια εκτίμηση του “σχετικού” μεγέθους της αντίστοιχης επίδρασης (**effect size**), κύριας ή αλληλεπίδρασης (βλέπε παράδειγμα της επόμενης παραγράφου).

Όταν στο υπόδειγμα οι παράγοντες **Location** ή/και **Year** εισαχθούν ως τυχαίοι (random) τότε στον πίνακα ANOVA ακριβώς κάτω από την πηγή παραλλακτικότητας που αντιστοιχεί σε τυχαία επίδραση (κύρια ή αλληλεπίδραση) εμφανίζεται η γραμμή με τα στατιστικά στοιχεία (άθροισμα τετραγώνων, β.ε., μέσο τετράγωνο) του κατάλληλου σφάλματος, βάσει του οποίου ελέγχεται η στατιστική σημαντικότητα (*F*-test) της πηγής

παραλλακτικότητας. Το μέσο τετράγωνο και οι βαθμοί ελευθερίας αυτού του σφάλματος θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για τους ελέγχους σημαντικότητας των διαφορών των αντίστοιχων μέσων όρων.

Παράδειγμα: Στην παρακάτω ανάλυση οι μεταβλητές **Location** και **Block** έχουν εισαχθεί στο αντίστοιχο υπόδειγμα ως τυχαίοι παράγοντες

#### UNIANOVA Y BY FA Location Block

```

/RANDOM=Location Block
/METHOD=SSTYPE(3)
/INTERCEPT=INCLUDE
/PRINT=OPOWER ETASQ
/CRITERIA=ALPHA(.05)
/DESIGN=Location Block(Location) FA FA*Location.

```

Μετά την εκτέλεση του παραπάνω κώδικα στο παράθυρο αποτελεσμάτων του SPSS θα εμφανιστεί ο πίνακας ANOVA.

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Y

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Observed Power <sup>e</sup>	
Intercept	Hypothesis	560,333	1	560,333	117,279	,008	,983	,997
	Error	9,556	2	4,778 <sup>a</sup>				
Location	Hypothesis	9,556	2	4,778	,309	,751	,143	,073
	Error	57,250	3,707	15,444 <sup>b</sup>				
Block(Location)	Hypothesis	113,111	6	18,852	3,048	,047	,604	,707
	Error	74,222	12	6,185 <sup>c</sup>				
<b>FA</b>	Hypothesis	8,667	2	4,333	1,560	,316	,438	,181
	<b>Error</b>	<b>11,111</b>	<b>4</b>	<b>2,778<sup>d</sup></b>				
<b>FA * Location</b>	<b>Hypothesis</b>	<b>11,111</b>	<b>4</b>	<b>2,778</b>	,449	,771	,130	,122
	Error	74,222	12	6,185 <sup>c</sup>				

a. MS(Location)

b. MS(Block(Location)) + MS(FA \* Location) - MS(Error)

c. MS(Error)

d. MS(FA \* Location)

e. Computed using alpha = ,05

Παρατηρείστε ότι κάθε πηγή παραλλακτικότητας ελέγχεται με ξεχωριστό σφάλμα. Το λογισμικό με κατάλληλους εκθέτες-γράμματα δηλώνει στην υποσημείωση του πίνακα ποιοι όροι δομούν το μέσο τετράγωνο για κάθε πηγή σφάλματος (Mean Square Error-MSE). Για παράδειγμα, ο κατάλληλος όρος σφάλματος για τον έλεγχο της σημαντικότητας της κύριας επίδρασης **FA** είναι το μέσο τετράγωνο της αλληλεπίδρασης **FA\*Location** (βλέπε εκθέτη-γράμμα **d**). Συνεπώς, για τις συγκρίσεις των μέσων όρων

των επιπέδων του παράγοντα FA, για παράδειγμα με το κριτήριο LSD, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ως MSE η τιμή 2,778 με 4 β.ε.

Στη στήλη με επικεφαλίδα **Partial Eta Square** εμφανίζεται για κάθε πηγή παραλλακτικότητας ο αντίστοιχος συντελεστής  $\eta^2$ .

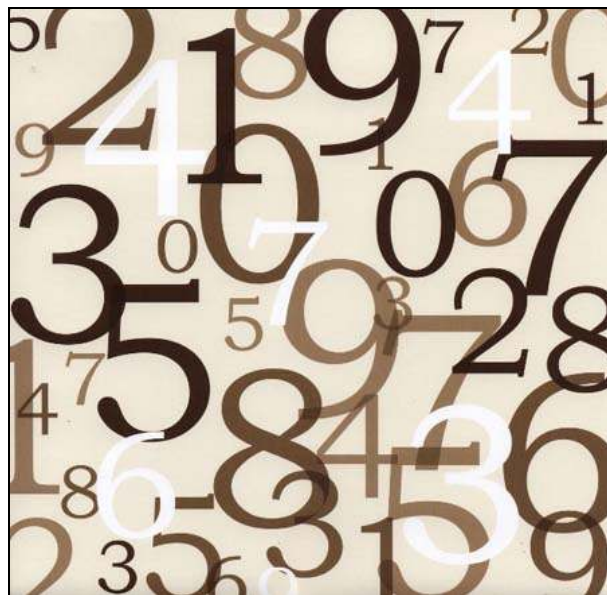
Στη στήλη με επικεφαλίδα **Observed Power** εμφανίζεται η παρατηρούμενη ισχύς του αντίστοιχου ελέγχου  $F$ .

**Σημειώσεις αναγνώστη:**



## Ενότητα Δ

### Πολλαπλές Συγκρίσεις Μέσων Όρων σε Παραγοντικά Πειράματα (Linear Mixed Effects Models-LMEM)



## 1. Συγκρίσεις Μέσων Όρων μέσω της Διαδικασίας Linear Mixed Effects Models

Η διαδικασία ολοκληρώνεται σε τέσσερα βήματα όπως και στην περίπτωση της Συνδυασμένης Ανάλυσης Πειραμάτων Δικτυωμένων στο Χώρο και στο Χρόνο. Δηλαδή: **1. Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS**, **2. Εκκίνηση του Syntax Editor του SPSS**, **3. Πληκτρολόγηση Εντολών στον Syntax Editor**, **4. Εκτέλεση Εντολών**. Η προσέγγιση αυτή είναι χρήσιμη όταν το μαθηματικό υπόδειγμα της ANOVA περιλαμβάνει τυχαίους όρους.

### Παράδειγμα 1: Split plot (RCBD)

Παραγοντικό Πείραμα:	4×4
Πειραματικό σχέδιο:	RCBD
Διάταξη:	Split plot
Πλήθος Ομάδων:	4
Κωδικοποίηση	<u>Παράγοντες:</u> <b>FA</b> (main plot factor) με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <b>FB</b> (sub plot factor) με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <b>Block</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <u>Εξαρτημένη Μεταβλητή: Y</u>
Πλήθος πειραματικών μονάδων:	64
Καθορισμένες Επιδράσεις	FA, FB, FA*FB
Τυχαίες Επιδράσεις	Block, Block*FA

Στον Syntax Editor του SPSS πληκτρολογήστε και εκτελέστε τον παρακάτω κώδικα:

```

DATASET ACTIVATE DataSet1.
MIXED Y BY Block FA FB
/CRITERIA=CIN(95) MXITER(100) MXSTEP(10) SCORING(1)
SINGULAR(0.000000000001) HCONVERGE(0, ABSOLUTE) LCONVERGE(0, ABSOLUTE)
PCONVERGE(0.000001, ABSOLUTE)
/FIXED=FA FB FA*FB | SSTYPE(3)
/METHOD=REML
/RANDOM=Block Block*FA | COVTYPE(VC)
/EMMEANS=TABLES(OVERALL)
/EMMEANS=TABLES(FA) COMPARE ADJ(LSD)
/EMMEANS=TABLES(FB) COMPARE ADJ(LSD)
/EMMEANS=TABLES(FA*FB) COMPARE(FB) ADJ(LSD)
/EMMEANS=TABLES(FB*FA) COMPARE(FA) ADJ(LSD) .

```

### Επεξηγήσεις:

Με κίτρινη επισήμανση δηλώνονται τα στοιχεία εκείνα τα οποία μπορείτε να τροποποιήσετε ανάλογα με το πείραμα και την κωδικοποίηση που έχετε κάνει στο αρχείο δεδομένων.

Στην πρώτη γραμμή μετά την εντολή **MIXED** δηλώνονται η εξαρτημένη μεταβλητή **Y** και μετά τη λέξη **BY** (by) όλοι οι παράγοντες του πειράματος (fixed και random).

Η εντολή **/Criteria** περιλαμβάνει τυποποιημένες ρυθμίσεις της διαδικασίας Mixed (το πιο πιθανό είναι να μην χρειαστεί να αλλάξετε τις τρέχουσες ρυθμίσεις, σε αντίθετη περίπτωση συμβουλευτείτε τον οδηγό χρήσης του SPSS). Η δήλωση **CIN(95)** δίνει οδηγία στο λογισμικό να υπολογιστούν 95% διαστήματα εμπιστοσύνης. Αν θέλετε να υπολογιστούν, για παράδειγμα, 99% διαστήματα εμπιστοσύνης για τις υπό εκτίμηση παραμέτρους τότε θα πρέπει να αλλάξετε τον αριθμό μέσα στην παρένθεση από 95 σε 99.

Μετά την εντολή **/FIXED** εισάγονται όλοι οι καθορισμένοι (fixed) όροι του μαθηματικού υποδείγματος που αντιστοιχεί στο εκάστοτε πείραμα.

Στην εντολή **/METHOD=REML** ορίζεται η μέθοδος εκτίμησης των παραμέτρων του μαθηματικού υποδείγματος. Η δήλωση **REML** αντιστοιχεί στη μέθοδο **Restricted Maximum Likelihood**, ενώ η δήλωση **ML** στη μέθοδο **Maximum Likelihood**.

Μετά την εντολή **/RANDOM** εισάγονται όλοι οι τυχαίοι (random) όροι του μαθηματικού υποδείγματος που αντιστοιχεί στο εκάστοτε πείραμα.

Μέσα στην παρένθεση που ακολουθεί τη δήλωση **COVTYPE** (covariance type) καθορίζεται η δομή του πίνακα διασπορών-συνδυασπορών των τυχαίων όρων του μαθηματικού υποδείγματος. Ο προκαθορισμένος τύπος είναι **VC** (Variance Components). Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη δομή του πίνακα διασπορών-συνδυασπορών που υποστηρίζει το SPSS μπορείτε να συμβουλευτείτε τον οδηγό χρήσης του λογισμικού (βλέπε και Παράρτημα 1). Σε περίπτωση που το πείραμα περιλαμβάνει **επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στο χρόνο** για τις ίδιες πειραματικές μονάδες (**repeated measures on the same experimental units**) θα χρειαστεί να δοκιμάσετε και άλλες δομές του πίνακα (για παράδειγμα τη δομή **AR1**, που αντιστοιχεί στο υπόδειγμα First order autoregressive).

Μέσω της διαδικασίας **Mixed** μπορείτε να αναλύσετε **όλα** τα πειράματα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Αλλά στο παράθυρο αποτελεσμάτων του SPSS **δεν θα εμφανιστεί η κλασική-τυπική μορφή του πίνακα ANOVA**.

Στην έξοδο των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται εκτός από τους πίνακες με τους μέσους όρους, τα αντίστοιχα τυπικά σφάλματα, τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης και οι παρατηρούμενες στάθμες σημαντικότητας ( $p$ -values) των ελέγχων που χρησιμοποιούνται για τις συγκρίσεις των μέσων όρων. Επίσης, παρουσιάζονται και άλλοι χρήσιμοι στατιστικοί δείκτες (για παράδειγμα, οι **AIC** και **BIC**) καθώς και η στατιστική σημαντικότητα ( $p$ -value) των καθορισμένων (fixed) πηγών παραλλακτικότητας. Οι δείκτες AIC και BIC είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι για τη σύγκριση μαθηματικών υποδειγμάτων (ως προς την καλή προσαρμογή των δεδομένων), τα οποία περιλαμβάνουν διαφορετικούς όρους ή/και διαφορετικές δομές του πίνακα διασπορών-συνδυασπορών της εξαρτημένης μεταβλητής. Μικρές τιμές των δεικτών AIC και BIC δηλώνουν και καλύτερη προσαρμογή.

Για να εφαρμόσετε την προσέγγιση που παρουσιάστηκε στην ενότητα αυτή θα πρέπει να γνωρίζετε ποιοι όροι του αντίστοιχου μαθηματικού υποδείγματος της ANOVA είναι

καθορισμένοι (fixed) και ποιοι τυχαίοι (random). Σε πολύπλοκα πειράματα συμβουλευτείτε τη σχετική βιβλιογραφία.

Στον κώδικα του Παραδείγματος 1, αν κάτω από την εντολή **/METHOD=REML** προσθέσετε την εντολή **/PRINT=TESTCOV** τότε στο παράθυρο αποτελεσμάτων του SPSS θα εμφανιστεί και ένας πίνακας (με τίτλο **Estimates of Covariance Parameters**) με τις **εκτιμώμενες παραλλακτικότητες** (Estimated Variances) των τυχαίων όρων του αντίστοιχου μαθηματικού υποδείγματος.

Οι εντολές του τύπου **/EMMEANS** (Estimated Means) αποσκοπούν στον υπολογισμό και στη σύγκριση των μέσων όρων των επιδράσεων που δηλώνονται μέσα στην παρένθεση που συνοδεύει τη δήλωση **TABLES**. Πιο συγκεκριμένα:

Δήλωση	Αποτέλεσμα
<code>/EMMEANS=TABLES(OVERALL)</code>	Υπολογίζεται ο γενικός μέσος της εξαρτημένης μεταβλητής
<code>/EMMEANS=TABLES(FA) COMPARE ADJ(LSD)</code>	Υπολογίζονται και συγκρίνονται με το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς-LSD οι μέσοι όροι των επιπέδων του παράγοντα FA (μελέτη της κύριας επίδρασης του FA)
<code>/EMMEANS=TABLES(FB) COMPARE ADJ(LSD)</code>	Υπολογίζονται και συγκρίνονται με το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς-LSD οι μέσοι όροι των επιπέδων του παράγοντα FB (μελέτη της κύριας επίδρασης του FB)
<code>/EMMEANS=TABLES(FA*FB) COMPARE(FB) ADJ(LSD)</code>	Υπολογίζονται και συγκρίνονται με το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς-LSD οι μέσοι όροι των επιπέδων του παράγοντα FB μέσα σε κάθε επίπεδο του παράγοντα FA ( <b>ανάλυση απλών κύριων επιδράσεων-simple main effects analysis, πρώτη κατεύθυνση</b> )
<code>/EMMEANS=TABLES(FB*FA) COMPARE(FA) ADJ(LSD)</code>	Υπολογίζονται και συγκρίνονται με το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς-LSD οι μέσοι όροι των επιπέδων του παράγοντα FA μέσα σε κάθε επίπεδο του παράγοντα FB ( <b>ανάλυση απλών κύριων επιδράσεων-simple main effects analysis, δεύτερη κατεύθυνση</b> )

Στη θέση της δήλωσης **LSD** μπορείτε να εισάγετε τις δηλώσεις **BONFERRONI** ή **SIDAK** ώστε οι συγκρίσεις των μέσων όρων να γίνουν με τα αντίστοιχα κριτήρια-ελέγχους.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα γίνονται όλες οι συγκρίσεις που αντιστοιχούν στις κύριες επιδράσεις και στην αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων. Ανάλογα με τα αποτελέσματα της ANOVA ή/και τους στόχους του πειράματος μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τις εντολές τύπου **/EMMEANS** μόνο για τις συγκρίσεις που έχουν ενδιαφέρον.

## Παράδειγμα 2: Split-split plot

Παραγοντικό Πείραμα:	3×2×3
Πειραματικό σχέδιο:	RCBD
Διάταξη:	Split-split plot
Πλήθος Ομάδων:	4
Κωδικοποίηση	<u>Παράγοντες:</u> <b>FA</b> (main plot factor) με 3 επίπεδα: 0 έως 2 <b>FB</b> (sub plot factor) με 2 επίπεδα: 0 έως 1 <b>FC</b> (sub-sub plot factor) με 3 επίπεδα: 0 έως 2 <b>Block</b> με 4 επίπεδα: 1 έως 4 <u>Εξαρτημένη Μεταβλητή: Y</u>
Πλήθος πειραματικών μονάδων:	72
Καθορισμένες Επιδράσεις	FA, FB, FC, FA*FB, FA*FC, FB*FC, FA*FB*FC
Τυχαίες Επιδράσεις	Block, Block*FA, Block*FA*FB

Στον Syntax Editor του SPSS πληκτρολογήστε και εκτελέστε τον παρακάτω κώδικα:

```

DATASET ACTIVATE DataSet1.
MIXED Y BY Block FA FB FC
/CRITERIA=CIN(95) MXITER(100) MXSTEP(10) SCORING(1)
SINGULAR(0.000000000001) HCONVERGE(0, ABSOLUTE) LCONVERGE(0, ABSOLUTE)
PCONVERGE(0.000001, ABSOLUTE)
/FIXED=FA FB FC FA*FB FA*FC FB*FC FA*FB*FC | SSTYPE(3)
/METHOD=REML
/RANDOM=Block Block*FA Block*FA*FB | COVTYPE(VC)
/EMMEANS=TABLES(OVERALL)
/EMMEANS=TABLES(FC) COMPARE ADJ(BONFERRONI)
/EMMEANS=TABLES(FA*FB) COMPARE(FB) ADJ(BONFERRONI)
/EMMEANS=TABLES(FB*FC) COMPARE(FC) ADJ(BONFERRONI)
/EMMEANS=TABLES(FA*FB*FC) COMPARE(FC) ADJ(BONFERRONI)
/EMMEANS=TABLES(FB*FC*FA) COMPARE(FA) ADJ(BONFERRONI) .

```

Για το παράδειγμα αυτό ισχύουν τα παρακάτω:

Δήλωση	Αποτέλεσμα
/EMMEANS=TABLES(OVERALL)	Υπολογίζεται ο γενικός μέσος της εξαρτημένης μεταβλητής
/EMMEANS=TABLES(FC) COMPARE ADJ(BONFERRONI)	Υπολογίζονται και συγκρίνονται με το κριτήριο BONFERRONI οι μέσοι όροι των επιπέδων του παράγοντα FC
/EMMEANS=TABLES(FA*FB) COMPARE(FB) ADJ(BONFERRONI)	Υπολογίζονται και συγκρίνονται με το κριτήριο BONFERRONI οι μέσοι όροι των επιπέδων του παράγοντα FB μέσα σε κάθε επίπεδο του παράγοντα FA

Δήλωση	Αποτέλεσμα
/EMMEANS=TABLES(FB*FC) COMPARE(FC) ADJ(BONFERRONI)	Υπολογίζονται και συγκρίνονται με το κριτήριο BONFERRONI οι μέσοι όροι των επιπέδων του παράγοντα FC μέσα σε κάθε επίπεδο του παράγοντα FB
/EMMEANS=TABLES(FA*FB*FC) COMPARE(FC) ADJ(BONFERRONI)	Υπολογίζονται και συγκρίνονται με το κριτήριο BONFERRONI οι μέσοι όροι των επιπέδων του παράγοντα FC μέσα σε κάθε συνδυασμό των επιπέδων των δύο παραγόντων FA και FB
/EMMEANS=TABLES(FB*FC*FA) COMPARE(FA) ADJ(BONFERRONI)	Υπολογίζονται και συγκρίνονται με το κριτήριο BONFERRONI οι μέσοι όροι των επιπέδων του παράγοντα FA μέσα σε κάθε συνδυασμό των επιπέδων των δύο παραγόντων FB και FC

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα μέρος των αποτελεσμάτων που παράγονται μέσω των δύο τελευταίων εντολών:

/EMMEANS=TABLES (FA\*FB\*FC) COMPARE (FC) ADJ (BONFERRONI)

/EMMEANS=TABLES (FB\*FC\*FA) COMPARE (FA) ADJ (BONFERRONI)

Πίνακας Α

FA	FB	FC	Mean	Std. Error	df	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
0	0	0	24,225	1,525	24,208	21,080	27,370
		1	29,100	1,525	24,208	25,955	32,245
		2	31,150	1,525	24,208	28,005	34,295
	1	0	30,350	1,525	24,208	27,205	33,495
		1	36,050	1,525	24,208	32,905	39,195
		2	43,250	1,525	24,208	40,105	46,395
1	0	0	26,200	1,525	24,208	23,055	29,345
		1	31,950	1,525	24,208	28,805	35,095
		2	32,975	1,525	24,208	29,830	36,120
	1	0	32,300	1,525	24,208	29,155	35,445
		1	34,050	1,525	24,208	30,905	37,195
		2	40,575	1,525	24,208	37,430	43,720
2	0	0	22,425	1,525	24,208	19,280	25,570
		1	25,250	1,525	24,208	22,105	28,395
		2	26,950	1,525	24,208	23,805	30,095
	1	0	23,025	1,525	24,208	19,880	26,170
		1	29,675	1,525	24,208	26,530	32,820
		2	37,350	1,525	24,208	34,205	40,495

Πίνακας Β

FA	FB	(I) FC	(J) FC	Mean Difference (I-J)	Std. Error	df	Sig. <sup>c</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>c</sup>	
								Lower Bound	Upper Bound
0		0	1	-4,875*	1,530	36	,009	-8,716	-1,034
			2	-6,925*	1,530	36	,000	-10,766	-3,084
	0	1	0	4,875*	1,530	36	,009	1,034	8,716
			2	-2,050	1,530	36	,566	-5,891	1,791
		2	0	6,925*	1,530	36	,000	3,084	10,766
			1	2,050	1,530	36	,566	-1,791	5,891
		0	1	-5,700*	1,530	36	,002	-9,541	-1,859
			2	-12,900*	1,530	36	,000	-16,741	-9,059
	1	1	0	5,700*	1,530	36	,002	1,859	9,541
			2	-7,200*	1,530	36	,000	-11,041	-3,359
		2	0	12,900*	1,530	36	,000	9,059	16,741
			1	7,200*	1,530	36	,000	3,359	11,041
	0	1	-5,750*	1,530	36	,002	-9,591	-1,909	
		2	-6,775*	1,530	36	,000	-10,616	-2,934	
0	1	0	5,750*	1,530	36	,002	1,909	9,591	
		2	-1,025	1,530	36	1,000	-4,866	2,816	
	2	0	6,775*	1,530	36	,000	2,934	10,616	
		1	1,025	1,530	36	1,000	-2,816	4,866	
1		0	1	-1,750	1,530	36	,781	-5,591	2,091
			2	-8,275*	1,530	36	,000	-12,116	-4,434
	1	1	0	1,750	1,530	36	,781	-2,091	5,591
			2	-6,525*	1,530	36	,000	-10,366	-2,684
	2	0	1	8,275*	1,530	36	,000	4,434	12,116
			2	6,525*	1,530	36	,000	2,684	10,366
	0	1	1	-2,825	1,530	36	,219	-6,666	1,016
			2	-4,525*	1,530	36	,016	-8,366	-,684
0	1	0	1	2,825	1,530	36	,219	-1,016	6,666
			2	-1,700	1,530	36	,821	-5,541	2,141
	2	0	1	4,525*	1,530	36	,016	,684	8,366
			2	1,700	1,530	36	,821	-2,141	5,541
2		0	1	-6,650*	1,530	36	,000	-10,491	-2,809
			2	-14,325*	1,530	36	,000	-18,166	-10,484
	1	1	0	6,650*	1,530	36	,000	2,809	10,491
			2	-7,675*	1,530	36	,000	-11,516	-3,834
	2	0	1	14,325*	1,530	36	,000	10,484	18,166
			2	7,675*	1,530	36	,000	3,834	11,516

Πίνακας Γ

FC	FB	(I) FA	(J) FA	Mean Difference (I-J)	Std. Error	df	Sig. <sup>c</sup>	95% Confidence Interval for Difference <sup>c</sup>	
								Lower Bound	Upper Bound
0	0	0	1	-1,975	1,959	27,914	,966	-6,965	3,015
			2	1,800	1,959	27,914	1,000	-3,190	6,790
		1	0	1,975	1,959	27,914	,966	-3,015	6,965
			2	3,775	1,959	27,914	,193	-1,215	8,765
		2	0	-1,800	1,959	27,914	1,000	-6,790	3,190
			1	-3,775	1,959	27,914	,193	-8,765	1,215
	1	0	1	-1,950	1,959	27,914	,984	-6,940	3,040
			2	7,325*	1,959	27,914	,003	2,335	12,315
		1	0	1,950	1,959	27,914	,984	-3,040	6,940
			2	9,275*	1,959	27,914	,000	4,285	14,265
		2	0	-7,325*	1,959	27,914	,003	-12,315	-2,335
			1	-9,275*	1,959	27,914	,000	-14,265	-4,285
1	0	0	1	-2,850	1,959	27,914	,471	-7,840	2,140
			2	3,850	1,959	27,914	,178	-1,140	8,840
		1	0	2,850	1,959	27,914	,471	-2,140	7,840
			2	6,700*	1,959	27,914	,006	1,710	11,690
		2	0	-3,850	1,959	27,914	,178	-8,840	1,140
			1	-6,700*	1,959	27,914	,006	-11,690	-1,710
	1	0	1	2,000	1,959	27,914	,948	-2,990	6,990
			2	6,375*	1,959	27,914	,009	1,385	11,365
		1	0	-2,000	1,959	27,914	,948	-6,990	2,990
			2	4,375	1,959	27,914	,101	-,615	9,365
		2	0	-6,375*	1,959	27,914	,009	-11,365	-1,385
			1	-4,375	1,959	27,914	,101	-9,365	,615
2	0	0	1	-1,825	1,959	27,914	1,000	-6,815	3,165
			2	4,200	1,959	27,914	,123	-,790	9,190
		1	0	1,825	1,959	27,914	1,000	-3,165	6,815
			2	6,025*	1,959	27,914	,014	1,035	11,015
		2	0	-4,200	1,959	27,914	,123	-9,190	,790
			1	-6,025*	1,959	27,914	,014	-11,015	-1,035
	1	0	1	2,675	1,959	27,914	,549	-2,315	7,665
			2	5,900*	1,959	27,914	,016	,910	10,890
		1	0	-2,675	1,959	27,914	,549	-7,665	2,315
			2	3,225	1,959	27,914	,333	-1,765	8,215
		2	0	-5,900*	1,959	27,914	,016	-10,890	-,910
			1	-3,225	1,959	27,914	,333	-8,215	1,765



### Επεξηγήσεις:

Για τον Πίνακα Α:

- Mean: Μέσος Όρος (εκτιμώμενος)
- Std. Error: Τυπικό Σφάλμα στην εκτίμηση του Μέσου Όρου
- df: Βαθμοί Ελευθερίας
- 95% Confidence Interval: 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης

Για τους Πίνακες Β και Γ:

- Mean Difference: Διαφορά εκτιμώμενων Μέσων Όρων
- Std. Error: Τυπικό Σφάλμα της διαφοράς
- Sig:  $p$ -value, παρατηρούμενη στάθμη σημαντικότητας του αντίστοιχου ελέγχου
- df: Βαθμοί Ελευθερίας
- 95% Confidence Interval: 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης για τη διαφορά των μέσων όρων

### Παρατηρήσεις:

Όπως ήταν αναμενόμενο, το τυπικό σφάλμα της διαφοράς των μέσων όρων στον Πίνακα Β δεν είναι το ίδιο με το αντίστοιχο σφάλμα στον Πίνακα Γ.

Το SPSS δεν εμφανίζει την τιμή της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς-LSD παρά μόνο την τιμή  $p$ -value του αντίστοιχου ελέγχου σύγκρισης. Αν θέλετε να υπολογίσετε την τιμή της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς θα πρέπει να κάνετε τα εξής (ισχύει για **ισορροπημένα πειράματα**):

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα Β ή Γ, πολλαπλασιάστε το τυπικό σφάλμα της διαφοράς (**Std. Error**) με την κρίσιμη (θεωρητική) τιμή της  $t$ -Κατανομής με **df** βαθμούς ελευθερίας, σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha/2$  (π.χ. αν  $\alpha=0,05$  τότε  $\alpha/2=0,025$ ). Αν οι βαθμοί ελευθερίας είναι δεκαδικός αριθμός στρογγυλοποιείτε στον αμέσως μεγαλύτερο ακέραιο. **Παραδείγματα:** Από τον Πίνακα Β έχουμε ότι  $LSD_{0,05}=1,530 \times 2,028=3,103$  (2,028 είναι η κρίσιμη τιμή της  $t$ -Κατανομής με **36** βαθμούς ελευθερίας σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05/2=0,025$ ). Από τον Πίνακα Γ έχουμε ότι  $LSD_{0,05}=1,959 \times 2,048=4,012$  (2,048 είναι η κρίσιμη τιμή της  $t$ -Κατανομής με  $27,914 \approx 28$  βαθμούς ελευθερίας σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05/2=0,025$ ).

Αν θέλετε να υπολογίσετε την τιμή του Μέσου Τετραγώνου Σφάλματος (MSE) που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς θα πρέπει να κάνετε τα εξής (ισχύει για **ισορροπημένα πειράματα**):

Αρχικά υπολογίστε την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά σύμφωνα με τα παραπάνω. Στη συνέχεια χρησιμοποιείτε την παρακάτω σχέση:

$$MSE = \frac{rLSD^2}{2t_{\alpha/2}^2},$$

όπου  $r$  είναι το πλήθος των μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό κάθε ενός από τους μέσους όρους που συγκρίθηκαν,  $LSD^2$  το τετράγωνο της Ελάχιστης

Σημαντικής Διαφοράς και  $t_{\alpha/2}^2$  το τετράγωνο της κρίσιμης-θεωρητικής τιμής της  $t$ -Κατανομής για **df** βαθμούς ελευθερίας (όσους υπολόγισε το SPSS) σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha/2$ .

**Σημειώσεις αναγνώστη:**

## 2. Γενικός Τρόπος Συγκρίσεων Μέσων Όρων (Post hoc και a priori Contrasts)

Θα περιγράψουμε τον γενικό τρόπο σύγκρισης μέσων όρων με τη βοήθεια ενός παραδείγματος. Έστω ότι αρχικά θέλουμε να συγκρίνουμε τους μέσους όρους, ανά δύο, 6 επεμβάσεων (Post hoc comparisons). Κάθε μέσος όρος υπολογίστηκε από 20 επαναλήψεις-μετρήσεις. Επίσης, θέλουμε να συγκρίνουμε τους μέσους όρους των παρακάτω ομάδων επεμβάσεων (ορθόγωνες και μη, συγκρίσεις μέσων όρων ομάδων επεμβάσεων, *a priori* contrasts): α) την ομάδα που αποτελείται από τις επεμβάσεις 1 και 2 με την ομάδα που αποτελείται από τις επεμβάσεις 3 και 4, και β) την ομάδα που αποτελείται από τις επεμβάσεις 1, 2 και 3 με την ομάδα που αποτελείται από τις επεμβάσεις 4, 5 και 6.

Στον Syntax Editor SPSS πληκτρολογήστε και εκτελέστε τον παρακάτω κώδικα:

```
matrix data
variables = cells rowtype_ response / factor = cells.
begin data
1 n 20
2 n 20
3 n 20
4 n 20
5 n 20
6 n 20
1 mean 11,18
2 mean 6,79
3 mean 6,33
4 mean 3,99
5 mean 1,59
6 mean 2,49
. mse 11,49
. dfe 72
end data.

ONEWAY response BY cells
  /matrix=in(*)
  /POSTHOC = TUKEY DUNCAN ALPHA(.05)
  /CONTRAST= 1 1 -1 -1 0 0 /CONTRAST= 1 1 1 -1 -1 -1.
```

### Επεξηγήσεις:

Μετά από κάθε δήλωση **n** ακολουθεί ο αριθμός των επαναλήψεων-μετρήσεων από τις οποίες προέκυψαν οι μέσοι όροι που θέλουμε να συγκρίνουμε. Στο παράδειγμα η τιμή που ακολουθεί τα **n** είναι το 20.

Μετά από κάθε δήλωση **mean** ακολουθεί η τιμή του αντίστοιχου μέσου όρου. **Προσοχή**, ως σύμβολο δεκαδικής υποδιαστολής θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε αυτό που έχετε ορίσει στις Διεθνείς Ρυθμίσεις στον H/Y που εργάζεστε.

Μετά τη δήλωση `. mse` θα πρέπει να πληκτρολογήσετε το κατάλληλο μέσο τετράγωνο σφάλματος (mean square error - mse) το οποίο έχει υπολογιστεί από την κατάλληλη ANOVA σύμφωνα με το πείραμα που έχετε ήδη αναλύσει. Για τις ανάγκες του παραδείγματος ορίστηκε η τιμή 11,49. Και εδώ θα πρέπει ως σύμβολο δεκαδικής υποδιαστολής να χρησιμοποιήσετε αυτό που έχετε ορίσει στις Διεθνείς Ρυθμίσεις στον H/Y που εργάζεστε.

Μετά τη δήλωση `. df` θα πρέπει να πληκτρολογήσετε τους κατάλληλους βαθμούς ελευθερίας που αντιστοιχούν στο μέσο τετράγωνο σφάλματος.

Μετά την εντολή `/POSTHOC` = μπορείτε να πληκτρολογήσετε το τυπικό όνομα του ελέγχου-κριτηρίου που θέλετε να χρησιμοποιήσετε για τις συγκρίσεις μέσω όρων. Στο παράδειγμα οι δηλώσεις **TUKEY DUNCAN** δίνουν οδηγία για τη σύγκριση των 6 μέσω όρων, ανά δύο, με τους ελέγχους Tukey και Duncan. Άλλα τυπικά ονόματα ελέγχων είναι το **LSD** (για το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς) και το **BONFERRONI** (για τον έλεγχο Bonferroni). Με την προτεινόμενη μέθοδο μπορείτε να χρησιμοποιήσετε **μόνο** ελέγχους που είναι κατάλληλοι όταν ισχύει η **ομοιογένεια των παραλλακτικότητων** μεταξύ των επεμβάσεων των οποίων συγκρίνονται οι μέσοι όροι. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις δυνατότητες πολλαπλών συγκρίσεων μέσω όρων συμβουλευτείτε τον οδηγό χρήσης του SPSS.

Μέσα στην παρένθεση της δήλωσης **ALPHA(.05)** μπορείτε να πληκτρολογήσετε το επιθυμητό επίπεδο σημαντικότητας, στο οποίο θα πραγματοποιηθούν οι αντίστοιχοι στατιστικοί έλεγχοι των συγκρίσεων. **Προσοχή**, εδώ υποχρεωτικά το σύμβολο δεκαδικής υποδιαστολής είναι η τελεία.

Μετά την εντολή `/CONTRAST=` μπορείτε να πληκτρολογήσετε τους κατάλληλους συντελεστές που αντιστοιχούν στην αντίθεση (contrast) που θέλετε να ελέγξετε. Στο παράδειγμα, η πρώτη εντολή `/CONTRAST=` ακολουθείται από τους κατάλληλους συντελεστές για να γίνει η α) σύγκριση και η δεύτερη εντολή `/CONTRAST=` από τους κατάλληλους συντελεστές για να γίνει η β) σύγκριση. Ο έλεγχος αντιθέσεων μέσω του παραπάνω κώδικα γίνεται με την προϋπόθεση ότι ισχύει η **ομοιογένεια των παραλλακτικότητων** της εξαρτημένης μεταβλητής μεταξύ των επεμβάσεων που συγκρίνονται. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις δυνατότητες ελέγχων αντιθέσεων μέσω όρων (*a priori* ή αλλιώς *pre-plant comparisons*) συμβουλευτείτε τον οδηγό χρήσης του SPSS.

### Παρατηρήσεις:

Με κίτρινη επισήμανση δηλώνονται τα στοιχεία εκείνα του κώδικα τα οποία μπορείτε να τροποποιήσετε ανάλογα με τις συγκρίσεις που επιθυμείτε να πραγματοποιήσετε.

Αν εκτελέσετε κώδικα όπως του παραδείγματος, στο παράθυρο αποτελεσμάτων του SPSS θα εμφανιστεί και ένας πίνακας ANOVA τον οποίο θα πρέπει να αγνοήσετε.

Στην περίπτωση που οι επεμβάσεις, οι οποίες αντιστοιχούν στα επίπεδα ενός παράγοντα, είναι ποσοτικές και ισαπέχουσες (π.χ. διαφορετικές δόσεις φυτοφαρμάκου) και θέλετε να ελέγξετε τη σημαντικότητα της συμμεταβολής μεταξύ των επιπέδων του παράγοντα και της εξαρτημένης μεταβλητής, τότε κάτω από την εντολή `/matrix=in(*)` μπορείτε να προσθέσετε την εντολή `/POLYNOMIAL=1`, η οποία έχει ως αποτέλεσμα, στο

παράθυρο αποτελεσμάτων, να εμφανιστεί και ο έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας της γραμμικής-ευθύγραμμης μεταβολής μεταξύ των επιπέδων του παράγοντα και της εξαρτημένης μεταβλητής. Στην παραπάνω εντολή, αν αντί για τον αριθμό 1 πληκτρολογήσετε τον αριθμό 2 (αντιστοιχεί σε πολυωνμική αντίθεση 2<sup>ου</sup> βαθμού), τότε θα εμφανιστούν και τα αποτελέσματα του ελέγχου που αφορά στη στατιστική σημαντικότητα του δευτεροβάθμιου όρου στο υπόδειγμα πολυωνμικής μεταβολής δευτέρου βαθμού, όπως στον παρακάτω πίνακα:

## ANOVA

response			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	(Combined)		501,676	3	167,225	37,161	,000
Between Groups	<b>Linear Term</b>	<b>Contrast</b>	<b>290,387</b>	<b>1</b>	<b>290,387</b>	<b>64,530</b>	<b>,000</b>
		Deviation	211,290	2	105,645	23,477	,000
	<b>Quadratic Term</b>	<b>Contrast</b>	<b>192,024</b>	<b>1</b>	<b>192,024</b>	<b>42,672</b>	<b>,000</b>
		Deviation	19,266	1	19,266	4,281	,072
Within Groups			36,000	8	4,500		
Total			537,676	11			

Στην περίπτωση που τα επίπεδα των επεμβάσεων είναι ποσοτικά αλλά όχι ισαπέχοντα, για παράδειγμα 5, 10, 20, 35, 44 και 68, τότε ο προτεινόμενος κώδικας θα πρέπει να τροποποιηθεί ως εξής:

```
matrix data
variables = cells rowtype_ response / factor = cells.
begin data
5 n 20
10 n 20
20 n 20
35 n 20
44 n 20
68 n 20
5 mean 11,18
10 mean 6,79
20 mean 6,33
35 mean 3,99
44 mean 1,59
68 mean 2,49
. mse 11,49
. dfe 72
end data.
```

```
ONEWAY response BY cells
/matrix=in(*)
/POLYNOMIAL=2
/POSTHOC = TUKEY DUNCAN ALPHA(.05)
/CONTRAST= 1 1 -1 -1 0 0 /CONTRAST= 1 1 1 -1 -1 -1.
```

Δηλαδή, θα πρέπει στον αρχικό κώδικα στην περιοχή **matrix data** έως **end data** οι τιμές 1-6 που εμφανίζονται στις γραμμές, όπου δίνεται το μέγεθος δείγματος κάθε επέμβασης και οι προς σύγκριση μέσοι όροι των αντίστοιχων επεμβάσεων, να αντικατασταθούν με τις αριθμητικές τιμές των επεμβάσεων.

**Σημειώσεις αναγνώστη:**

# Ενότητα Ε

## Παραδείγματα Κώδικα του SPSS για Ανάλυση Παραλλακτικότητας Σύνθετων Παραγοντικών Πειραμάτων



### Three Factor RCBD with Treatments arranged in Strips

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε και εκτελούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY A B C Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Block A Block*A B Block*B A*B Block*A*B C A*C B*C
  A*B*C.
```

#### Επεξηγήσεις:

A είναι ο “οριζόντιος” παράγοντας

B είναι ο “κάθετος” παράγοντας

C είναι ο subplot παράγοντας

### Four Factor RCBD with factors B, C, and D as Split plots on Factor A

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε και εκτελούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY A B C D Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Block A Block*A B A*B C A*C B*C A*B*C D A*D B*D A*B*D
  C*D A*C*D B*C*D A*B*C*D.
```

### Four Factor RCBD with factor B as a Split plot on Factor A and Factors C and D as Split plots on Factor B

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε και εκτελούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY A B C D Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Block A Block*A B A*B Block*A*B C A*C B*C A*B*C D A*D
  B*D A*B*D C*D A*C*D B*C*D A*B*C*D.
```



## Four Factor RCBD

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε και εκτελούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY A B C D Block
  /RANDOM=Block
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Block A B C D A*B A*C B*C A*D B*D C*D A*B*C A*B*D A*C*D
  B*C*D A*B*C*D.
```

## Four Factor CRD

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε και εκτελούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA Y BY A B C D
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=A B C D A*B A*C B*C A*D B*D C*D A*B*C A*B*D A*C*D B*C*D
  A*B*C*D.
```

## Multiple Latin Squares

Στον Syntax Editor πληκτρολογούμε και εκτελούμε τις παρακάτω εντολές:

```
UNIANOVA
  Y BY Squares Row Column Treatment
  /RANDOM = Squares Row Column
  /METHOD = SSTYPE(3)
  /INTERCEPT = INCLUDE
  /CRITERIA = ALPHA(.05)
  /DESIGN = Squares Row(Squares) Column(Squares) Treatment
  Squares*Treatment.
```

## Επεξηγήσεις:

**Squares:** Τα τετράγωνα (π.χ. τοποθεσίες)

**Row:** Οι γραμμές των λατινικών τετραγώνων

**Column:** Οι στήλες των λατινικών τετραγώνων

**Treatment:** Οι επεμβάσεις

# Ενότητα Στ

## Ανάλυση Παραλλακτικότητας (ANOVA) Παραγοντικών Πειραμάτων με Επαναλαμβανόμενες Μετρήσεις (Repeated Measures Experiments)



## Ανάλυση Παραλλακτικότητας Παραγοντικών Πειραμάτων με Επαναλαμβανόμενες Μετρήσεις

Για λόγους απλότητας θεωρούμε ότι οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις επί των ιδίων πειραματικών μονάδων αποτελούν τα επίπεδα ενός παράγοντα, τον οποίο από τώρα και στο εξής θα ονομάζουμε ‘χρόνος’ (Time). Τα πειράματα αυτά απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή και εξειδικευμένη γνώση στην ανάλυση των αντίστοιχων δεδομένων διότι:

1. Υπάρχουν δύο οικογένειες μεθόδων για τη στατιστική ανάλυση. Η πρώτη οικογένεια περιλαμβάνει μονομεταβλητές προσεγγίσεις (univariate), ενώ η δεύτερη πολυμεταβλητές (multivariate). Στις μονομεταβλητές προσεγγίσεις ο χρόνος (Time) θεωρείται παράγοντας. Στις πολυμεταβλητές προσεγγίσεις οι μετρήσεις που γίνονται στις διάφορες χρονικές στιγμές θεωρούνται ως εξαρτημένες μεταβλητές και η στατιστική ανάλυση εμπίπτει στο μεθοδολογικό πλαίσιο της MANOVA (Multivariate Analysis of Variance).
2. Σε κάθε οικογένεια υπάρχουν διαφορετικές εκδοχές που αφορούν στο μαθηματικό υπόδειγμα που θα χρησιμοποιηθεί για την ANOVA.
3. Τα αντίστοιχα μαθηματικά υποδείγματα για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις απαιτούν την ικανοποίηση πολλών στατιστικών προϋποθέσεων (που συχνά δεν ικανοποιούνται στην πράξη), ώστε τα επαγωγικά συμπεράσματα από την ANOVA να είναι έγκυρα.

Τα παρακάτω πειράματα που παρουσιάστηκαν στην ενότητα “Συνδυασμένη Ανάλυση Πειραμάτων Δικτυωμένων στο Χώρο και στο Χρόνο (General Linear Models-GLM)” είναι περιπτώσεις πειραμάτων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις:

**4. Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, same Locations and Randomization each Year (Perennial Crops)**

**8. Two Factor Randomized Complete Block Design Combined over Locations and Years, same Location and Randomization each Year**

**10. Two Factor Randomized Complete Block Design with Split, Combined over Locations and Years, same Location and Randomization each Year**

Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε ορισμένες μεθοδολογικές εκδοχές για τη στατιστική ανάλυση δεδομένων που συγκεντρώθηκαν από πειράματα με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις.

**Πρώτη εκδοχή (μονομεταβλητή προσέγγιση):** Θεωρούμε το χρόνο ως παράγοντα **Split** (sub plot) και αναλύουμε το πείραμα ως **Split plot** (με ή χωρίς τροποποίηση) ή αν είναι ήδη Split plot τότε το αναλύουμε ως Split-split plot. Αυτή η προσέγγιση είναι έγκυρη αν ισχύει, πλέον των άλλων προϋποθέσεων, η **προϋπόθεση της σφαιρικότητας** (sphericity). Η σφαιρικότητα αφορά στην ομοιογένεια των παραλλακτικοτήτων των διαφορών μεταξύ των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων.

**Παραδείγματα:****A) Split plot χωρίς τροποποίηση**

Πειραματικό σχέδιο: RCBD

Παράγοντες: FA και Time

```
UNIANOVA Y BY Block FA Time
```

```
  /RANDOM=Block
```

```
  /METHOD=SSTYPE(3)
```

```
  /INTERCEPT=INCLUDE
```

```
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
```

```
  /DESIGN= Block FA Block*FA Time Time*FA.
```

Στο παράδειγμα αυτό ο παράγοντας **FA** θεωρείται ως **main plot** factor και ο παράγοντας **Time** ως **sub plot**.

**B) Split plot με τροποποίηση**

Πειραματικό σχέδιο: RCBD

Παράγοντες: FA και Time

```
UNIANOVA Y BY Block FA Time
```

```
  /RANDOM=Block
```

```
  /METHOD=SSTYPE(3)
```

```
  /INTERCEPT=INCLUDE
```

```
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
```

```
  /DESIGN= Block FA Block*FA Time Time*FA Time*Block.
```

Στο παράδειγμα αυτό η τροποποίηση έγκειται στο ότι έχει συμπεριληφθεί στο υπόδειγμα και ο όρος **Time\*Block**. Αν ο παράγοντας 'χρόνος' (**Time**) αντιστοιχεί σε έτη (**Years**) η αλληλεπίδραση **Years\*Block** είναι συνήθως στατιστικά σημαντική και το μέσο τετράγωνο που αντιστοιχεί σε αυτή χρησιμοποιείται για τον έλεγχο στατιστικής σημαντικότητας της κύριας επίδρασης του παράγοντα **Years**. Η στατιστική σημαντικότητα της αλληλεπίδρασης **Years\*FA** ελέγχεται με βάση το **Error b** της ANOVA.

**Δεύτερη εκδοχή (μονομεταβλητή προσέγγιση):** Θεωρούμε το χρόνο ως παράγοντα **Split** (sub plot) και αναλύουμε το πείραμα ως **Split plot** (με ή χωρίς τροποποίηση) ή αν είναι ήδη Split plot τότε το αναλύουμε ως Split-split plot διορθώνοντας εκ των υστέρων τους βαθμούς ελευθερίας στην ANOVA για τον έλεγχο σημαντικότητας της κύριας επίδρασης του παράγοντα 'χρόνος' και της αλληλεπίδρασής του με τους άλλους παράγοντες (πρόκειται για την πιο **συντηρητική εκδοχή**). Η εκδοχή αυτή είναι χρήσιμη όταν **δεν ικανοποιείται** η προϋπόθεση της **σφαιρικότητας**.

**Παράδειγμα:**

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται το πρότυπο του πίνακα της ANOVA ενός πειράματος βασισμένο στο **CRD** που περιλαμβάνει **a** επεμβάσεις (Treatments) με **n** επαναλήψεις ανά επέμβαση και **b** επαναλαμβανόμενες μετρήσεις επί των ιδίων πειραματικών μονάδων στο χρόνο (Time). Το πείραμα αναλύεται αρχικά ως Split plot (κατά τα γνωστά, χωρίς τροποποίηση). Στη στήλη με τίτλο **Conservative df** (συντηρητικοί βαθμοί ελευθερίας) εμφανίζονται οι βαθμοί ελευθερίας βάσει των οποίων θα πρέπει να υπολογιστούν εκ νέου τα Μέσα Τετράγωνα (MS) των πηγών παραλλακτικότητας Time, Time×Treatments και Error b. Παρατηρείστε ότι οι συντηρητικοί βαθμοί ελευθερίας προκύπτουν αν οι αρχικοί βαθμοί ελευθερίας για τις πηγές παραλλακτικότητας Time, Time×Treatments και Error b διαιρεθούν με τους βαθμούς ελευθερίας που αντιστοιχούν στην κύρια επίδραση του παράγοντα Time (δηλαδή αν διαιρεθούν διά **b-1**). Τα νέα Μέσα Τετράγωνα (MS) θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Τέλος, με βάση το νέο Μέσο Τετράγωνο που αντιστοιχεί στο Error b θα γίνουν και οι όποιες συγκρίσεις μέσων όρων.

Source	df	SS	MS	Conservative df
<b>Among Experimental Units</b>				
Treatment (A)	a-1	SSA	SSA/(a-1)	
Rep* Trt (Error a)	a (n-1)	SS(MPE)	SS(MPE)/a(n-1)	
<b>Within Experimental Units</b>				
Response in time (B)	b-1	SSB	SSB/(b-1)	1
Response by Trt. (A*B)	(b-1)(a-1)	SSAB	SSAB/(b-1)(a-1)	a-1
Error b	a(b-1)(n-1)	SS(SPE)	SS(SPE)/a (b-1) (n-1)	a(n-1)

SS: Άθροισμα τετραγώνων, MS: Μέσα Τετράγωνα, df: βαθμοί ελευθερίας

Συνεπώς, τα νέα μέσα τετράγωνα θα πρέπει να υπολογιστούν ως εξής:

$$MS(\text{Time}) = \frac{SSB}{1}$$

$$MS(\text{Time} \times \text{Treatment}) = \frac{SSAB}{a-1}$$

$$MS(\text{Error b}) = \frac{SS(SPE)}{a(n-1)}$$

Η εκδοχή αυτή απαιτεί επιπλέον υπολογιστικές πράξεις, οι οποίες θα πρέπει να γίνουν με το 'χέρι'.

**Τρίτη εκδοχή (μονομεταβλητή προσέγγιση):** Θεωρούμε το χρόνο ως παράγοντα **Strip** (αφού στα επίπεδά του δεν μπορεί να γίνει τυχαιοποίηση) και αναλύουμε το πείραμα ως **Strip plot** (με ή χωρίς τροποποίηση). Αυτή η προσέγγιση είναι έγκυρη αν ισχύει, πλέον των άλλων προϋποθέσεων, η **προϋπόθεση της σφαιρικότητας** (sphericity).

**Τέταρτη εκδοχή (πολυμεταβλητή προσέγγιση):** Χρησιμοποιούμε στατιστικές διαδικασίες του SPSS κατάλληλες για πειράματα με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις

(όπως είναι για παράδειγμα η διαδικασία General Linear Models for Repeated Measures).

### Παραδείγματα:

#### A) Η Διαδικασία του SPSS General Linear Models: Repeated Measures (CRD)

##### A1. Εισαγωγή Δεδομένων στο SPSS

Για την εφαρμογή της διαδικασίας αυτής θα πρέπει στο φύλλο δεδομένων του SPSS (Data editor) οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις να καταχωρηθούν σε διαφορετικές στήλες όπως φαίνεται στην Εικόνα Z1.

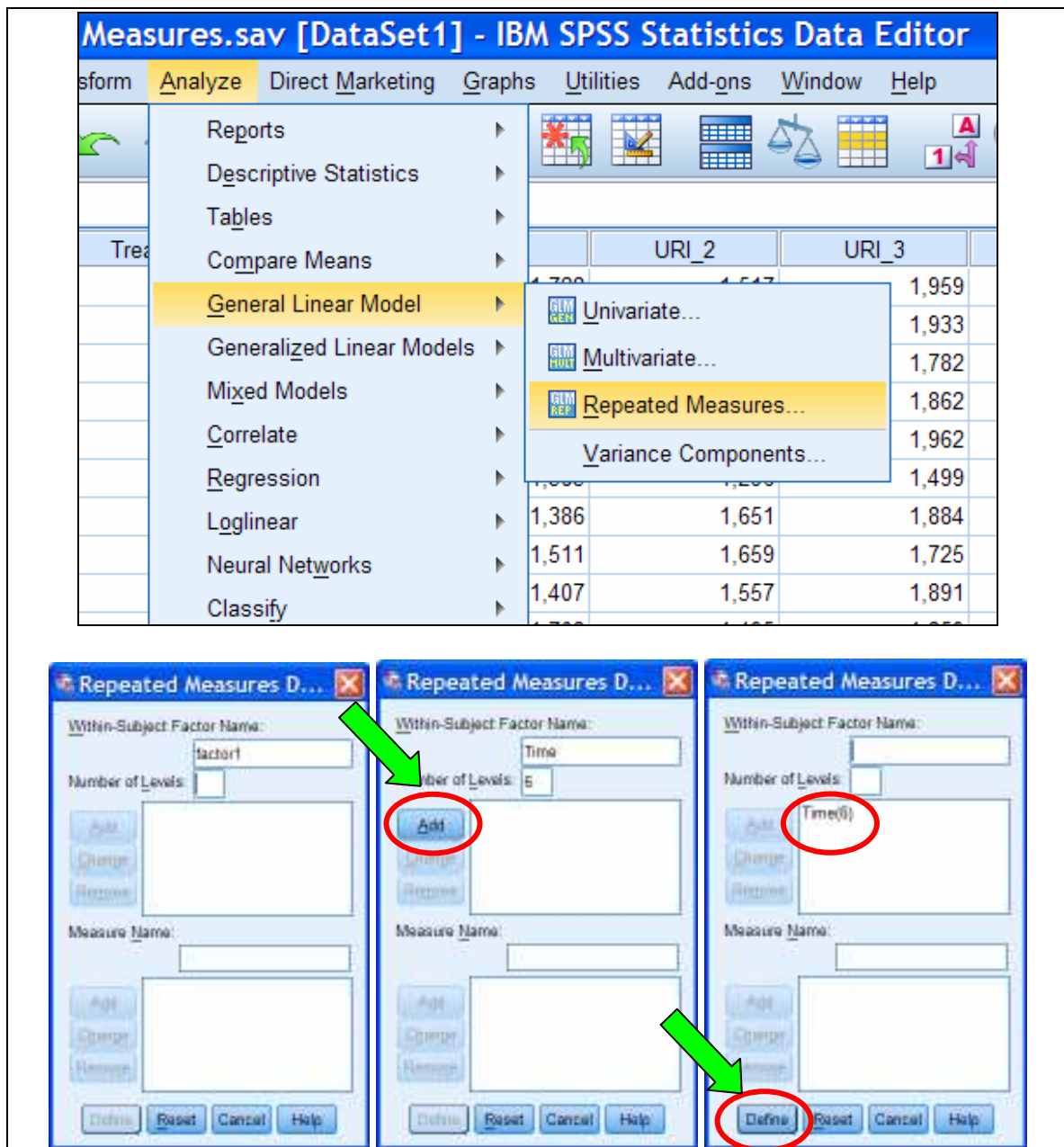
	an	Treatment	Replication	URI_1	URI_2	URI_3	URI_4	URI_5	URI_6
1	1	1	1	1.728	1.517	1.959	1.855	1.996	2.138
2	2	1	2	1.405	1.761	1.933	1.317	1.910	2.173
3	3	1	3	1.502	1.705	1.782	1.411	1.950	1.909
4	4	1	4	1.433	1.636	1.862	1.690	2.116	1.961
5	5	1	5	1.766	1.656	1.962	1.624	2.053	2.235
6	6	1	6	1.583	1.296	1.499	1.472	1.608	1.829
7	7	1	7	1.386	1.651	1.884	1.885	2.126	2.165
8	8	1	8	1.511	1.659	1.725	1.764	2.073	1.979
9	9	1	9	1.407	1.557	1.891	1.953	1.812	2.006
10	10	1	10	1.708	1.495	1.859	1.907	1.988	1.880
11	11	1	11	1.443	1.569	1.885	2.041	2.071	2.053
12	12	1	12	1.224	1.743	1.891	1.878	1.660	1.920
13	13	1	13	1.411	1.465	1.859	1.876	1.926	2.076
14	14	1	14	1.542	1.739	1.631	1.585	1.893	1.974
15	15	1	15	1.613	1.550	1.763	1.718	1.961	2.164
16	16	1	16	1.221	1.638	2.018	1.829	2.118	2.108
17	17	1	17	1.617	1.776	1.994	2.013	2.014	2.162
18	18	1	18	1.675	1.575	2.025	1.885	1.930	2.111
19	19	2	1	1.506	2.081	1.992	1.999	1.884	1.549
20	20	2	2	1.591	2.093	2.001	1.961	1.936	1.513
21	21	2	3	1.703	2.056	2.109	2.084	1.993	1.663

**Εικόνα Z1:** Καταχώρηση δεδομένων στο SPSS για την εφαρμογή της διαδικασίας General Linear Models: Repeated Measures

Το συγκεκριμένο παράδειγμα αφορά ένα πείραμα βασισμένο στο **CRD** με 2 επεμβάσεις (Treatments, π.χ. 2 Ομάδες ασθενών: Πειραματική και Ελέγχου), 18 επαναλήψεις (Replication, π.χ. Ασθενείς) ανά επέμβαση και 6 επαναλαμβανόμενες μετρήσεις ουρίας σε ισαπέχοντα χρονικά διαστήματα (URI\_1 έως URI\_6).

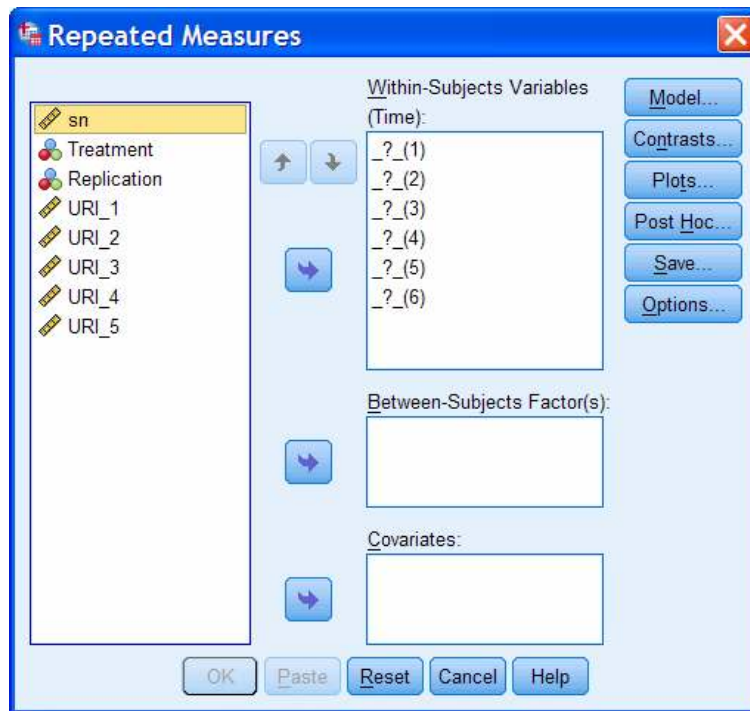
### **Σημειώσεις αναγνώστη:**

## A2. Εντολές και ρυθμίσεις στο SPSS



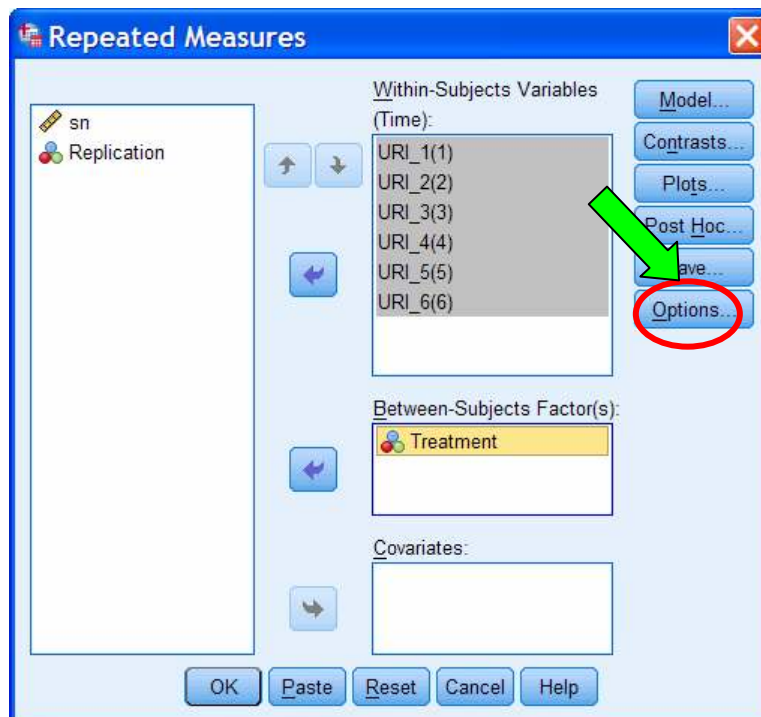
**Εικόνα Z2:** Εντολές και ρυθμίσεις στο SPSS για την εφαρμογή της διαδικασίας General Linear Models: Repeated Measures

Στο πεδίο **Within-Subject Factor Name** πληκτρολογήστε ένα τυπικό όνομα για τον παράγοντα χρόνο, π.χ. **Time**, και στο πεδίο **Number of Levels** πληκτρολογήστε τον αριθμό **6** (Εικόνα Z2). Πατήστε στο πλήκτρο **Add**. Η ένδειξη **Time(6)** θα πρέπει να εμφανίζεται στο χώρο δεξιά από το πλήκτρο **Add**. Πατήστε στο πλήκτρο **Define**. Θα εμφανιστεί το παρακάτω πλαίσιο διαλόγου (Εικόνα Z3).



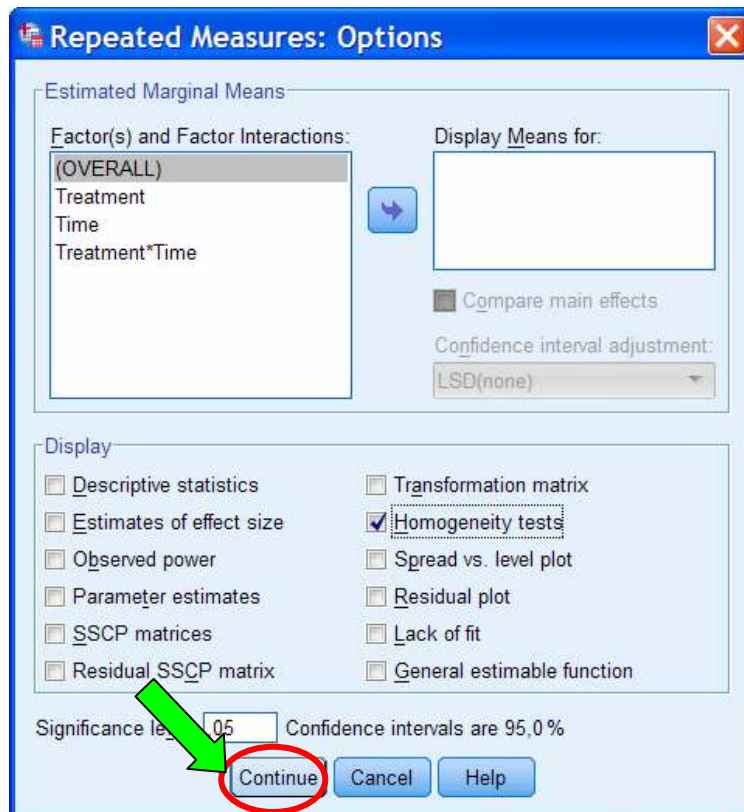
**Εικόνα Z3:** Το πλαίσιο διαλόγου Repeated Measures: Define

Εισάγετε τις 6 επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (URI\_1 έως URI\_6) και τη μεταβλητή Treatment στα πεδία **Within-Subjects Variables** και **Between-Subjects Factor(s)** αντίστοιχα (βλέπε Εικόνα Z4). Πατήστε στο πλήκτρο **Options** (βλέπε Εικόνα Z5).



**Εικόνα Z4:** Δήλωση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων και επεμβάσεων





**Εικόνα Z5:** Το πλαίσιο διαλόγου Repeated Measures: Options

Επιλέξτε το τετραγωνίδιο **Homogeneity tests**. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις άλλες δυνατότητες της διαδικασίας Repeated Measures συμβουλευτείτε τον οδηγό χρήσης του SPSS. Πατήστε στο πλήκτρο **Continue** και στο πλαίσιο διαλόγου που θα εμφανιστεί (βλέπε Εικόνα Z4) πατήστε στο πλήκτρο **OK**.

### A3. Αποτελέσματα

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μέρος των πινάκων που θα εμφανιστούν στο παράθυρο αποτελεσμάτων του SPSS μετά την εκτέλεση των εντολών που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα.

Box's M	34,277
F	1,319
df1	21
df2	4251,766
Sig.	,150

Tests the null hypothesis that the observed covariance matrices of the dependent variables are equal across groups.

a. Design: Intercept + Treatment

Within Subjects Design: Time

Στον παραπάνω πίνακα (**Box's Test of Equality of Covariance Matrices**) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου του Box για την ισότητα των πινάκων συνδυασporών μεταξύ των επεμβάσεων. Με κίτρινη επισήμανση δηλώνεται η παρατηρούμενη στάθμη σημαντικότητας του ελέγχου  $F$  ( $p$ -value ή Sig.). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η μηδενική υπόθεση του ελέγχου δεν μπορεί να απορριφθεί σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,01$  (ο έλεγχος πρέπει να γίνεται σε αυστηρό επίπεδο σημαντικότητας, συνήθως στο 0,01 ή ακόμη και στο 0,001 και όχι στο 0,05).

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Time	Pillai's Trace	,855	35,494 <sup>b</sup>	5,000	30,000	,000
	Wilks' Lambda	,145	35,494 <sup>b</sup>	5,000	30,000	,000
	Hotelling's Trace	5,916	35,494 <sup>b</sup>	5,000	30,000	,000
	Roy's Largest Root	5,916	35,494 <sup>b</sup>	5,000	30,000	,000
Time * Treatment	Pillai's Trace	,899	53,177 <sup>b</sup>	5,000	30,000	,000
	Wilks' Lambda	,101	53,177 <sup>b</sup>	5,000	30,000	,000
	Roy's Largest Root	8,863	53,177 <sup>b</sup>	5,000	30,000	,000

a. Design: Intercept + Treatment

Within Subjects Design: Time

b. Exact statistic

Στον παραπάνω πίνακα (**Multivariate Tests**) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τεσσάρων πολυμεταβλητών (multivariate) ελέγχων που αφορούν στον έλεγχο στατιστικής σημαντικότητας της κύριας επίδρασης του παράγοντα 'χρόνος' και της αλληλεπίδρασης 'χρόνος×επεμβάσεις'. Πιο συχνά χρησιμοποιείται ο έλεγχος Pillai's Trace (ίχνος του Pillai). Με κίτρινη επισήμανση δηλώνεται η παρατηρούμενη στάθμη σημαντικότητας των ελέγχων  $F$  ( $p$ -value ή Sig.).

#### Mauchly's Test of Sphericity<sup>a</sup>

Measure: MEASURE\_1

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon <sup>b</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
Time	,346	34,056	14	,002	,719	,838	,200

Tests the null hypothesis that the error covariance matrix of the orthonormalized transformed dependent variables is proportional to an identity matrix.

a. Design: Intercept + Treatment

Within Subjects Design: Time

b. May be used to adjust the degrees of freedom for the averaged tests of significance. Corrected tests are displayed in the Tests of Within-Subjects Effects table.

Στον παραπάνω πίνακα (**Mauchly's Test of Sphericity**) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου σφαιρικότητας του Mauchly. Ο έλεγχος αυτός είναι χρήσιμος

για την ενδεχόμενη διόρθωση των αποτελεσμάτων της ANOVA όταν χρησιμοποιείται η μονομεταβλητή (univariate) προσέγγιση στην ανάλυση πειραμάτων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Με κίτρινη επισήμανση δηλώνεται η παρατηρούμενη στάθμη σημαντικότητας του ελέγχου  $X^2$  ( $p$ -value ή Sig.). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η μηδενική υπόθεση του ελέγχου απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,01$  αλλά δεν μπορεί να απορριφθεί σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,001$ , αφού  $p=0,002>0,001$  (και ο έλεγχος αυτός πρέπει να γίνεται σε αυστηρό επίπεδο σημαντικότητας, συνήθως στο 0,01 ή ακόμη και στο 0,001 και όχι στο 0,05).

#### Tests of Within-Subjects Effects

Measure: MEASURE\_1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Time	Sphericity Assumed	2,580	5	,516	34,570	,000
	Greenhouse-Geisser	2,580	3,593	,718	34,570	,000
	Huynh-Feldt	2,580	4,188	,616	34,570	,000
	Lower-bound	2,580	1,000	2,580	34,570	,000
Time * Treatment	Sphericity Assumed	3,651	5	,730	48,918	,000
	Greenhouse-Geisser	3,651	3,593	1,016	48,918	,000
	Huynh-Feldt	3,651	4,188	,872	48,918	,000
	Lower-bound	3,651	1,000	3,651	48,918	,000
Error(Time)	Sphericity Assumed	2,537	170	,015		
	Greenhouse-Geisser	2,537	122,153	,021		
	Huynh-Feldt	2,537	142,384	,018		
	Lower-bound	2,537	34,000	,075		

Στον παραπάνω πίνακα (**Tests of Within-Subjects Effects**) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ANOVA που αφορούν τη στατιστική σημαντικότητα της κύριας επίδρασης του παράγοντα 'χρόνος' και της αλληλεπίδρασης 'χρόνος×επεμβάσεις'. Αν από τον έλεγχο του Mauchly η σφαιρικότητα δεν απορριφθεί τότε τα έγκυρα αποτελέσματα θα διαβαστούν από τη γραμμή του πίνακα με τίτλο **Sphericity Assumed**. Σε αντίθετη περίπτωση, συνήθως χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα της γραμμής με τίτλο **Greenhouse-Geisser**. Με κίτρινη επισήμανση δηλώνεται η παρατηρούμενη στάθμη σημαντικότητας των ελέγχων  $F$  ( $p$ -value ή Sig.). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, και με τους τέσσερις ελέγχους τα επαγωγικά συμπεράσματα είναι τα ίδια. Εκείνο που χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή είναι το εξής: ανάλογα με το ποιος έλεγχος θα χρησιμοποιηθεί υπολογίζονται-διορθώνονται διαφορετικά οι βαθμοί ελευθερίας του πίνακα ANOVA και συνεπώς υπολογίζονται διαφορετικά τα μέσα τετράγωνα (επιδράσεων και σφάλματος). Οι διορθωμένοι βαθμοί ελευθερίας και τα διορθωμένα μέσα τετράγωνα θα πρέπει, στη συνέχεια, να χρησιμοποιούνται σε περαιτέρω αναλύσεις, όπως είναι για παράδειγμα οι συγκρίσεις μέσω όρων.

## Tests of Within-Subjects Contrasts

Measure: MEASURE\_1

Source	Time	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Time	Linear	1,025	1	1,025	68,587	,000
	Quadratic	1,210	1	1,210	56,163	,000
	Cubic	,091	1	,091	6,898	,013
	Order 4	,066	1	,066	4,755	,036
	Order 5	,188	1	,188	16,983	,000
Time * Treatment	Linear	2,536	1	2,536	169,645	,000
	Quadratic	,843	1	,843	39,154	,000
	Cubic	,000	1	,000	,037	,848
	Order 4	,143	1	,143	10,272	,003
	Order 5	,128	1	,128	11,524	,002
Error(Time)	Linear	,508	34	,015		
	Quadratic	,732	34	,022		
	Cubic	,446	34	,013		
	Order 4	,474	34	,014		
	Order 5	,377	34	,011		

Στον παραπάνω πίνακα (**Tests of Within-Subjects Contrasts**) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ελέγχων στατιστικής σημαντικότητας πολυωνυμικών αντιθέσεων μέχρι  $k-1$  βαθμού, όπου  $k$  είναι το πλήθος των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (δηλαδή των επιπέδων του παράγοντα 'χρόνος'). Με κίτρινη επισήμανση δηλώνεται η παρατηρούμενη στάθμη σημαντικότητας των ελέγχων  $F$  ( $p$ -value ή Sig.). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο παράγοντας Time έχει 6 ( $k=6$ ) **ισαπέχοντα** επίπεδα και συνεπώς ελέγχεται η σημαντικότητα πολυωνυμικών αντιθέσεων μέχρι 5<sup>ου</sup> βαθμού (Order 5). Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην βιολογική ερμηνεία των πολυωνυμικών αντιθέσεων βαθμού μεγαλύτερου του 2. Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι έγκυρα μόνο αν τα επίπεδα του παράγοντα 'Time' είναι **ισαπέχοντα**.

Levene's Test of Equality of Error Variances<sup>a</sup>

	F	df1	df2	Sig.
URI_1	1,655	1	34	,207
URI_2	,380	1	34	,542
URI_3	1,464	1	34	,235
URI_4	1,177	1	34	,286
URI_5	1,277	1	34	,266
URI_6	,323	1	34	,574

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Treatment

Within Subjects Design: Time

Στον παραπάνω πίνακα (**Levene's Test of Equality of Error Variances**) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου του Levene για την ομοιογένεια των παραλλακτικότητας των σφαλμάτων μεταξύ των επεμβάσεων. Με κίτρινη επισήμανση δηλώνεται η παρατηρούμενη στάθμη σημαντικότητας των ελέγχων  $F$  ( $p$ -value ή Sig.). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα όλοι οι έλεγχοι έδωσαν  $p > 0,05$  και συνεπώς για όλες τις χρονικές στιγμές η υπόθεση της ομοιογένειας δεν μπορεί να απορριφθεί σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 0,05$ .

#### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: MEASURE\_1

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	702,303	1	702,303	17130,600	,000
<b>Treatment</b>	<b>,032</b>	<b>1</b>	<b>,032</b>	<b>,776</b>	<b>,385</b>
Error	1,394	34	,041		

Στον παραπάνω πίνακα (**Tests of Between-Subjects Effects**) ελέγχεται η στατιστική σημαντικότητα της κύριας επίδρασης του παράγοντα Treatment (αγνοήστε τη γραμμή με τίτλο Intercept). Με κίτρινη επισήμανση δηλώνεται η παρατηρούμενη στάθμη σημαντικότητας του ελέγχου  $F$  ( $p$ -value ή Sig.).

#### B) Η Διαδικασία του SPSS General Linear Models: Repeated Measures (RCBD)

Αν ένα πείραμα με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις είναι βασισμένο στο **RCBD** τότε η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται όπως στο προηγούμενο παράδειγμα με τη διαφορά ότι δεν υπάρχουν πλέον επαναλήψεις (Replication) αλλά ομάδες (Blocks). Χρησιμοποιώντας την κωδικοποίηση του προηγούμενου παραδείγματος το όνομα της στήλης – μεταβλητής Replication για τυπικούς λόγους θα πρέπει να αλλάξει σε Blocks. Για την παραγωγή του πίνακα ANOVA, στον Syntax Editor του SPSS θα πρέπει να πληκτρολογήσετε και να εκτελέσετε τον παρακάτω κώδικα:

```
GLM URI_1 URI_2 URI_3 URI_4 URI_5 URI_6 BY Blocks Treatment
  /WSFACTOR=Time 6 Polynomial
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /PRINT=HOMOGENEITY
  /CRITERIA=ALPHA(.05)
  /DESIGN= Treatment Blocks.
```

Στους πίνακες ANOVA (πολυμεταβλητή και μονομεταβλητή ανάλυση) θα υπάρχουν αποτελέσματα για τον έλεγχο σημαντικότητας της αλληλεπίδρασης '**Time×Blocks**' και για τον έλεγχο σημαντικότητας του παράγοντα **Block** (βλέπε παρακάτω πίνακες).

Multivariate Tests<sup>a</sup>

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Time	Pillai's Trace	,925	32,034 <sup>b</sup>	5,000	13,000	,000
	Wilks' Lambda	,075	32,034 <sup>b</sup>	5,000	13,000	,000
	Hotelling's Trace	12,321	32,034 <sup>b</sup>	5,000	13,000	,000
	Roy's Largest Root	12,321	32,034 <sup>b</sup>	5,000	13,000	,000
Time * Treatment	Pillai's Trace	,955	55,725 <sup>b</sup>	5,000	13,000	,000
	Wilks' Lambda	,045	55,725 <sup>b</sup>	5,000	13,000	,000
	Hotelling's Trace	21,433	55,725 <sup>b</sup>	5,000	13,000	,000
	Roy's Largest Root	21,433	55,725 <sup>b</sup>	5,000	13,000	,000
Time * Blocks	Pillai's Trace	2,033	,685	85,000	85,000	,958
	Wilks' Lambda	,053	,662	85,000	67,268	,964
	Hotelling's Trace	4,704	,631	85,000	57,000	,973
	Roy's Largest Root	2,416	2,416 <sup>c</sup>	17,000	17,000	,039

a. Design: Intercept + Treatment + Blocks

Within Subjects Design: Time

b. Exact statistic

c. The statistic is an upper bound on F that yields a lower bound on the significance level.

## Tests of Within-Subjects Effects

Measure: MEASURE\_1

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Time	Sphericity Assumed	2,580	5	,516	30,205	,000
	Greenhouse-Geisser	2,580	3,217	,802	30,205	,000
	Huynh-Feldt	2,580	5,000	,516	30,205	,000
	Lower-bound	2,580	1,000	2,580	30,205	,000
Time * Treatment	Sphericity Assumed	3,651	5	,730	42,741	,000
	Greenhouse-Geisser	3,651	3,217	1,135	42,741	,000
	Huynh-Feldt	3,651	5,000	,730	42,741	,000
	Lower-bound	3,651	1,000	3,651	42,741	,000
Time * Blocks	Sphericity Assumed	1,085	85	,013	,747	,909
	Greenhouse-Geisser	1,085	54,694	,020	,747	,858
	Huynh-Feldt	1,085	85,000	,013	,747	,909
	Lower-bound	1,085	17,000	,064	,747	,722
Error(Time)	Sphericity Assumed	1,452	85	,017		
	Greenhouse-Geisser	1,452	54,694	,027		
	Huynh-Feldt	1,452	85,000	,017		
	Lower-bound	1,452	17,000	,085		

### Tests of Between-Subjects Effects

Measure: MEASURE\_1

Transformed Variable: Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	702,303	1	702,303	15381,842	,000
Treatment	,032	1	,032	,697	,415
Blocks	,618	17	,036	,796	,678
Error	,776	17	,046		

### Παρατηρήσεις:

Μέσω της διαδικασίας **General Linear Models: Repeated Measures** του SPSS ο παράγοντας **Block** (στο παράδειγμα B) εισάγεται στο αντίστοιχο μαθηματικό υπόδειγμα ως **fixed**.

Στον κώδικα του παραδείγματος B και στη γραμμή **/WSFACTOR=Time 6 Polynomial** μπορείτε να αντικαταστήσετε τη δήλωση **Polynomial** με κάποια από τις παρακάτω δηλώσεις (αντιθέσεις): **Deviation**, **Simple**, **Difference**, **Helmert** και **Repeated**. Για τις αντιθέσεις **Deviation** και **Simple** θα πρέπει να καθορίσετε και τη χρονική στιγμή αναφοράς (πρώτη-first ή τελευταία-last). Μπορείτε επίσης να καθορίσετε και ελέγχους αντιθέσεων και για τους άλλους παράγοντες του πειράματος. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις αντιθέσεις που προαναφέρθηκαν παραπέμπουμε στο Παράρτημα 2.

### Παράδειγμα:

```
GLM URI_1 URI_2 URI_3 URI_4 URI_5 URI_6 BY Blocks Treatment
  /WSFACTOR=Time 6 Simple(1)
  /CONTRAST(Treatment)=Deviation
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /PRINT=HOMOGENEITY
  /CRITERIA=ALPHA(.05)
  /DESIGN= Treatment Blocks.
```

Στον παραπάνω κώδικα η δήλωση **Time Simple(1)** δίνει οδηγία στο SPSS να ελέγξει τη στατιστική σημαντικότητα της αντίθεσης τύπου **Simple**, όπου κατηγορία αναφοράς είναι η πρώτη χρονική στιγμή (**1**). Αν δεν εισάγετε την παρένθεση τότε, εκ κατασκευής, ως κατηγορία αναφοράς θεωρείται η τελευταία χρονική στιγμή. Η υποεντολή **/CONTRAST(Treatment)=Deviation** δίνει οδηγία στο SPSS να ελέγξει τη στατιστική σημαντικότητα της αντίθεσης τύπου **Deviation**, όπου κατηγορία αναφοράς είναι η τελευταία επέμβαση του πειράματος (Treatment), με βάση την αριθμητική κωδικοποίηση.

Σε περίπτωση που οι χρονικές στιγμές δεν είναι ισαπέχουσες τότε θα πρέπει η δήλωση **Polynomial** να ακολουθείται από παρένθεση, όπου μέσα θα δίνονται οι **σχετικές αποστάσεις** των χρονικών στιγμών. Για παράδειγμα, αν οι χρονικές στιγμές είναι τρεις:

20, 40 και 80 (π.χ. ημέρες), τότε η δήλωση Polynomial θα πρέπει να έχει την παρακάτω σύνταξη:

```
/WSFACTOR=Time 6 Polynomial (1 2 4)
```

**Σημειώσεις αναγνώστη:**



## Παράρτημα 1: Covariance Structures

**Ante-Dependence: First-Order.** This covariance structure has heterogenous variances and heterogenous correlations between adjacent elements. The correlation between two nonadjacent elements is the product of the correlations between the elements that lie between the elements of interest.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_2\sigma_1\rho_1 & \sigma_3\sigma_1\rho_1\rho_2 & \sigma_4\sigma_1\rho_1\rho_2\rho_3 \\ \sigma_2\sigma_1\rho_1 & \sigma_2^2 & \sigma_3\sigma_2\rho_2 & \sigma_4\sigma_2\rho_2\rho_3 \\ \sigma_3\sigma_1\rho_1\rho_2 & \sigma_3\sigma_2\rho_2 & \sigma_3^2 & \sigma_4\sigma_3\rho_3 \\ \sigma_4\sigma_1\rho_1\rho_2\rho_3 & \sigma_4\sigma_2\rho_2\rho_3 & \sigma_4\sigma_3\rho_3 & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

**AR(1).** This is a first-order autoregressive structure with homogenous variances. The correlation between any two elements is equal to  $\rho$  for adjacent elements,  $\rho^2$  for elements that are separated by a third, and so on.  $\rho$  is constrained so that  $-1 < \rho < 1$ .

$$\sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^2 & \rho^3 \\ \rho & 1 & \rho & \rho^2 \\ \rho^2 & \rho & 1 & \rho \\ \rho^3 & \rho^2 & \rho & 1 \end{bmatrix}$$

**AR(1): Heterogenous.** This is a first-order autoregressive structure with heterogenous variances. The correlation between any two elements is equal to  $\rho$  for adjacent elements,  $\rho^2$  for two elements separated by a third, and so on.  $\rho$  is constrained to lie between  $-1$  and  $1$ .

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_2\sigma_1\rho & \sigma_3\sigma_1\rho^2 & \sigma_4\sigma_1\rho^3 \\ \sigma_2\sigma_1\rho & \sigma_2^2 & \sigma_3\sigma_2\rho & \sigma_4\sigma_2\rho^2 \\ \sigma_3\sigma_1\rho^2 & \sigma_3\sigma_2\rho & \sigma_3^2 & \sigma_4\sigma_3\rho \\ \sigma_4\sigma_1\rho^3 & \sigma_4\sigma_2\rho^2 & \sigma_4\sigma_3\rho & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

**ARMA(1,1).** This is a first-order autoregressive moving average structure. It has homogenous variances. The correlation between two elements is equal to  $\phi*\rho$  for adjacent elements,  $\phi*(\rho^2)$  for elements separated by a third, and so on.  $\rho$  and  $\phi$  are the autoregressive and moving average parameters, respectively, and their values are constrained to lie between  $-1$  and  $1$ , inclusive.

$$\sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \phi\rho & \phi\rho^2 & \phi\rho^3 \\ \phi\rho & 1 & \phi\rho & \phi\rho^2 \\ \phi\rho^2 & \phi\rho & 1 & \phi\rho \\ \phi\rho^3 & \phi\rho^2 & \phi\rho & 1 \end{bmatrix}$$

**Compound Symmetry.** This structure has constant variance and constant covariance.

$$\begin{bmatrix} \sigma^2 + \sigma_1^2 & \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma^2 + \sigma_1^2 & \sigma_1 & \sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma^2 + \sigma_1^2 & \sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma^2 + \sigma_1^2 \end{bmatrix}$$

**Compound Symmetry: Correlation Metric.** This covariance structure has homogenous variances and homogenous correlations between elements.

$$\sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho & \rho \\ \rho & 1 & \rho & \rho \\ \rho & \rho & 1 & \rho \\ \rho & \rho & \rho & 1 \end{bmatrix}$$

**Compound Symmetry: Heterogenous.** This covariance structure has heterogenous variances and constant correlation between elements.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_2\sigma_1\rho & \sigma_3\sigma_1\rho & \sigma_4\sigma_1\rho \\ \sigma_2\sigma_1\rho & \sigma_2^2 & \sigma_3\sigma_2\rho & \sigma_4\sigma_2\rho \\ \sigma_3\sigma_1\rho & \sigma_3\sigma_2\rho & \sigma_3^2 & \sigma_4\sigma_3\rho \\ \sigma_4\sigma_1\rho & \sigma_4\sigma_2\rho & \sigma_4\sigma_3\rho & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

**Diagonal.** This covariance structure has heterogenous variances and zero correlation between elements.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

**Factor Analytic: First-Order.** This covariance structure has heterogenous variances that are composed of a term that is heterogenous across elements and a term that is homogenous across elements. The covariance between any two elements is the square root of the product of their heterogenous variance terms.

$$\begin{bmatrix} \lambda_1^2 + d & \lambda_2\lambda_1 & \lambda_3\lambda_1 & \lambda_4\lambda_1 \\ \lambda_2\lambda_1 & \lambda_2^2 + d & \lambda_3\lambda_2 & \lambda_4\lambda_2 \\ \lambda_3\lambda_1 & \lambda_3\lambda_2 & \lambda_3^2 + d & \lambda_4\lambda_3 \\ \lambda_4\lambda_1 & \lambda_4\lambda_2 & \lambda_4\lambda_3 & \lambda_4^2 + d \end{bmatrix}$$

**Factor Analytic: First-Order, Heterogenous.** This covariance structure has heterogenous variances that are composed of two terms that are heterogenous across elements. The covariance between any two elements is the square root of the product of the first of their heterogenous variance terms.

$$\begin{bmatrix} \lambda_1^2 + d_1 & \lambda_2 \lambda_1 & \lambda_3 \lambda_1 & \lambda_4 \lambda_1 \\ \lambda_2 \lambda_1 & \lambda_2^2 + d_2 & \lambda_3 \lambda_2 & \lambda_4 \lambda_2 \\ \lambda_3 \lambda_1 & \lambda_3 \lambda_2 & \lambda_3^2 + d_3 & \lambda_4 \lambda_3 \\ \lambda_4 \lambda_1 & \lambda_4 \lambda_2 & \lambda_4 \lambda_3 & \lambda_4^2 + d_4 \end{bmatrix}$$

**Huynh-Feldt.** This is a “circular” matrix in which the covariance between any two elements is equal to the average of their variances minus a constant. Neither the variances nor the covariances are constant.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{2} - \lambda & \frac{\sigma_1^2 + \sigma_3^2}{2} - \lambda & \frac{\sigma_1^2 + \sigma_4^2}{2} - \lambda \\ \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{2} - \lambda & \sigma_2^2 & \frac{\sigma_2^2 + \sigma_3^2}{2} - \lambda & \frac{\sigma_2^2 + \sigma_4^2}{2} - \lambda \\ \frac{\sigma_1^2 + \sigma_3^2}{2} - \lambda & \frac{\sigma_2^2 + \sigma_3^2}{2} - \lambda & \sigma_3^2 & \frac{\sigma_3^2 + \sigma_4^2}{2} - \lambda \\ \frac{\sigma_1^2 + \sigma_4^2}{2} - \lambda & \frac{\sigma_2^2 + \sigma_4^2}{2} - \lambda & \frac{\sigma_3^2 + \sigma_4^2}{2} - \lambda & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

**Scaled Identity.** This structure has constant variance. There is assumed to be no correlation between any elements.

$$\sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

**Toeplitz.** This covariance structure has homogenous variances and heterogenous correlations between elements. The correlation between adjacent elements is homogenous across pairs of adjacent elements. The correlation between elements separated by a third is again homogenous, and so on.

$$\sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \rho_3 \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \rho_2 \\ \rho_2 & \rho_1 & 1 & \rho_1 \\ \rho_3 & \rho_2 & \rho_1 & 1 \end{bmatrix}$$

**Toeplitz: Heterogenous.** This covariance structure has heterogenous variances and heterogenous correlations between elements. The correlation between adjacent elements is homogenous across pairs of adjacent elements. The correlation between elements separated by a third is again homogenous, and so on.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_2 \sigma_1 \rho_1 & \sigma_3 \sigma_1 \rho_2 & \sigma_4 \sigma_1 \rho_3 \\ \sigma_2 \sigma_1 \rho_1 & \sigma_2^2 & \sigma_3 \sigma_2 \rho_1 & \sigma_4 \sigma_2 \rho_2 \\ \sigma_3 \sigma_1 \rho_2 & \sigma_3 \sigma_2 \rho_1 & \sigma_3^2 & \sigma_4 \sigma_3 \rho_1 \\ \sigma_4 \sigma_1 \rho_3 & \sigma_4 \sigma_2 \rho_2 & \sigma_4 \sigma_3 \rho_1 & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

**Unstructured.** This is a completely general covariance matrix.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{21} & \sigma_{31} & \sigma_{41} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \sigma_{32} & \sigma_{42} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_3^2 & \sigma_{43} \\ \sigma_{41} & \sigma_{42} & \sigma_{43} & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

**Unstructured: Correlation Metric.** This covariance structure has heterogenous variances and heterogenous correlations.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_2\sigma_1\rho_{21} & \sigma_3\sigma_1\rho_{31} & \sigma_4\sigma_1\rho_{41} \\ \sigma_2\sigma_1\rho_{21} & \sigma_2^2 & \sigma_3\sigma_2\rho_{32} & \sigma_4\sigma_2\rho_{42} \\ \sigma_3\sigma_1\rho_{31} & \sigma_3\sigma_2\rho_{32} & \sigma_3^2 & \sigma_4\sigma_3\rho_{43} \\ \sigma_4\sigma_1\rho_{41} & \sigma_4\sigma_2\rho_{42} & \sigma_4\sigma_3\rho_{43} & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

**Variance Components.** This structure assigns a scaled identity (ID) structure to each of the specified random effects.

## Παράρτημα 2: Αντιθέσεις (Contrasts)

### Contrast Types

**Deviation.** Compares the mean of each level (except a reference category) to the mean of all of the levels (grand mean). The levels of the factor can be in any order.

**Simple.** Compares the mean of each level to the mean of a specified level. This type of contrast is useful when there is a control group. You can choose the first or last category as the reference.

**Difference.** Compares the mean of each level (except the first) to the mean of previous levels. (Sometimes called reverse Helmert contrasts.)

**Helmert.** Compares the mean of each level of the factor (except the last) to the mean of subsequent levels.

**Repeated.** Compares the mean of each level (except the last) to the mean of the subsequent level.

**Polynomial.** Compares the linear effect, quadratic effect, cubic effect, and so on. The first degree of freedom contains the linear effect across all categories; the second degree of freedom, the quadratic effect; and so on. These contrasts are often used to estimate polynomial trends.

**SPECIAL:** User defined contrasts that are converted to a matrix used by SPSS to complete the analysis. For a 4 level factor with three linearly spaced treatments groups and a control group we can use the contrasts:

SPECIAL(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, -3, 1, 0, -1, 0, -1, 2, -1, 0)

Which are treated by SPSS as:

Group	Intercept	Control vs treatment	Linear treatment	Quadratic treatment
High	1	1	1	-1
Medium	1	1	0	2
Low	1	1	-1	-1
Control	1	-3	0	0

The intercept code is always used and is included by default when you use the pre-specified contrasts. With custom contrasts SPSS requires you to enter it. We typically ignore the test of the intercept because it tests whether the grand mean differs from zero.

## Παράρτημα 3: Μεθοδολογικές προσεγγίσεις στους ελέγχους σημαντικότητας της $H_0$

Καταρχήν, θα πρέπει να επισημάνουμε ότι σε ένα στατιστικό έλεγχο υπάρχουν πολλές μεθοδολογικές προσεγγίσεις σχετικά με τον έλεγχο σημαντικότητας της  $H_0$ . Αναφέρουμε συνοπτικά τις σημαντικότερες:

### α) Η κλασική μέθοδος των έξι βημάτων

Σύμφωνα με την κλασική μέθοδο σε ένα στατιστικό έλεγχο θα πρέπει να ακολουθούνται αυστηρά τουλάχιστον τα παρακάτω ιεραρχικά ταξινομημένα έξι βήματα:

- 1) Σαφής καθορισμός και διατύπωση της μηδενικής υπόθεσης  $H_0$ .
- 2) Σαφής καθορισμός και διατύπωση της εναλλακτικής υπόθεσης  $H_1$ .
- 3) Προκαθορισμός του επιπέδου σημαντικότητας  $\alpha$ .
- 4) Εφαρμογή της κατάλληλης για την περίπτωση μεθόδου συλλογής και σύνοψης των δειγματικών ή πειραματικών δεδομένων. Ο όρος σύνοψη αναφέρεται στον υπολογισμό μέσω όρων, ποσοστών, διασπορών, συντελεστών συσχέτισης, κ.ά.
- 5) Καθορισμός ενός κριτηρίου για την αξιολόγηση της δειγματικής μαρτυρίας (καθορισμός της απορριπτικής περιοχής του ελέγχου).
- 6) Απόφαση για την απόρριψη ή όχι της μηδενικής υπόθεσης.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η  $H_0$  και η  $H_1$  θα πρέπει να καθορίζονται εξ αρχής και πριν από τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων. Σε αντίθετη περίπτωση ο έλεγχος δεν έχει καμία λογική βάση.

### β) Η μέθοδος των επτά βημάτων

Τα βήματα 1 έως 6 είναι ίδια με αυτά της κλασικής μεθόδου.

7<sup>α</sup>) Υπολογισμός ενός δείκτη που να εκφράζει την ένταση ή το βαθμό της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών (π.χ.  $r$ ,  $r^2$ ,  $\eta^2$ ,  $\omega^2$  και  $\varphi$ ).

7<sup>β</sup>) Εκτίμηση του μεγέθους του αποτελέσματος (*Effect Size-ES*).

7<sup>γ</sup>) Υπολογισμό της ισχύος  $\gamma$  του στατιστικού ελέγχου (*Post hoc Ανάλυση Ισχύος*).

### γ) Η μέθοδος των εννέα βημάτων

Τα βήματα 1 έως 3 είναι ίδια με αυτά της κλασικής μεθόδου.

4) Καθορισμός του μεγέθους του αποτελέσματος *ES*.

5) Καθορισμός του επιπέδου της ισχύος  $\gamma$  του στατιστικού ελέγχου (*A priori Ανάλυση Ισχύος*).

6) Καθορισμός του απαιτούμενου μεγέθους δείγματος ή δειγμάτων.

Ακολουθούν τα βήματα 7, 8 και 9 τα οποία είναι ίδια με τα βήματα 4, 5 και 6 της κλασικής μεθόδου αντίστοιχα

### δ) Η προσέγγιση του ελέγχου της στατιστικής σημαντικότητας

Η διαδικασία περιλαμβάνει:

- 1) Σαφή καθορισμό και διατύπωση της μηδενικής υπόθεσης  $H_0$ .
- 2) Απόφαση σχετικά με το εάν ο έλεγχος θα είναι μονόπλευρος ή δίπλευρος.
- 3) Εφαρμογή της κατάλληλης για την περίπτωση μεθόδου συλλογής και σύνοψης των δεδομένων. Υπολογισμός του στατιστικού του ελέγχου.
- 4) Καθορισμό της πιθανότητας που σχετίζεται με τη δειγματική μαρτυρία κάτω από την ισχύ της μηδενικής υπόθεσης (*p-value*).
- 5) Απόφαση σχετικά με το εάν η τιμή  $p$  της παρατηρούμενης στάθμης σημαντικότητας αποτελεί αρκετή ένδειξη για την απόφαση να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση.

Στην προσέγγιση αυτή η στάθμη σημαντικότητας δεν προκαθορίζεται από τον ερευνητή. Τα ίδια τα δεδομένα μαρτυρούν το κατά πόσο είναι συμβατά με τη μηδενική υπόθεση με δεδομένη την ισχύ (ορθότητα) της μηδενικής υπόθεσης.

**ε) Η υβριδική προσέγγιση στον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης**

Η υβριδική προσέγγιση αποτελεί συνδυασμό της κλασικής μεθόδου και του ελέγχου της στατιστικής σημαντικότητας. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζεται η διαδικασία των 6, 7, ή 9 βημάτων και στο τέλος ο ερευνητής παρουσιάζει την τιμή  $p$  με σκοπό να δηλώσει τη μαρτυρία για το κατά πόσο τα δεδομένα υποστηρίζουν ή όχι την  $H_0$ . Αποτελεί την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη προσέγγιση. Ιδιαίτερα δημοφιλής είναι η υβριδική η οποία προκύπτει από το συνδυασμό της κλασικής μεθόδου των έξι βημάτων και του ελέγχου της στατιστικής σημαντικότητας.

**Σημειώσεις αναγνώστη:**



## Παράρτημα 4: Κρίσιμες τιμές της ποσότητας $q$ (Tukey's HSD)

### Critical Values of the Studentized Range for $df_{\text{error}} 1 - 10$

Error df	Alpha	k = number of means or number of steps between ordered means																			Alpha	Error df
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1	0.100	8.951	13.453	16.378	18.504	20.164	21.516	22.649	23.627	24.478	25.239	25.918	26.520	27.081	27.606	28.087	28.530	28.950	29.346	29.720	0.100	1
	0.050	18.066	27.066	32.925	37.149	40.481	43.203	45.501	47.482	49.220	50.780	52.161	53.346	54.469	55.530	56.486	57.349	58.172	58.941	59.663	0.050	
	0.010	93.157	138.306	168.728	189.173	206.203	219.531	231.719	241.881	250.842	258.985	266.339	271.083	277.480	283.748	289.019	293.348	298.008	302.417	306.636	0.010	
2	0.100	4.136	5.736	6.777	7.540	8.142	8.635	9.052	9.412	9.728	10.011	10.264	10.491	10.701	10.894	11.074	11.240	11.396	11.542	11.679	0.100	2
	0.050	6.101	8.344	9.813	10.891	11.744	12.444	13.039	13.552	14.003	14.407	14.761	15.086	15.386	15.662	15.921	16.157	16.379	16.588	16.784	0.050	
	0.010	14.250	19.206	22.522	24.897	26.813	28.382	29.750	30.923	31.929	32.874	33.644	34.373	35.059	35.693	36.321	36.804	37.316	37.798	38.253	0.010	
3	0.100	3.331	4.469	5.200	5.739	6.163	6.511	6.807	7.063	7.287	7.488	7.669	7.832	7.982	8.120	8.249	8.369	8.480	8.585	8.684	0.100	3
	0.050	4.508	5.914	6.828	7.504	8.039	8.480	8.855	9.180	9.465	9.721	9.948	10.156	10.347	10.524	10.689	10.841	10.985	11.119	11.245	0.050	
	0.010	8.314	10.664	12.225	13.362	14.284	15.032	15.691	16.254	16.752	17.197	17.569	17.926	18.260	18.569	18.868	19.124	19.374	19.610	19.832	0.010	
4	0.100	3.017	3.977	4.587	5.036	5.389	5.680	5.926	6.140	6.328	6.496	6.647	6.784	6.909	7.025	7.133	7.234	7.328	7.416	7.499	0.100	4
	0.050	3.932	5.044	5.761	6.290	6.709	7.055	7.349	7.604	7.829	8.031	8.212	8.376	8.527	8.666	8.796	8.918	9.031	9.137	9.238	0.050	
	0.010	6.541	8.152	9.211	9.988	10.613	11.127	11.573	11.960	12.301	12.613	12.871	13.117	13.350	13.563	13.766	13.952	14.125	14.288	14.442	0.010	
5	0.100	2.852	3.719	4.265	4.665	4.980	5.239	5.459	5.649	5.817	5.967	6.101	6.224	6.337	6.440	6.536	6.626	6.710	6.789	6.864	0.100	5
	0.050	3.639	4.605	5.221	5.676	6.035	6.332	6.585	6.804	6.997	7.171	7.325	7.467	7.598	7.718	7.830	7.935	8.033	8.125	8.211	0.050	
	0.010	5.727	7.002	7.828	8.442	8.933	9.339	9.691	9.997	10.265	10.511	10.718	10.916	11.098	11.267	11.425	11.577	11.711	11.841	11.964	0.010	
6	0.100	2.750	3.560	4.066	4.436	4.727	4.966	5.169	5.345	5.499	5.638	5.762	5.876	5.980	6.076	6.165	6.248	6.325	6.398	6.467	0.100	6
	0.050	3.464	4.342	4.898	5.307	5.630	5.897	6.124	6.321	6.495	6.651	6.791	6.918	7.036	7.145	7.245	7.340	7.428	7.511	7.589	0.050	
	0.010	5.268	6.351	7.050	7.572	7.988	8.337	8.630	8.887	9.115	9.325	9.500	9.668	9.824	9.967	10.101	10.230	10.346	10.456	10.561	0.010	
7	0.100	2.681	3.452	3.932	4.281	4.556	4.781	4.972	5.137	5.283	5.414	5.531	5.638	5.736	5.826	5.910	5.989	6.062	6.131	6.196	0.100	7
	0.050	3.347	4.167	4.683	5.062	5.361	5.607	5.817	5.999	6.160	6.304	6.433	6.551	6.660	6.760	6.853	6.941	7.022	7.099	7.171	0.050	
	0.010	4.967	5.934	6.557	7.018	7.386	7.692	7.953	8.180	8.383	8.567	8.723	8.872	9.009	9.137	9.255	9.369	9.473	9.571	9.664	0.010	

8	0.100	2.631	3.375	3.835	4.169	4.432	4.647	4.829	4.987	5.126	5.251	5.363	5.465	5.558	5.645	5.725	5.800	5.870	5.935	5.997	0.100	8
	0.050	3.264	4.043	4.531	4.888	5.169	5.400	5.598	5.769	5.920	6.055	6.177	6.288	6.390	6.484	6.572	6.654	6.731	6.803	6.871	0.050	
	0.010	4.761	5.648	6.219	6.637	6.970	7.248	7.485	7.693	7.876	8.043	8.185	8.321	8.446	8.562	8.669	8.773	8.868	8.957	9.042	0.010	
9	0.100	2.594	3.317	3.762	4.085	4.338	4.546	4.721	4.873	5.007	5.127	5.235	5.333	5.423	5.506	5.583	5.656	5.723	5.786	5.846	0.100	9
	0.050	3.202	3.951	4.416	4.757	5.025	5.246	5.433	5.596	5.740	5.868	5.985	6.090	6.187	6.277	6.360	6.439	6.512	6.580	6.645	0.050	
	0.010	4.609	5.439	5.969	6.358	6.666	6.924	7.145	7.336	7.506	7.660	7.793	7.918	8.033	8.140	8.240	8.337	8.425	8.508	8.586	0.010	
10	0.100	2.564	3.271	3.705	4.019	4.264	4.466	4.636	4.784	4.914	5.030	5.134	5.230	5.317	5.398	5.472	5.542	5.608	5.669	5.727	0.100	10
	0.050	3.153	3.879	4.328	4.656	4.913	5.126	5.305	5.462	5.600	5.723	5.835	5.936	6.029	6.115	6.195	6.270	6.340	6.406	6.468	0.050	
	0.010	4.495	5.282	5.780	6.145	6.435	6.677	6.884	7.064	7.223	7.368	7.493	7.610	7.719	7.820	7.914	8.004	8.086	8.164	8.237	0.010	
Error df	Alpha	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Alpha	Error df
	k = number of means or number of steps between ordered means																					

## Critical Values of the Studentized Range for $df_{\text{error}} 11 - 20$

Error df	Alpha	k = number of means or number of steps between ordered means																		Alpha	Error df	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
11	0.100	2.541	3.235	3.659	3.965	4.205	4.402	4.568	4.712	4.838	4.951	5.053	5.146	5.231	5.310	5.382	5.450	5.514	5.574	5.630	0.100	11
	0.050	3.115	3.822	4.258	4.575	4.824	5.030	5.203	5.354	5.487	5.607	5.714	5.812	5.902	5.986	6.063	6.135	6.203	6.266	6.327	0.050	
	0.010	4.405	5.157	5.631	5.979	6.254	6.484	6.679	6.850	7.001	7.138	7.257	7.369	7.471	7.567	7.656	7.741	7.820	7.893	7.963	0.010	
12	0.100	2.522	3.205	3.622	3.922	4.157	4.349	4.512	4.652	4.776	4.887	4.986	5.077	5.160	5.237	5.308	5.375	5.437	5.495	5.551	0.100	12
	0.050	3.083	3.775	4.200	4.509	4.752	4.951	5.120	5.266	5.396	5.511	5.616	5.711	5.798	5.879	5.954	6.024	6.090	6.152	6.210	0.050	
	0.010	4.333	5.056	5.511	5.844	6.108	6.328	6.515	6.677	6.822	6.953	7.066	7.173	7.271	7.363	7.448	7.529	7.604	7.674	7.740	0.010	
13	0.100	2.506	3.180	3.590	3.885	4.116	4.305	4.465	4.603	4.724	4.832	4.930	5.019	5.101	5.176	5.246	5.311	5.372	5.429	5.483	0.100	13
	0.050	3.057	3.736	4.152	4.454	4.691	4.885	5.050	5.193	5.319	5.432	5.534	5.627	5.711	5.790	5.863	5.932	5.996	6.056	6.113	0.050	
	0.010	4.272	4.973	5.412	5.733	5.987	6.199	6.379	6.535	6.674	6.800	6.909	7.012	7.107	7.194	7.276	7.354	7.425	7.493	7.557	0.010	
14	0.100	2.492	3.158	3.563	3.855	4.082	4.268	4.425	4.560	4.680	4.786	4.882	4.970	5.050	5.124	5.193	5.257	5.317	5.373	5.426	0.100	14
	0.050	3.035	3.703	4.112	4.408	4.640	4.830	4.992	5.131	5.254	5.365	5.464	5.555	5.638	5.715	5.786	5.853	5.916	5.974	6.030	0.050	
	0.010	4.221	4.903	5.330	5.642	5.886	6.092	6.265	6.416	6.551	6.672	6.778	6.877	6.968	7.052	7.131	7.207	7.276	7.341	7.403	0.010	
15	0.100	2.480	3.140	3.541	3.828	4.052	4.235	4.390	4.524	4.642	4.747	4.841	4.927	5.006	5.079	5.147	5.210	5.269	5.324	5.377	0.100	15
	0.050	3.016	3.675	4.077	4.368	4.596	4.783	4.941	5.078	5.199	5.307	5.404	5.493	5.575	5.650	5.720	5.786	5.847	5.905	5.959	0.050	
	0.010	4.178	4.844	5.259	5.563	5.802	6.000	6.168	6.316	6.446	6.563	6.666	6.762	6.850	6.933	7.008	7.081	7.149	7.212	7.272	0.010	
16	0.100	2.470	3.125	3.521	3.805	4.026	4.207	4.360	4.492	4.609	4.712	4.805	4.890	4.968	5.040	5.107	5.169	5.227	5.282	5.334	0.100	16
	0.050	3.000	3.651	4.047	4.334	4.558	4.742	4.897	5.032	5.151	5.257	5.353	5.440	5.520	5.594	5.663	5.727	5.787	5.844	5.897	0.050	
	0.010	4.141	4.793	5.199	5.496	5.728	5.922	6.085	6.229	6.355	6.469	6.571	6.663	6.749	6.829	6.903	6.974	7.039	7.100	7.159	0.010	
17	0.100	2.461	3.111	3.503	3.785	4.004	4.183	4.334	4.465	4.579	4.682	4.774	4.858	4.935	5.006	5.072	5.133	5.191	5.245	5.296	0.100	17
	0.050	2.985	3.630	4.021	4.304	4.525	4.706	4.859	4.992	5.109	5.213	5.307	5.393	5.472	5.545	5.612	5.676	5.735	5.791	5.843	0.050	
	0.010	4.109	4.749	5.147	5.437	5.664	5.853	6.013	6.153	6.276	6.388	6.487	6.577	6.661	6.739	6.811	6.880	6.944	7.004	7.060	0.010	
18	0.100	2.453	3.098	3.488	3.767	3.984	4.161	4.311	4.440	4.554	4.655	4.746	4.829	4.905	4.975	5.040	5.101	5.158	5.212	5.262	0.100	18
	0.050	2.973	3.611	3.998	4.277	4.495	4.674	4.825	4.956	5.071	5.174	5.267	5.352	5.430	5.502	5.568	5.630	5.689	5.744	5.796	0.050	
	0.010	4.081	4.711	5.101	5.386	5.609	5.794	5.950	6.087	6.207	6.316	6.413	6.501	6.583	6.659	6.730	6.798	6.860	6.918	6.974	0.010	

19	0.100	2.446	3.088	3.474	3.751	3.966	4.142	4.290	4.418	4.531	4.631	4.721	4.803	4.879	4.948	5.013	5.073	5.129	5.182	5.232	0.100	19
	0.050	2.962	3.594	3.978	4.254	4.470	4.646	4.795	4.925	5.038	5.140	5.232	5.315	5.392	5.463	5.529	5.590	5.648	5.702	5.753	0.050	
	0.010	4.056	4.677	5.060	5.341	5.559	5.741	5.894	6.028	6.146	6.253	6.348	6.434	6.515	6.589	6.659	6.725	6.786	6.843	6.898	0.010	
20	0.100	2.440	3.078	3.462	3.737	3.950	4.125	4.272	4.398	4.510	4.609	4.699	4.780	4.855	4.924	4.988	5.047	5.103	5.156	5.205	0.100	20
	0.050	2.952	3.579	3.959	4.233	4.446	4.621	4.769	4.896	5.009	5.109	5.200	5.282	5.358	5.428	5.493	5.554	5.611	5.664	5.715	0.050	
	0.010	4.034	4.646	5.024	5.300	5.515	5.693	5.844	5.976	6.092	6.197	6.290	6.375	6.454	6.527	6.595	6.661	6.720	6.776	6.830	0.010	
Error df	Alpha	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Alpha	Error df
		k = number of means or number of steps between ordered means																				

## Critical Values of the Studentized Range for $df_{\text{error}} 21 - 30$

Error df	Alpha	k = number of means or number of steps between ordered means																			Alpha	Error df
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
21	0.100	2.435	3.069	3.451	3.724	3.936	4.109	4.255	4.381	4.491	4.590	4.679	4.760	4.833	4.902	4.965	5.024	5.080	5.132	5.181	0.100	21
	0.050	2.943	3.566	3.943	4.214	4.425	4.599	4.745	4.871	4.982	5.081	5.171	5.253	5.328	5.397	5.461	5.521	5.577	5.630	5.680	0.050	
	0.010	4.014	4.619	4.992	5.264	5.476	5.651	5.800	5.929	6.043	6.146	6.239	6.323	6.399	6.471	6.538	6.602	6.661	6.716	6.768	0.010	
22	0.100	2.429	3.061	3.441	3.713	3.924	4.095	4.240	4.365	4.475	4.572	4.661	4.741	4.814	4.882	4.945	5.003	5.058	5.110	5.158	0.100	22
	0.050	2.935	3.554	3.928	4.197	4.407	4.578	4.723	4.848	4.958	5.056	5.145	5.226	5.300	5.369	5.432	5.492	5.548	5.600	5.649	0.050	
	0.010	3.995	4.594	4.963	5.231	5.440	5.613	5.759	5.887	5.999	6.101	6.192	6.275	6.350	6.421	6.487	6.550	6.608	6.662	6.714	0.010	
23	0.100	2.425	3.054	3.432	3.702	3.912	4.082	4.226	4.350	4.459	4.556	4.644	4.724	4.797	4.864	4.926	4.984	5.039	5.090	5.138	0.100	23
	0.050	2.927	3.543	3.915	4.182	4.389	4.559	4.703	4.827	4.936	5.033	5.121	5.201	5.275	5.343	5.406	5.465	5.520	5.572	5.620	0.050	
	0.010	3.979	4.572	4.936	5.202	5.408	5.579	5.723	5.848	5.959	6.060	6.150	6.231	6.305	6.375	6.440	6.502	6.559	6.613	6.664	0.010	
24	0.100	2.420	3.048	3.424	3.692	3.901	4.070	4.213	4.337	4.445	4.542	4.629	4.708	4.780	4.847	4.909	4.967	5.021	5.072	5.120	0.100	24
	0.050	2.920	3.533	3.902	4.167	4.374	4.542	4.685	4.808	4.916	5.013	5.100	5.179	5.252	5.319	5.382	5.440	5.495	5.546	5.594	0.050	
	0.010	3.964	4.552	4.912	5.175	5.379	5.547	5.690	5.814	5.923	6.022	6.111	6.191	6.265	6.334	6.398	6.459	6.515	6.568	6.618	0.010	
25	0.100	2.417	3.042	3.416	3.684	3.891	4.059	4.202	4.324	4.432	4.528	4.615	4.693	4.765	4.832	4.893	4.951	5.004	5.055	5.103	0.100	25
	0.050	2.914	3.524	3.891	4.154	4.359	4.527	4.668	4.791	4.898	4.993	5.080	5.159	5.231	5.298	5.360	5.418	5.472	5.523	5.571	0.050	
	0.010	3.951	4.533	4.890	5.151	5.352	5.519	5.660	5.782	5.890	5.988	6.076	6.155	6.228	6.296	6.359	6.419	6.475	6.527	6.577	0.010	
26	0.100	2.413	3.036	3.409	3.675	3.882	4.050	4.191	4.313	4.420	4.516	4.602	4.680	4.752	4.818	4.879	4.936	4.989	5.040	5.087	0.100	26
	0.050	2.909	3.515	3.881	4.143	4.346	4.513	4.653	4.774	4.881	4.976	5.062	5.140	5.212	5.278	5.339	5.397	5.451	5.501	5.549	0.050	
	0.010	3.938	4.516	4.870	5.128	5.327	5.493	5.632	5.753	5.860	5.957	6.043	6.122	6.193	6.261	6.323	6.383	6.438	6.490	6.539	0.010	
27	0.100	2.410	3.031	3.403	3.668	3.873	4.040	4.181	4.303	4.409	4.504	4.590	4.668	4.739	4.805	4.865	4.922	4.975	5.025	5.072	0.100	27
	0.050	2.903	3.508	3.872	4.132	4.334	4.499	4.639	4.760	4.865	4.960	5.045	5.123	5.194	5.260	5.321	5.378	5.431	5.481	5.529	0.050	
	0.010	3.927	4.500	4.852	5.108	5.305	5.469	5.606	5.726	5.832	5.928	6.014	6.091	6.163	6.229	6.291	6.350	6.404	6.455	6.503	0.010	
28	0.100	2.407	3.026	3.397	3.661	3.866	4.032	4.172	4.293	4.399	4.494	4.579	4.656	4.727	4.793	4.853	4.909	4.962	5.012	5.059	0.100	28
	0.050	2.898	3.500	3.863	4.121	4.323	4.487	4.626	4.746	4.851	4.945	5.029	5.106	5.177	5.243	5.303	5.360	5.413	5.463	5.510	0.050	

	0.010	3.916	4.486	4.835	5.089	5.284	5.446	5.583	5.701	5.806	5.901	5.986	6.063	6.134	6.199	6.260	6.319	6.373	6.423	6.471	0.010	
29	0.100	2.404	3.022	3.391	3.655	3.858	4.024	4.164	4.284	4.390	4.484	4.569	4.646	4.716	4.781	4.842	4.898	4.950	5.000	5.046	0.100	29
	0.050	2.894	3.494	3.854	4.112	4.312	4.476	4.614	4.733	4.837	4.931	5.015	5.092	5.162	5.227	5.287	5.343	5.396	5.446	5.492	0.050	
	0.010	3.906	4.473	4.819	5.071	5.266	5.425	5.561	5.678	5.782	5.876	5.961	6.036	6.107	6.172	6.232	6.290	6.343	6.393	6.441	0.010	
30	0.100	2.401	3.018	3.386	3.648	3.852	4.017	4.156	4.276	4.381	4.475	4.559	4.636	4.706	4.771	4.831	4.887	4.939	4.988	5.034	0.100	30
	0.050	2.890	3.488	3.847	4.103	4.302	4.465	4.602	4.721	4.825	4.918	5.001	5.078	5.147	5.212	5.272	5.328	5.380	5.429	5.476	0.050	
	0.010	3.897	4.460	4.804	5.054	5.248	5.406	5.540	5.657	5.760	5.853	5.937	6.012	6.082	6.146	6.206	6.263	6.316	6.366	6.413	0.010	
Error df	Alpha	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Alpha	Error df
		k = number of means or number of steps between ordered means																				

## Critical Values of the Studentized Range for $df_{\text{error}} 31 - 40$

Error df	Alpha	k = number of means or number of steps between ordered means																			Alpha	Error df
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
31	0.100	2.399	3.014	3.381	3.643	3.845	4.010	4.148	4.268	4.373	4.466	4.550	4.626	4.696	4.761	4.821	4.877	4.928	4.977	5.023	0.100	31
	0.050	2.886	3.482	3.840	4.095	4.293	4.455	4.592	4.710	4.814	4.906	4.989	5.065	5.134	5.198	5.258	5.314	5.366	5.415	5.461	0.050	
	0.010	3.889	4.449	4.791	5.039	5.231	5.388	5.522	5.637	5.739	5.832	5.915	5.990	6.059	6.122	6.182	6.239	6.291	6.340	6.387	0.010	
32	0.100	2.396	3.010	3.377	3.638	3.839	4.004	4.141	4.260	4.365	4.458	4.542	4.618	4.687	4.752	4.811	4.867	4.919	4.967	5.013	0.100	32
	0.050	2.882	3.476	3.833	4.087	4.285	4.446	4.582	4.699	4.803	4.894	4.977	5.052	5.122	5.185	5.245	5.300	5.352	5.400	5.446	0.050	
	0.010	3.881	4.438	4.778	5.024	5.215	5.372	5.504	5.619	5.720	5.812	5.894	5.969	6.037	6.100	6.159	6.215	6.267	6.316	6.362	0.010	
33	0.100	2.394	3.007	3.372	3.633	3.834	3.998	4.135	4.253	4.358	4.450	4.534	4.610	4.679	4.743	4.802	4.858	4.909	4.958	5.004	0.100	33
	0.050	2.878	3.471	3.827	4.080	4.277	4.437	4.573	4.690	4.792	4.884	4.966	5.041	5.110	5.173	5.232	5.287	5.339	5.387	5.433	0.050	
	0.010	3.872	4.428	4.766	5.011	5.200	5.356	5.487	5.601	5.702	5.793	5.875	5.950	6.017	6.079	6.138	6.194	6.245	6.294	6.339	0.010	
34	0.100	2.392	3.004	3.368	3.628	3.829	3.992	4.129	4.247	4.351	4.443	4.526	4.602	4.671	4.735	4.794	4.849	4.901	4.949	4.994	0.100	34
	0.050	2.875	3.466	3.821	4.073	4.269	4.429	4.564	4.680	4.783	4.874	4.956	5.030	5.099	5.162	5.221	5.276	5.327	5.375	5.420	0.050	
	0.010	3.865	4.419	4.755	4.998	5.187	5.341	5.472	5.585	5.685	5.776	5.857	5.931	5.998	6.061	6.118	6.173	6.224	6.273	6.318	0.010	
35	0.100	2.390	3.001	3.365	3.624	3.824	3.986	4.123	4.241	4.344	4.436	4.519	4.595	4.664	4.727	4.786	4.841	4.893	4.941	4.986	0.100	35
	0.050	2.872	3.462	3.815	4.067	4.262	4.422	4.556	4.672	4.774	4.864	4.946	5.020	5.088	5.151	5.210	5.264	5.315	5.363	5.409	0.050	
	0.010	3.859	4.410	4.744	4.987	5.174	5.327	5.457	5.570	5.670	5.759	5.840	5.913	5.980	6.042	6.099	6.154	6.205	6.253	6.298	0.010	
36	0.100	2.388	2.998	3.361	3.620	3.819	3.981	4.118	4.235	4.338	4.430	4.513	4.588	4.657	4.720	4.779	4.833	4.885	4.933	4.978	0.100	36
	0.050	2.869	3.458	3.810	4.061	4.256	4.414	4.548	4.664	4.765	4.856	4.937	5.011	5.079	5.141	5.199	5.254	5.305	5.352	5.397	0.050	
	0.010	3.853	4.401	4.734	4.975	5.162	5.314	5.444	5.556	5.655	5.744	5.824	5.897	5.963	6.025	6.082	6.136	6.187	6.234	6.279	0.010	
37	0.100	2.387	2.995	3.358	3.616	3.815	3.977	4.113	4.230	4.333	4.424	4.507	4.581	4.650	4.713	4.772	4.826	4.877	4.925	4.971	0.100	37
	0.050	2.867	3.454	3.805	4.055	4.249	4.408	4.541	4.656	4.757	4.847	4.928	5.002	5.069	5.132	5.190	5.244	5.294	5.342	5.387	0.050	
	0.010	3.847	4.393	4.725	4.965	5.150	5.302	5.431	5.542	5.641	5.729	5.809	5.881	5.947	6.009	6.065	6.119	6.169	6.217	6.261	0.010	
38	0.100	2.385	2.993	3.355	3.612	3.811	3.972	4.108	4.225	4.327	4.419	4.501	4.575	4.644	4.707	4.765	4.819	4.870	4.918	4.963	0.100	38
	0.050	2.864	3.450	3.801	4.050	4.243	4.401	4.534	4.649	4.749	4.839	4.920	4.993	5.060	5.123	5.180	5.234	5.285	5.332	5.377	0.050	
	0.010	3.841	4.386	4.716	4.955	5.140	5.291	5.419	5.529	5.627	5.715	5.795	5.867	5.932	5.993	6.049	6.103	6.153	6.200	6.244	0.010	

39	0.100	2.384	2.990	3.352	3.608	3.807	3.968	4.103	4.220	4.322	4.413	4.495	4.569	4.638	4.700	4.759	4.813	4.864	4.911	4.956	0.100	39
	0.050	2.862	3.446	3.796	4.045	4.238	4.395	4.527	4.642	4.742	4.832	4.912	4.985	5.052	5.114	5.172	5.225	5.276	5.323	5.367	0.050	
	0.010	3.836	4.379	4.708	4.946	5.130	5.280	5.407	5.517	5.615	5.702	5.781	5.853	5.918	5.979	6.034	6.088	6.138	6.184	6.228	0.010	
40	0.100	2.382	2.988	3.349	3.605	3.803	3.964	4.099	4.215	4.317	4.408	4.490	4.564	4.632	4.695	4.753	4.807	4.857	4.905	4.950	0.100	40
	0.050	2.859	3.443	3.792	4.040	4.232	4.389	4.521	4.635	4.735	4.825	4.905	4.977	5.044	5.106	5.163	5.217	5.267	5.314	5.358	0.050	
	0.010	3.831	4.372	4.700	4.937	5.120	5.269	5.396	5.506	5.603	5.690	5.768	5.840	5.905	5.965	6.020	6.074	6.123	6.170	6.213	0.010	
Error df	Alpha	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Alpha	Error df
		k = number of means or number of steps between ordered means																				



## Critical Values of the Studentized Range for $df_{\text{error}} 41 - 50$

Error df	Alpha	k = number of means or number of steps between ordered means																		Alpha	Error df	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
41	0.100	2.381	2.986	3.346	3.602	3.799	3.960	4.095	4.211	4.312	4.403	4.485	4.559	4.627	4.689	4.747	4.801	4.851	4.899	4.944	0.100	41
	0.050	2.857	3.440	3.788	4.036	4.227	4.384	4.515	4.629	4.729	4.818	4.898	4.970	5.037	5.098	5.155	5.209	5.259	5.306	5.350	0.050	
	0.010	3.827	4.366	4.693	4.929	5.112	5.260	5.386	5.495	5.591	5.678	5.756	5.827	5.892	5.952	6.008	6.060	6.109	6.155	6.199	0.010	
42	0.100	2.379	2.984	3.344	3.599	3.796	3.956	4.091	4.206	4.308	4.399	4.480	4.554	4.621	4.684	4.741	4.795	4.846	4.893	4.938	0.100	42
	0.050	2.855	3.437	3.784	4.031	4.223	4.378	4.510	4.623	4.723	4.811	4.891	4.963	5.030	5.091	5.148	5.201	5.251	5.298	5.342	0.050	
	0.010	3.822	4.360	4.686	4.920	5.103	5.250	5.376	5.484	5.581	5.667	5.744	5.815	5.880	5.939	5.995	6.047	6.096	6.142	6.185	0.010	
43	0.100	2.378	2.982	3.341	3.596	3.793	3.953	4.087	4.202	4.304	4.394	4.475	4.549	4.616	4.679	4.736	4.790	4.840	4.888	4.932	0.100	43
	0.050	2.853	3.434	3.781	4.027	4.218	4.373	4.504	4.618	4.717	4.805	4.885	4.957	5.023	5.084	5.141	5.194	5.243	5.290	5.334	0.050	
	0.010	3.818	4.355	4.679	4.913	5.095	5.241	5.367	5.475	5.570	5.656	5.733	5.804	5.868	5.927	5.983	6.035	6.083	6.129	6.172	0.010	
44	0.100	2.377	2.980	3.339	3.593	3.790	3.949	4.084	4.199	4.300	4.390	4.471	4.544	4.612	4.674	4.731	4.785	4.835	4.882	4.927	0.100	44
	0.050	2.851	3.431	3.777	4.023	4.214	4.369	4.499	4.612	4.711	4.799	4.879	4.950	5.016	5.077	5.134	5.187	5.236	5.283	5.326	0.050	
	0.010	3.814	4.349	4.673	4.906	5.086	5.233	5.358	5.465	5.560	5.646	5.723	5.793	5.857	5.916	5.971	6.023	6.071	6.117	6.160	0.010	
45	0.100	2.376	2.979	3.337	3.591	3.787	3.946	4.080	4.195	4.296	4.386	4.467	4.540	4.607	4.669	4.727	4.780	4.830	4.877	4.921	0.100	45
	0.050	2.849	3.429	3.774	4.019	4.210	4.364	4.495	4.607	4.706	4.794	4.873	4.944	5.010	5.071	5.128	5.180	5.229	5.276	5.319	0.050	
	0.010	3.810	4.344	4.666	4.899	5.079	5.225	5.349	5.456	5.551	5.636	5.713	5.783	5.847	5.905	5.960	6.012	6.060	6.105	6.148	0.010	
46	0.100	2.375	2.977	3.335	3.588	3.784	3.943	4.077	4.192	4.292	4.382	4.463	4.536	4.603	4.665	4.722	4.776	4.825	4.872	4.916	0.100	46
	0.050	2.848	3.426	3.771	4.016	4.205	4.360	4.490	4.602	4.700	4.788	4.867	4.939	5.004	5.065	5.121	5.174	5.223	5.269	5.313	0.050	
	0.010	3.807	4.339	4.660	4.892	5.072	5.217	5.341	5.448	5.542	5.627	5.703	5.773	5.837	5.895	5.950	6.001	6.049	6.094	6.137	0.010	
47	0.100	2.374	2.975	3.333	3.586	3.781	3.940	4.074	4.189	4.289	4.378	4.459	4.532	4.599	4.661	4.718	4.771	4.821	4.868	4.912	0.100	47
	0.050	2.846	3.424	3.768	4.012	4.202	4.356	4.486	4.597	4.696	4.783	4.862	4.933	4.999	5.059	5.115	5.168	5.217	5.263	5.306	0.050	
	0.010	3.803	4.334	4.655	4.886	5.065	5.210	5.333	5.439	5.534	5.618	5.694	5.764	5.827	5.885	5.940	5.991	6.039	6.083	6.126	0.010	
48	0.100	2.373	2.974	3.331	3.584	3.779	3.938	4.071	4.185	4.285	4.375	4.455	4.528	4.595	4.657	4.714	4.767	4.817	4.863	4.907	0.100	48
	0.050	2.844	3.421	3.765	4.009	4.198	4.352	4.481	4.593	4.691	4.778	4.857	4.928	4.993	5.054	5.110	5.162	5.211	5.257	5.300	0.050	
	0.010	3.800	4.330	4.649	4.880	5.058	5.203	5.326	5.432	5.526	5.610	5.685	5.755	5.818	5.876	5.930	5.981	6.029	6.073	6.115	0.010	

49	0.100	2.372	2.972	3.329	3.581	3.776	3.935	4.068	4.182	4.282	4.372	4.452	4.525	4.591	4.653	4.710	4.763	4.812	4.859	4.903	0.100	49
	0.050	2.843	3.419	3.762	4.006	4.194	4.348	4.477	4.589	4.686	4.774	4.852	4.923	4.988	5.048	5.104	5.156	5.205	5.251	5.294	0.050	
	0.010	3.797	4.325	4.644	4.874	5.052	5.196	5.318	5.424	5.518	5.602	5.677	5.746	5.809	5.867	5.921	5.972	6.019	6.064	6.106	0.010	
50	0.100	2.371	2.971	3.327	3.579	3.774	3.932	4.065	4.179	4.279	4.368	4.448	4.521	4.588	4.649	4.706	4.759	4.808	4.855	4.899	0.100	50
	0.050	2.842	3.417	3.759	4.003	4.191	4.344	4.473	4.585	4.682	4.769	4.847	4.918	4.983	5.043	5.099	5.151	5.200	5.245	5.288	0.050	
	0.010	3.793	4.321	4.639	4.868	5.046	5.189	5.312	5.417	5.510	5.594	5.669	5.738	5.801	5.859	5.912	5.964	6.010	6.054	6.096	0.010	
Error df	Alpha	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Alpha	Error df
		k = number of means or number of steps between ordered means																				

## Critical Values of the Studentized Range for $df_{\text{error}} 51 - 60$

Error df	Alpha	k = number of means or number of steps between ordered means																		Alpha	Error df	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
51	0.100	2.370	2.969	3.325	3.577	3.772	3.930	4.062	4.177	4.276	4.365	4.445	4.518	4.584	4.645	4.702	4.755	4.805	4.851	4.895	0.100	51
	0.050	2.840	3.415	3.757	4.000	4.188	4.341	4.470	4.581	4.678	4.765	4.843	4.914	4.978	5.038	5.094	5.146	5.194	5.240	5.283	0.050	
	0.010	3.790	4.317	4.634	4.863	5.040	5.183	5.305	5.410	5.503	5.586	5.661	5.730	5.793	5.851	5.904	5.955	6.001	6.045	6.087	0.010	
52	0.100	2.369	2.968	3.324	3.575	3.770	3.927	4.060	4.174	4.273	4.362	4.442	4.515	4.581	4.642	4.699	4.752	4.801	4.847	4.891	0.100	52
	0.050	2.839	3.413	3.754	3.997	4.185	4.337	4.466	4.577	4.674	4.761	4.839	4.909	4.974	5.034	5.089	5.141	5.189	5.235	5.278	0.050	
	0.010	3.788	4.313	4.630	4.858	5.034	5.177	5.299	5.403	5.496	5.579	5.654	5.722	5.785	5.843	5.896	5.947	5.993	6.037	6.078	0.010	
53	0.100	2.368	2.967	3.322	3.574	3.768	3.925	4.057	4.171	4.271	4.359	4.439	4.511	4.578	4.639	4.695	4.748	4.797	4.844	4.887	0.100	53
	0.050	2.838	3.411	3.752	3.995	4.182	4.334	4.463	4.573	4.670	4.757	4.834	4.905	4.970	5.029	5.084	5.136	5.184	5.230	5.273	0.050	
	0.010	3.785	4.309	4.625	4.853	5.029	5.171	5.293	5.397	5.490	5.573	5.647	5.715	5.777	5.835	5.888	5.939	5.984	6.029	6.070	0.010	
54	0.100	2.367	2.966	3.320	3.572	3.766	3.923	4.055	4.169	4.268	4.357	4.436	4.508	4.575	4.636	4.692	4.745	4.794	4.840	4.884	0.100	54
	0.050	2.836	3.409	3.750	3.992	4.179	4.331	4.459	4.570	4.666	4.753	4.830	4.901	4.965	5.025	5.080	5.132	5.180	5.225	5.268	0.050	
	0.010	3.782	4.306	4.621	4.848	5.024	5.166	5.287	5.391	5.483	5.566	5.640	5.708	5.770	5.828	5.880	5.931	5.977	6.020	6.062	0.010	
55	0.100	2.367	2.965	3.319	3.570	3.764	3.921	4.053	4.166	4.265	4.354	4.433	4.506	4.572	4.633	4.689	4.742	4.791	4.837	4.880	0.100	55
	0.050	2.835	3.407	3.748	3.990	4.176	4.328	4.456	4.566	4.663	4.749	4.827	4.897	4.961	5.021	5.076	5.127	5.175	5.220	5.263	0.050	
	0.010	3.780	4.302	4.617	4.843	5.019	5.161	5.281	5.385	5.477	5.560	5.634	5.701	5.763	5.821	5.873	5.924	5.969	6.013	6.054	0.010	
56	0.100	2.366	2.963	3.318	3.568	3.762	3.919	4.051	4.164	4.263	4.351	4.431	4.503	4.569	4.630	4.686	4.738	4.787	4.833	4.877	0.100	56
	0.050	2.834	3.406	3.746	3.987	4.174	4.325	4.453	4.563	4.659	4.745	4.823	4.893	4.958	5.016	5.071	5.123	5.171	5.216	5.258	0.050	
	0.010	3.777	4.299	4.613	4.839	5.014	5.156	5.276	5.379	5.471	5.554	5.627	5.695	5.757	5.814	5.866	5.916	5.962	6.005	6.047	0.010	
57	0.100	2.365	2.962	3.316	3.567	3.760	3.917	4.048	4.162	4.261	4.349	4.428	4.500	4.566	4.627	4.683	4.735	4.784	4.830	4.874	0.100	57
	0.050	2.833	3.404	3.744	3.985	4.171	4.323	4.450	4.560	4.656	4.742	4.819	4.889	4.954	5.013	5.067	5.119	5.167	5.212	5.254	0.050	
	0.010	3.775	4.296	4.609	4.835	5.009	5.151	5.270	5.374	5.466	5.548	5.621	5.689	5.750	5.807	5.859	5.910	5.955	5.998	6.039	0.010	
58	0.100	2.365	2.961	3.315	3.565	3.758	3.915	4.046	4.160	4.259	4.346	4.426	4.498	4.563	4.624	4.680	4.733	4.781	4.827	4.871	0.100	58
	0.050	2.832	3.403	3.742	3.983	4.168	4.320	4.447	4.557	4.653	4.739	4.816	4.886	4.950	5.009	5.063	5.115	5.163	5.207	5.250	0.050	
	0.010	3.773	4.293	4.606	4.831	5.005	5.146	5.265	5.369	5.460	5.542	5.615	5.682	5.744	5.801	5.853	5.903	5.948	5.992	6.032	0.010	

59	0.100	2.364	2.960	3.314	3.564	3.757	3.913	4.044	4.157	4.256	4.344	4.423	4.495	4.561	4.621	4.677	4.730	4.779	4.824	4.868	0.100	59
	0.050	2.831	3.401	3.740	3.981	4.166	4.317	4.444	4.554	4.650	4.735	4.812	4.882	4.946	5.005	5.060	5.111	5.159	5.203	5.246	0.050	
	0.010	3.770	4.290	4.602	4.827	5.001	5.142	5.261	5.364	5.455	5.537	5.610	5.677	5.738	5.795	5.847	5.897	5.942	5.985	6.026	0.010	
60	0.100	2.363	2.959	3.312	3.562	3.755	3.911	4.043	4.155	4.254	4.342	4.421	4.493	4.558	4.619	4.675	4.727	4.776	4.822	4.865	0.100	60
	0.050	2.830	3.399	3.738	3.979	4.164	4.315	4.442	4.551	4.647	4.732	4.809	4.879	4.943	5.002	5.056	5.107	5.155	5.200	5.242	0.050	
	0.010	3.768	4.287	4.599	4.823	4.996	5.137	5.256	5.359	5.450	5.531	5.604	5.671	5.732	5.789	5.841	5.890	5.936	5.979	6.019	0.010	
Error df	Alpha	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Alpha	Error df
		k = number of means or number of steps between ordered means																				

## Critical Values of the Studentized Range for $df_{\text{error}} 61 - 70$

Error df	Alpha	k = number of means or number of steps between ordered means																		Alpha	Error df	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
61	0.100	2.363	2.958	3.311	3.561	3.754	3.910	4.041	4.153	4.252	4.340	4.419	4.490	4.556	4.616	4.672	4.724	4.773	4.819	4.862	0.100	61
	0.050	2.829	3.398	3.736	3.976	4.162	4.312	4.439	4.548	4.644	4.729	4.806	4.876	4.940	4.998	5.053	5.104	5.151	5.196	5.238	0.050	
	0.010	3.766	4.284	4.596	4.819	4.992	5.133	5.251	5.354	5.445	5.526	5.599	5.665	5.727	5.783	5.835	5.884	5.930	5.972	6.013	0.010	
62	0.100	2.362	2.958	3.310	3.560	3.752	3.908	4.039	4.152	4.250	4.338	4.417	4.488	4.554	4.614	4.670	4.722	4.771	4.816	4.859	0.100	62
	0.050	2.828	3.397	3.735	3.975	4.160	4.310	4.437	4.546	4.641	4.726	4.803	4.873	4.937	4.995	5.049	5.100	5.148	5.192	5.234	0.050	
	0.010	3.764	4.282	4.592	4.815	4.989	5.129	5.247	5.349	5.441	5.521	5.594	5.660	5.722	5.778	5.830	5.879	5.924	5.966	6.007	0.010	
63	0.100	2.362	2.957	3.309	3.558	3.751	3.906	4.037	4.150	4.248	4.336	4.414	4.486	4.551	4.612	4.667	4.719	4.768	4.814	4.857	0.100	63
	0.050	2.827	3.395	3.733	3.973	4.158	4.308	4.434	4.543	4.639	4.724	4.800	4.870	4.933	4.992	5.046	5.097	5.144	5.189	5.231	0.050	
	0.010	3.762	4.279	4.589	4.812	4.985	5.125	5.243	5.345	5.436	5.517	5.589	5.655	5.716	5.772	5.825	5.873	5.919	5.961	6.001	0.010	
64	0.100	2.361	2.956	3.308	3.557	3.749	3.905	4.036	4.148	4.247	4.334	4.412	4.484	4.549	4.609	4.665	4.717	4.766	4.811	4.854	0.100	64
	0.050	2.826	3.394	3.731	3.971	4.156	4.306	4.432	4.541	4.636	4.721	4.797	4.867	4.930	4.989	5.043	5.094	5.141	5.185	5.227	0.050	
	0.010	3.761	4.277	4.587	4.809	4.981	5.121	5.239	5.341	5.432	5.512	5.584	5.650	5.711	5.767	5.819	5.868	5.913	5.955	5.995	0.010	
65	0.100	2.361	2.955	3.307	3.556	3.748	3.903	4.034	4.146	4.245	4.332	4.410	4.482	4.547	4.607	4.663	4.715	4.763	4.809	4.852	0.100	65
	0.050	2.825	3.393	3.730	3.969	4.154	4.303	4.430	4.538	4.634	4.718	4.795	4.864	4.928	4.986	5.040	5.090	5.138	5.182	5.224	0.050	
	0.010	3.759	4.274	4.584	4.805	4.978	5.117	5.235	5.337	5.427	5.507	5.580	5.645	5.706	5.762	5.814	5.862	5.908	5.950	5.990	0.010	
66	0.100	2.360	2.954	3.306	3.555	3.746	3.902	4.032	4.145	4.243	4.330	4.409	4.480	4.545	4.605	4.661	4.712	4.761	4.806	4.849	0.100	66
	0.050	2.825	3.392	3.728	3.967	4.152	4.301	4.427	4.536	4.631	4.716	4.792	4.861	4.925	4.983	5.037	5.087	5.135	5.179	5.221	0.050	
	0.010	3.757	4.272	4.581	4.802	4.974	5.114	5.231	5.333	5.423	5.503	5.575	5.641	5.702	5.757	5.809	5.857	5.903	5.944	5.985	0.010	
67	0.100	2.359	2.953	3.305	3.553	3.745	3.901	4.031	4.143	4.241	4.328	4.407	4.478	4.543	4.603	4.659	4.710	4.759	4.804	4.847	0.100	67
	0.050	2.824	3.390	3.727	3.966	4.150	4.299	4.425	4.534	4.629	4.713	4.789	4.859	4.922	4.980	5.034	5.084	5.132	5.176	5.218	0.050	
	0.010	3.755	4.270	4.578	4.799	4.971	5.110	5.227	5.329	5.419	5.499	5.571	5.637	5.697	5.753	5.804	5.853	5.898	5.939	5.979	0.010	
68	0.100	2.359	2.953	3.304	3.552	3.744	3.899	4.029	4.141	4.240	4.327	4.405	4.476	4.541	4.601	4.656	4.708	4.757	4.802	4.845	0.100	68
	0.050	2.823	3.389	3.726	3.964	4.148	4.297	4.423	4.531	4.626	4.711	4.787	4.856	4.919	4.978	5.031	5.082	5.129	5.173	5.215	0.050	
	0.010	3.754	4.267	4.576	4.796	4.968	5.107	5.224	5.325	5.415	5.495	5.566	5.632	5.693	5.748	5.800	5.848	5.893	5.934	5.974	0.010	

69	0.100	2.358	2.952	3.303	3.551	3.743	3.898	4.028	4.140	4.238	4.325	4.403	4.474	4.539	4.599	4.654	4.706	4.754	4.800	4.843	0.100	69
	0.050	2.822	3.388	3.724	3.962	4.146	4.296	4.421	4.529	4.624	4.709	4.784	4.853	4.917	4.975	5.029	5.079	5.126	5.170	5.212	0.050	
	0.010	3.752	4.265	4.573	4.793	4.965	5.103	5.220	5.322	5.411	5.491	5.562	5.628	5.688	5.744	5.795	5.843	5.888	5.930	5.970	0.010	
70	0.100	2.358	2.951	3.302	3.550	3.741	3.896	4.026	4.138	4.236	4.324	4.401	4.472	4.537	4.597	4.653	4.704	4.752	4.798	4.840	0.100	70
	0.050	2.822	3.387	3.723	3.961	4.145	4.294	4.419	4.527	4.622	4.706	4.782	4.851	4.914	4.972	5.026	5.076	5.123	5.167	5.209	0.050	
	0.010	3.751	4.263	4.571	4.791	4.962	5.100	5.217	5.318	5.408	5.487	5.558	5.624	5.684	5.739	5.791	5.839	5.884	5.925	5.965	0.010	
Error df	Alpha	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Alpha	Error df
		k = number of means or number of steps between ordered means																				

## Critical Values of the Studentized Range for $df_{\text{error}} 71 - 80$

Error df	Alpha	k = number of means or number of steps between ordered means																		Alpha	Error df	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
71	0.100	2.358	2.950	3.301	3.549	3.740	3.895	4.025	4.137	4.235	4.322	4.400	4.471	4.536	4.595	4.651	4.702	4.750	4.796	4.838	0.100	71
	0.050	2.821	3.386	3.722	3.959	4.143	4.292	4.417	4.525	4.620	4.704	4.780	4.849	4.912	4.970	5.024	5.074	5.120	5.164	5.206	0.050	
	0.010	3.749	4.261	4.568	4.788	4.959	5.097	5.213	5.315	5.404	5.483	5.555	5.620	5.680	5.735	5.787	5.835	5.879	5.921	5.960	0.010	
72	0.100	2.357	2.950	3.300	3.548	3.739	3.894	4.024	4.136	4.233	4.320	4.398	4.469	4.534	4.594	4.649	4.700	4.749	4.794	4.836	0.100	72
	0.050	2.820	3.385	3.720	3.958	4.141	4.290	4.415	4.523	4.618	4.702	4.778	4.846	4.909	4.967	5.021	5.071	5.118	5.162	5.203	0.050	
	0.010	3.748	4.259	4.566	4.786	4.956	5.094	5.210	5.311	5.400	5.480	5.551	5.616	5.676	5.731	5.783	5.830	5.875	5.917	5.956	0.010	
73	0.100	2.357	2.949	3.299	3.547	3.738	3.893	4.023	4.134	4.232	4.319	4.397	4.467	4.532	4.592	4.647	4.699	4.747	4.792	4.834	0.100	73
	0.050	2.820	3.384	3.719	3.957	4.140	4.289	4.414	4.521	4.616	4.700	4.776	4.844	4.907	4.965	5.019	5.069	5.115	5.159	5.201	0.050	
	0.010	3.746	4.257	4.564	4.783	4.953	5.091	5.207	5.308	5.397	5.476	5.547	5.612	5.672	5.728	5.779	5.826	5.871	5.913	5.952	0.010	
74	0.100	2.356	2.949	3.299	3.546	3.737	3.892	4.021	4.133	4.231	4.317	4.395	4.466	4.531	4.590	4.645	4.697	4.745	4.790	4.832	0.100	74
	0.050	2.819	3.383	3.718	3.955	4.138	4.287	4.412	4.519	4.614	4.698	4.773	4.842	4.905	4.963	5.016	5.066	5.113	5.157	5.198	0.050	
	0.010	3.745	4.255	4.561	4.781	4.951	5.088	5.204	5.305	5.394	5.473	5.544	5.609	5.669	5.724	5.775	5.823	5.867	5.909	5.947	0.010	
75	0.100	2.356	2.948	3.298	3.545	3.736	3.890	4.020	4.132	4.229	4.316	4.394	4.464	4.529	4.589	4.644	4.695	4.743	4.788	4.831	0.100	75
	0.050	2.818	3.382	3.717	3.954	4.137	4.285	4.410	4.518	4.612	4.696	4.771	4.840	4.903	4.961	5.014	5.064	5.110	5.154	5.196	0.050	
	0.010	3.744	4.254	4.559	4.778	4.948	5.086	5.201	5.302	5.391	5.469	5.540	5.605	5.665	5.720	5.771	5.819	5.863	5.905	5.943	0.010	
76	0.100	2.356	2.947	3.297	3.545	3.735	3.889	4.019	4.130	4.228	4.315	4.392	4.463	4.527	4.587	4.642	4.693	4.741	4.786	4.829	0.100	76
	0.050	2.818	3.381	3.716	3.953	4.135	4.284	4.409	4.516	4.610	4.694	4.769	4.838	4.901	4.958	5.012	5.061	5.108	5.152	5.193	0.050	
	0.010	3.742	4.252	4.557	4.776	4.946	5.083	5.198	5.299	5.387	5.466	5.537	5.602	5.662	5.716	5.767	5.815	5.859	5.901	5.939	0.010	
77	0.100	2.355	2.947	3.296	3.544	3.734	3.888	4.018	4.129	4.227	4.313	4.391	4.461	4.526	4.585	4.640	4.692	4.740	4.785	4.827	0.100	77
	0.050	2.817	3.380	3.715	3.952	4.134	4.282	4.407	4.514	4.608	4.692	4.767	4.836	4.899	4.956	5.010	5.059	5.106	5.150	5.191	0.050	
	0.010	3.741	4.250	4.555	4.774	4.943	5.081	5.195	5.296	5.384	5.463	5.534	5.599	5.658	5.713	5.764	5.812	5.855	5.897	5.936	0.010	
78	0.100	2.355	2.946	3.296	3.543	3.733	3.887	4.017	4.128	4.225	4.312	4.389	4.460	4.524	4.584	4.639	4.690	4.738	4.783	4.825	0.100	78
	0.050	2.817	3.380	3.714	3.950	4.133	4.281	4.405	4.513	4.607	4.690	4.766	4.834	4.897	4.954	5.008	5.057	5.104	5.147	5.188	0.050	
	0.010	3.740	4.249	4.553	4.771	4.941	5.079	5.193	5.293	5.381	5.460	5.531	5.595	5.655	5.709	5.760	5.808	5.852	5.893	5.932	0.010	

79	0.100	2.354	2.946	3.295	3.542	3.732	3.886	4.016	4.127	4.224	4.311	4.388	4.459	4.523	4.582	4.637	4.689	4.736	4.781	4.824	0.100	79
	0.050	2.816	3.379	3.713	3.949	4.131	4.279	4.404	4.511	4.605	4.689	4.764	4.832	4.895	4.952	5.006	5.055	5.101	5.145	5.186	0.050	
	0.010	3.739	4.247	4.551	4.769	4.938	5.076	5.190	5.290	5.378	5.457	5.528	5.592	5.651	5.706	5.757	5.805	5.848	5.890	5.928	0.010	
80	0.100	2.354	2.945	3.294	3.541	3.731	3.885	4.015	4.126	4.223	4.309	4.387	4.457	4.522	4.581	4.636	4.687	4.735	4.780	4.822	0.100	80
	0.050	2.815	3.378	3.712	3.948	4.130	4.278	4.402	4.509	4.603	4.687	4.762	4.830	4.893	4.950	5.003	5.053	5.099	5.143	5.184	0.050	
	0.010	3.738	4.245	4.550	4.767	4.936	5.074	5.187	5.288	5.376	5.454	5.525	5.589	5.648	5.703	5.753	5.801	5.845	5.886	5.925	0.010	
Error df	Alpha	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Alpha	Error df
		k = number of means or number of steps between ordered means																				



## Critical Values of the Studentized Range for $df_{\text{error}}$ 81 - 90

Error df	Alpha	k = number of means or number of steps between ordered means																		Alpha	Error df	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
81	0.100	2.354	2.945	3.293	3.540	3.731	3.884	4.013	4.125	4.222	4.308	4.386	4.456	4.520	4.580	4.634	4.686	4.733	4.778	4.821	0.100	81
	0.050	2.815	3.377	3.711	3.947	4.129	4.277	4.401	4.508	4.602	4.685	4.760	4.828	4.891	4.948	5.002	5.051	5.097	5.141	5.182	0.050	
	0.010	3.736	4.244	4.548	4.765	4.934	5.071	5.185	5.285	5.373	5.452	5.522	5.586	5.645	5.700	5.750	5.798	5.841	5.883	5.921	0.010	
82	0.100	2.353	2.944	3.293	3.540	3.730	3.883	4.012	4.123	4.221	4.307	4.384	4.455	4.519	4.578	4.633	4.684	4.732	4.777	4.819	0.100	82
	0.050	2.814	3.376	3.710	3.946	4.128	4.275	4.399	4.506	4.600	4.684	4.758	4.827	4.889	4.946	5.000	5.049	5.095	5.139	5.180	0.050	
	0.010	3.735	4.242	4.546	4.763	4.932	5.069	5.183	5.282	5.370	5.449	5.519	5.583	5.642	5.696	5.747	5.795	5.838	5.879	5.918	0.010	
83	0.100	2.353	2.944	3.292	3.539	3.729	3.883	4.011	4.122	4.220	4.306	4.383	4.453	4.518	4.577	4.632	4.683	4.731	4.775	4.818	0.100	83
	0.050	2.814	3.376	3.709	3.945	4.127	4.274	4.398	4.505	4.599	4.682	4.757	4.825	4.887	4.945	4.998	5.047	5.093	5.137	5.178	0.050	
	0.010	3.734	4.241	4.544	4.761	4.930	5.067	5.180	5.280	5.368	5.446	5.516	5.580	5.639	5.693	5.744	5.792	5.835	5.876	5.914	0.010	
84	0.100	2.353	2.943	3.292	3.538	3.728	3.882	4.011	4.121	4.219	4.305	4.382	4.452	4.516	4.576	4.630	4.681	4.729	4.774	4.816	0.100	84
	0.050	2.813	3.375	3.708	3.944	4.125	4.273	4.397	4.503	4.597	4.680	4.755	4.823	4.885	4.943	4.996	5.046	5.091	5.135	5.176	0.050	
	0.010	3.733	4.239	4.543	4.759	4.927	5.065	5.178	5.278	5.365	5.443	5.513	5.578	5.636	5.691	5.741	5.788	5.832	5.873	5.912	0.010	
85	0.100	2.353	2.943	3.291	3.537	3.727	3.881	4.010	4.120	4.217	4.304	4.381	4.451	4.515	4.574	4.629	4.680	4.728	4.772	4.815	0.100	85
	0.050	2.813	3.374	3.707	3.943	4.124	4.272	4.395	4.502	4.596	4.679	4.754	4.822	4.884	4.941	4.994	5.044	5.090	5.133	5.174	0.050	
	0.010	3.732	4.238	4.541	4.757	4.925	5.062	5.176	5.275	5.363	5.441	5.511	5.575	5.634	5.688	5.738	5.785	5.828	5.870	5.909	0.010	
86	0.100	2.352	2.942	3.290	3.537	3.726	3.880	4.009	4.120	4.216	4.303	4.380	4.450	4.514	4.573	4.628	4.679	4.726	4.771	4.813	0.100	86
	0.050	2.812	3.374	3.706	3.942	4.123	4.270	4.394	4.501	4.594	4.677	4.752	4.820	4.882	4.939	4.992	5.042	5.088	5.131	5.172	0.050	
	0.010	3.731	4.237	4.539	4.755	4.924	5.060	5.174	5.273	5.361	5.438	5.508	5.572	5.631	5.685	5.735	5.783	5.825	5.867	5.906	0.010	
87	0.100	2.352	2.942	3.290	3.536	3.726	3.879	4.008	4.119	4.215	4.301	4.379	4.449	4.513	4.572	4.627	4.678	4.725	4.770	4.812	0.100	87
	0.050	2.812	3.373	3.705	3.941	4.122	4.269	4.393	4.499	4.593	4.676	4.751	4.818	4.880	4.938	4.991	5.040	5.086	5.129	5.170	0.050	
	0.010	3.730	4.235	4.538	4.754	4.922	5.058	5.171	5.271	5.358	5.436	5.506	5.570	5.628	5.682	5.732	5.780	5.823	5.864	5.903	0.010	
88	0.100	2.352	2.941	3.289	3.535	3.725	3.878	4.007	4.118	4.214	4.300	4.378	4.448	4.512	4.571	4.625	4.676	4.724	4.768	4.811	0.100	88
	0.050	2.811	3.372	3.704	3.940	4.121	4.268	4.392	4.498	4.592	4.675	4.749	4.817	4.879	4.936	4.989	5.039	5.084	5.127	5.168	0.050	
	0.010	3.729	4.234	4.536	4.752	4.920	5.056	5.169	5.269	5.356	5.433	5.503	5.567	5.626	5.679	5.729	5.777	5.820	5.861	5.900	0.010	

89	0.100	2.351	2.941	3.289	3.535	3.724	3.877	4.006	4.117	4.213	4.299	4.377	4.446	4.511	4.570	4.624	4.675	4.723	4.767	4.809	0.100	89
	0.050	2.811	3.372	3.704	3.939	4.120	4.267	4.390	4.497	4.590	4.673	4.748	4.815	4.877	4.934	4.987	5.037	5.083	5.126	5.167	0.050	
	0.010	3.728	4.233	4.535	4.750	4.918	5.054	5.167	5.266	5.354	5.431	5.501	5.565	5.623	5.677	5.727	5.774	5.818	5.858	5.897	0.010	
90	0.100	2.351	2.940	3.288	3.534	3.723	3.877	4.005	4.116	4.213	4.298	4.376	4.445	4.509	4.568	4.623	4.674	4.721	4.766	4.808	0.100	90
	0.050	2.811	3.371	3.703	3.938	4.119	4.266	4.389	4.496	4.589	4.672	4.746	4.814	4.876	4.933	4.986	5.035	5.081	5.124	5.165	0.050	
	0.010	3.727	4.232	4.533	4.749	4.916	5.052	5.165	5.264	5.351	5.429	5.499	5.562	5.620	5.674	5.724	5.771	5.815	5.855	5.894	0.010	
Error df	Alpha	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Alpha	Error df
		k = number of means or number of steps between ordered means																				

## Critical Values of the Studentized Range for $df_{\text{error}} 91 - 100$

Error df	Alpha	k = number of means or number of steps between ordered means																		Alpha	Error df	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
91	0.100	2.351	2.940	3.288	3.534	3.723	3.876	4.004	4.115	4.212	4.297	4.375	4.444	4.508	4.567	4.622	4.673	4.720	4.765	4.807	0.100	91
	0.050	2.810	3.370	3.702	3.937	4.118	4.265	4.388	4.494	4.588	4.670	4.745	4.813	4.874	4.931	4.984	5.034	5.080	5.122	5.163	0.050	
	0.010	3.726	4.230	4.532	4.747	4.914	5.051	5.163	5.262	5.349	5.427	5.496	5.560	5.618	5.672	5.722	5.769	5.812	5.853	5.891	0.010	
92	0.100	2.351	2.940	3.287	3.533	3.722	3.875	4.004	4.114	4.211	4.297	4.374	4.443	4.507	4.566	4.621	4.672	4.719	4.764	4.805	0.100	92
	0.050	2.810	3.370	3.701	3.936	4.117	4.264	4.387	4.493	4.586	4.669	4.744	4.811	4.873	4.930	4.983	5.032	5.078	5.121	5.161	0.050	
	0.010	3.726	4.229	4.530	4.745	4.913	5.049	5.161	5.260	5.347	5.424	5.494	5.557	5.616	5.669	5.719	5.766	5.810	5.850	5.888	0.010	
93	0.100	2.350	2.939	3.287	3.532	3.721	3.874	4.003	4.113	4.210	4.296	4.373	4.442	4.506	4.565	4.620	4.670	4.718	4.762	4.804	0.100	93
	0.050	2.809	3.369	3.701	3.935	4.116	4.263	4.386	4.492	4.585	4.668	4.742	4.810	4.872	4.928	4.981	5.031	5.077	5.119	5.160	0.050	
	0.010	3.725	4.228	4.529	4.744	4.911	5.047	5.159	5.258	5.345	5.422	5.492	5.555	5.613	5.667	5.717	5.764	5.807	5.847	5.886	0.010	
94	0.100	2.350	2.939	3.286	3.532	3.721	3.874	4.002	4.112	4.209	4.295	4.372	4.441	4.505	4.564	4.619	4.669	4.717	4.761	4.803	0.100	94
	0.050	2.809	3.368	3.700	3.934	4.115	4.262	4.385	4.491	4.584	4.667	4.741	4.808	4.870	4.927	4.980	5.029	5.075	5.118	5.158	0.050	
	0.010	3.724	4.227	4.528	4.742	4.909	5.045	5.158	5.256	5.343	5.420	5.490	5.553	5.611	5.664	5.714	5.761	5.805	5.845	5.883	0.010	
95	0.100	2.350	2.938	3.286	3.531	3.720	3.873	4.001	4.112	4.208	4.294	4.371	4.440	4.504	4.563	4.618	4.668	4.716	4.760	4.802	0.100	95
	0.050	2.809	3.368	3.699	3.934	4.114	4.261	4.384	4.490	4.583	4.665	4.740	4.807	4.869	4.926	4.978	5.028	5.074	5.116	5.157	0.050	
	0.010	3.723	4.226	4.526	4.741	4.908	5.043	5.156	5.254	5.341	5.418	5.488	5.551	5.609	5.662	5.712	5.759	5.802	5.842	5.881	0.010	
96	0.100	2.349	2.938	3.285	3.531	3.720	3.873	4.001	4.111	4.207	4.293	4.370	4.440	4.503	4.562	4.617	4.667	4.715	4.759	4.801	0.100	96
	0.050	2.808	3.367	3.698	3.933	4.114	4.260	4.383	4.489	4.582	4.664	4.738	4.806	4.867	4.924	4.977	5.026	5.072	5.115	5.155	0.050	
	0.010	3.722	4.225	4.525	4.739	4.906	5.042	5.154	5.253	5.339	5.416	5.486	5.549	5.607	5.660	5.710	5.757	5.800	5.840	5.878	0.010	
97	0.100	2.349	2.938	3.285	3.530	3.719	3.872	4.000	4.110	4.207	4.292	4.369	4.439	4.502	4.561	4.616	4.666	4.714	4.758	4.800	0.100	97
	0.050	2.808	3.367	3.698	3.932	4.113	4.259	4.382	4.488	4.581	4.663	4.737	4.805	4.866	4.923	4.976	5.025	5.071	5.113	5.154	0.050	
	0.010	3.721	4.224	4.524	4.738	4.905	5.040	5.153	5.251	5.337	5.414	5.484	5.547	5.604	5.658	5.707	5.754	5.797	5.837	5.876	0.010	
98	0.100	2.349	2.937	3.284	3.530	3.718	3.871	3.999	4.109	4.206	4.291	4.368	4.438	4.501	4.560	4.615	4.665	4.713	4.757	4.799	0.100	98
	0.050	2.807	3.366	3.697	3.931	4.112	4.258	4.381	4.487	4.579	4.662	4.736	4.803	4.865	4.922	4.974	5.023	5.069	5.112	5.152	0.050	
	0.010	3.721	4.223	4.523	4.737	4.903	5.039	5.151	5.249	5.335	5.412	5.482	5.544	5.602	5.656	5.705	5.752	5.795	5.835	5.873	0.010	

99	0.100	2.349	2.937	3.284	3.529	3.718	3.871	3.998	4.109	4.205	4.290	4.367	4.437	4.501	4.559	4.614	4.664	4.711	4.756	4.798	0.100	99
	0.050	2.807	3.366	3.696	3.931	4.111	4.257	4.380	4.486	4.578	4.661	4.735	4.802	4.864	4.920	4.973	5.022	5.068	5.111	5.151	0.050	
	0.010	3.720	4.222	4.521	4.735	4.902	5.037	5.149	5.247	5.334	5.410	5.480	5.542	5.600	5.654	5.703	5.750	5.793	5.833	5.871	0.010	
100	0.100	2.349	2.937	3.283	3.529	3.717	3.870	3.998	4.108	4.204	4.290	4.367	4.436	4.500	4.558	4.613	4.663	4.711	4.755	4.797	0.100	100
	0.050	2.807	3.365	3.696	3.930	4.110	4.256	4.379	4.485	4.577	4.660	4.734	4.801	4.862	4.919	4.972	5.021	5.067	5.109	5.149	0.050	
	0.010	3.719	4.221	4.520	4.734	4.900	5.035	5.148	5.246	5.332	5.409	5.478	5.541	5.598	5.651	5.701	5.748	5.791	5.830	5.868	0.010	
Error df	Alpha	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Alpha	Error df
		k = number of means or number of steps between ordered means																				

## Critical Values of the Studentized Range for $df_{\text{error}} 101 - 110$

Error df	Alpha	k = number of means or number of steps between ordered means																		Alpha	Error df	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
101	0.100	2.348	2.936	3.283	3.528	3.717	3.869	3.997	4.107	4.203	4.289	4.366	4.435	4.499	4.557	4.612	4.662	4.710	4.754	4.796	0.100	101
	0.050	2.806	3.365	3.695	3.929	4.110	4.255	4.378	4.484	4.576	4.659	4.733	4.800	4.861	4.918	4.970	5.020	5.065	5.108	5.148	0.050	
	0.010	3.718	4.220	4.519	4.733	4.899	5.034	5.146	5.244	5.330	5.407	5.476	5.539	5.596	5.649	5.699	5.745	5.788	5.828	5.866	0.010	
102	0.100	2.348	2.936	3.282	3.528	3.716	3.869	3.997	4.106	4.203	4.288	4.365	4.435	4.498	4.557	4.611	4.661	4.709	4.753	4.795	0.100	102
	0.050	2.806	3.364	3.695	3.928	4.109	4.255	4.377	4.483	4.575	4.658	4.732	4.799	4.860	4.917	4.969	5.018	5.064	5.107	5.147	0.050	
	0.010	3.718	4.219	4.518	4.731	4.897	5.032	5.145	5.242	5.328	5.405	5.474	5.537	5.594	5.647	5.697	5.743	5.786	5.826	5.864	0.010	
103	0.100	2.348	2.936	3.282	3.527	3.716	3.868	3.996	4.106	4.202	4.287	4.364	4.434	4.497	4.556	4.610	4.660	4.708	4.752	4.794	0.100	103
	0.050	2.806	3.364	3.694	3.928	4.108	4.254	4.376	4.482	4.574	4.657	4.730	4.798	4.859	4.916	4.968	5.017	5.063	5.106	5.145	0.050	
	0.010	3.717	4.218	4.517	4.730	4.896	5.031	5.143	5.241	5.327	5.403	5.472	5.535	5.592	5.645	5.695	5.741	5.784	5.824	5.862	0.010	
104	0.100	2.348	2.935	3.282	3.527	3.715	3.867	3.995	4.105	4.201	4.287	4.363	4.433	4.496	4.555	4.609	4.660	4.707	4.751	4.793	0.100	104
	0.050	2.805	3.363	3.693	3.927	4.107	4.253	4.375	4.481	4.573	4.656	4.729	4.796	4.858	4.914	4.967	5.016	5.061	5.104	5.144	0.050	
	0.010	3.716	4.217	4.516	4.729	4.895	5.030	5.141	5.239	5.325	5.402	5.470	5.533	5.591	5.643	5.693	5.739	5.782	5.822	5.860	0.010	
105	0.100	2.348	2.935	3.281	3.526	3.715	3.867	3.995	4.104	4.201	4.286	4.363	4.432	4.495	4.554	4.608	4.659	4.706	4.750	4.792	0.100	105
	0.050	2.805	3.363	3.693	3.926	4.106	4.252	4.374	4.480	4.572	4.655	4.728	4.795	4.857	4.913	4.966	5.015	5.060	5.103	5.143	0.050	
	0.010	3.716	4.216	4.515	4.728	4.893	5.028	5.140	5.237	5.323	5.400	5.469	5.531	5.589	5.642	5.691	5.737	5.780	5.821	5.858	0.010	
106	0.100	2.347	2.935	3.281	3.526	3.714	3.866	3.994	4.104	4.200	4.285	4.362	4.431	4.495	4.553	4.607	4.658	4.705	4.749	4.791	0.100	106
	0.050	2.805	3.362	3.692	3.926	4.106	4.251	4.374	4.479	4.571	4.654	4.727	4.794	4.856	4.912	4.964	5.013	5.059	5.102	5.142	0.050	
	0.010	3.715	4.215	4.513	4.727	4.892	5.027	5.139	5.236	5.322	5.398	5.467	5.530	5.587	5.640	5.689	5.735	5.778	5.819	5.856	0.010	
107	0.100	2.347	2.934	3.281	3.525	3.714	3.866	3.993	4.103	4.199	4.285	4.361	4.431	4.494	4.552	4.607	4.657	4.704	4.748	4.790	0.100	107
	0.050	2.804	3.362	3.692	3.925	4.105	4.251	4.373	4.478	4.571	4.653	4.726	4.793	4.855	4.911	4.963	5.012	5.058	5.101	5.141	0.050	
	0.010	3.714	4.214	4.512	4.725	4.891	5.026	5.137	5.234	5.320	5.397	5.465	5.528	5.585	5.638	5.687	5.734	5.776	5.817	5.854	0.010	
108	0.100	2.347	2.934	3.280	3.525	3.713	3.865	3.993	4.103	4.199	4.284	4.360	4.430	4.493	4.552	4.606	4.656	4.703	4.747	4.789	0.100	108
	0.050	2.804	3.362	3.691	3.925	4.104	4.250	4.372	4.477	4.570	4.652	4.725	4.792	4.854	4.910	4.962	5.011	5.057	5.099	5.140	0.050	
	0.010	3.713	4.214	4.511	4.724	4.890	5.024	5.136	5.233	5.319	5.395	5.464	5.526	5.583	5.636	5.685	5.732	5.775	5.815	5.852	0.010	

<b>109</b>	<b>0.100</b>	2.347	2.934	3.280	3.524	3.713	3.865	3.992	4.102	4.198	4.283	4.360	4.429	4.492	4.551	4.605	4.655	4.702	4.747	4.788	<b>0.100</b>	<b>109</b>
	<b>0.050</b>	2.804	3.361	3.691	3.924	4.104	4.249	4.371	4.476	4.569	4.651	4.724	4.791	4.853	4.909	4.961	5.010	5.055	5.098	5.138	<b>0.050</b>	
	<b>0.010</b>	3.713	4.213	4.510	4.723	4.888	5.023	5.134	5.232	5.317	5.393	5.462	5.524	5.582	5.634	5.683	5.730	5.773	5.813	5.850	<b>0.010</b>	
<b>110</b>	<b>0.100</b>	2.347	2.934	3.280	3.524	3.712	3.864	3.992	4.101	4.197	4.283	4.359	4.429	4.492	4.550	4.604	4.655	4.702	4.746	4.787	<b>0.100</b>	<b>110</b>
	<b>0.050</b>	2.804	3.361	3.690	3.923	4.103	4.248	4.370	4.476	4.568	4.650	4.724	4.790	4.852	4.908	4.960	5.009	5.054	5.097	5.137	<b>0.050</b>	
	<b>0.010</b>	3.712	4.212	4.510	4.722	4.887	5.022	5.133	5.230	5.316	5.392	5.461	5.523	5.580	5.633	5.682	5.728	5.771	5.811	5.848	<b>0.010</b>	
<b>Error df</b>	<b>Alpha</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	<b>Alpha</b>	<b>Error df</b>
k = number of means or number of steps between ordered means																						

## Critical Values of the Studentized Range for $df_{\text{error}} 111 - 120$

Error df	Alpha	k = number of means or number of steps between ordered means																		Alpha	Error df	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20
111	0.100	2.346	2.933	3.279	3.524	3.712	3.864	3.991	4.101	4.197	4.282	4.358	4.428	4.491	4.549	4.603	4.654	4.701	4.745	4.786	0.100	111
	0.050	2.803	3.360	3.690	3.923	4.102	4.248	4.370	4.475	4.567	4.649	4.723	4.789	4.851	4.907	4.959	5.008	5.053	5.096	5.136	0.050	
	0.010	3.712	4.211	4.509	4.721	4.886	5.020	5.132	5.229	5.314	5.390	5.459	5.521	5.578	5.631	5.680	5.726	5.769	5.809	5.846	0.010	
112	0.100	2.346	2.933	3.279	3.523	3.711	3.863	3.991	4.100	4.196	4.281	4.358	4.427	4.490	4.549	4.603	4.653	4.700	4.744	4.786	0.100	112
	0.050	2.803	3.360	3.689	3.922	4.102	4.247	4.369	4.474	4.566	4.648	4.722	4.788	4.850	4.906	4.958	5.007	5.052	5.095	5.135	0.050	
	0.010	3.711	4.210	4.508	4.720	4.885	5.019	5.131	5.227	5.313	5.389	5.458	5.520	5.577	5.629	5.678	5.725	5.767	5.807	5.845	0.010	
113	0.100	2.346	2.933	3.278	3.523	3.711	3.863	3.990	4.100	4.196	4.281	4.357	4.426	4.490	4.548	4.602	4.652	4.699	4.743	4.785	0.100	113
	0.050	2.803	3.359	3.689	3.922	4.101	4.246	4.368	4.473	4.565	4.647	4.721	4.788	4.849	4.905	4.957	5.006	5.051	5.094	5.134	0.050	
	0.010	3.710	4.210	4.507	4.719	4.884	5.018	5.130	5.226	5.312	5.388	5.456	5.518	5.575	5.628	5.677	5.723	5.766	5.806	5.843	0.010	
114	0.100	2.346	2.933	3.278	3.522	3.710	3.862	3.990	4.099	4.195	4.280	4.356	4.426	4.489	4.547	4.601	4.652	4.698	4.743	4.784	0.100	114
	0.050	2.802	3.359	3.688	3.921	4.100	4.246	4.367	4.472	4.565	4.646	4.720	4.787	4.848	4.904	4.956	5.005	5.050	5.093	5.133	0.050	
	0.010	3.710	4.209	4.506	4.718	4.883	5.017	5.128	5.225	5.310	5.386	5.455	5.517	5.574	5.626	5.675	5.721	5.764	5.804	5.841	0.010	
115	0.100	2.346	2.932	3.278	3.522	3.710	3.862	3.989	4.099	4.194	4.279	4.356	4.425	4.488	4.546	4.600	4.651	4.698	4.742	4.783	0.100	115
	0.050	2.802	3.359	3.688	3.920	4.100	4.245	4.367	4.472	4.564	4.646	4.719	4.786	4.847	4.903	4.955	5.004	5.049	5.092	5.132	0.050	
	0.010	3.709	4.208	4.505	4.717	4.882	5.016	5.127	5.224	5.309	5.385	5.453	5.515	5.572	5.625	5.674	5.720	5.762	5.802	5.839	0.010	
116	0.100	2.345	2.932	3.277	3.522	3.709	3.861	3.989	4.098	4.194	4.279	4.355	4.425	4.488	4.546	4.600	4.650	4.697	4.741	4.783	0.100	116
	0.050	2.802	3.358	3.687	3.920	4.099	4.244	4.366	4.471	4.563	4.645	4.718	4.785	4.846	4.902	4.954	5.003	5.048	5.091	5.131	0.050	
	0.010	3.709	4.207	4.504	4.716	4.881	5.015	5.126	5.222	5.308	5.383	5.452	5.514	5.571	5.623	5.672	5.718	5.761	5.801	5.838	0.010	
117	0.100	2.345	2.932	3.277	3.521	3.709	3.861	3.988	4.098	4.193	4.278	4.355	4.424	4.487	4.545	4.599	4.649	4.696	4.740	4.782	0.100	117
	0.050	2.802	3.358	3.687	3.919	4.099	4.244	4.365	4.470	4.562	4.644	4.717	4.784	4.845	4.901	4.953	5.002	5.047	5.090	5.130	0.050	
	0.010	3.708	4.207	4.503	4.715	4.880	5.013	5.125	5.221	5.306	5.382	5.450	5.512	5.569	5.622	5.670	5.717	5.759	5.799	5.836	0.010	
118	0.100	2.345	2.932	3.277	3.521	3.709	3.861	3.988	4.097	4.193	4.278	4.354	4.423	4.487	4.544	4.598	4.649	4.696	4.740	4.781	0.100	118
	0.050	2.801	3.358	3.686	3.919	4.098	4.243	4.365	4.470	4.562	4.643	4.717	4.783	4.844	4.900	4.952	5.001	5.046	5.089	5.129	0.050	
	0.010	3.708	4.206	4.502	4.714	4.879	5.012	5.124	5.220	5.306	5.381	5.449	5.511	5.568	5.620	5.669	5.715	5.758	5.797	5.834	0.010	

<b>119</b>	<b>0.100</b>	<b>2.345</b>	<b>2.931</b>	<b>3.277</b>	<b>3.521</b>	<b>3.708</b>	<b>3.860</b>	<b>3.987</b>	<b>4.096</b>	<b>4.192</b>	<b>4.277</b>	<b>4.353</b>	<b>4.423</b>	<b>4.486</b>	<b>4.544</b>	<b>4.598</b>	<b>4.648</b>	<b>4.695</b>	<b>4.739</b>	<b>4.780</b>	<b>0.100</b>	<b>119</b>
	<b>0.050</b>	<b>2.801</b>	<b>3.357</b>	<b>3.686</b>	<b>3.918</b>	<b>4.097</b>	<b>4.242</b>	<b>4.364</b>	<b>4.469</b>	<b>4.561</b>	<b>4.642</b>	<b>4.716</b>	<b>4.782</b>	<b>4.843</b>	<b>4.899</b>	<b>4.951</b>	<b>5.000</b>	<b>5.045</b>	<b>5.088</b>	<b>5.128</b>	<b>0.050</b>	
	<b>0.010</b>	<b>3.707</b>	<b>4.205</b>	<b>4.502</b>	<b>4.713</b>	<b>4.878</b>	<b>5.011</b>	<b>5.123</b>	<b>5.219</b>	<b>5.304</b>	<b>5.380</b>	<b>5.448</b>	<b>5.509</b>	<b>5.566</b>	<b>5.619</b>	<b>5.667</b>	<b>5.714</b>	<b>5.756</b>	<b>5.796</b>	<b>5.833</b>	<b>0.010</b>	
<b>120</b>	<b>0.100</b>	<b>2.345</b>	<b>2.931</b>	<b>3.276</b>	<b>3.520</b>	<b>3.708</b>	<b>3.860</b>	<b>3.987</b>	<b>4.096</b>	<b>4.192</b>	<b>4.277</b>	<b>4.353</b>	<b>4.422</b>	<b>4.485</b>	<b>4.543</b>	<b>4.597</b>	<b>4.647</b>	<b>4.694</b>	<b>4.738</b>	<b>4.780</b>	<b>0.100</b>	<b>120</b>
	<b>0.050</b>	<b>2.801</b>	<b>3.357</b>	<b>3.685</b>	<b>3.918</b>	<b>4.097</b>	<b>4.242</b>	<b>4.363</b>	<b>4.468</b>	<b>4.560</b>	<b>4.642</b>	<b>4.715</b>	<b>4.782</b>	<b>4.842</b>	<b>4.899</b>	<b>4.950</b>	<b>4.999</b>	<b>5.044</b>	<b>5.087</b>	<b>5.127</b>	<b>0.050</b>	
	<b>0.010</b>	<b>3.707</b>	<b>4.205</b>	<b>4.501</b>	<b>4.712</b>	<b>4.877</b>	<b>5.010</b>	<b>5.121</b>	<b>5.217</b>	<b>5.303</b>	<b>5.378</b>	<b>5.446</b>	<b>5.508</b>	<b>5.565</b>	<b>5.617</b>	<b>5.666</b>	<b>5.712</b>	<b>5.755</b>	<b>5.794</b>	<b>5.831</b>	<b>0.010</b>	
<b>Error df</b>	<b>Alpha</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>Alpha</b>	<b>Error df</b>
<b>k = number of means or number of steps between ordered means</b>																						



---

## Βιβλιογραφία

---

- Berger, J. (2003). Could Fisher, Jeffreys and Neyman Have Agreed on Testing? *Statistical Science*, **18**(1), 1-32.
- Brown, S. & Melamed, L. (1990). *Experimental Design and Analysis*. Newbury Park: Sage Publications.
- Buhl-Mortensen, L. (1996). Type-II Statistical Errors in Environmental Science and the Precautionary Principle. *Marine Pollution Bulletin*, **32**(7), 528-531.
- Carver, P. (1978). The Case Against Statistical Testing. *Harvard Educational Review*, **48**, 378-399.
- Chatfield, C. (1991). Avoiding Statistical Pitfalls. *Statistical Science*, **6**, 240-268.
- Coakes, S. & Steed, L. (1999). *SPSS: Analysis Without Anguish*. Singapore: John Willey & Sons.
- Cochran, W. & Cox, G. (1953). *Experimental Designs*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Cox, D. R. (1958). *Planning of Experiments*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- Cox, D. R. (1977). The Role of Significance Tests. *Scandinavian Journal of Statistics*, **4**, 49-70.
- Cox, G. (1950). Discussion on Experimental Design. *Biometrics*, **6**(3), 317-319.
- Daniel, W. (1995). *Biostatistics: A Foundation for Analysis in the Health Sciences*. Singapore: John Willey & Sons, Inc.
- Dillon, W. & Goldstein, M. (1984). *Multivariate Analysis: Methods and Applications*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- Girden, E. (1992). *ANOVA: Repeated Measures*. Newbury Park: Sage Publications.
- Gomez, K. & Gomez, A. (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research*. Singapore: John Willey & Sons, Inc.
- Guttman, L. (1985). The Illogic of Statistical Inference for Cumulative Science. *Applied Stochastic Models and Data Analysis*, **1**(1), 3-9.
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R. & Black, W. (1995). *Multivariate Data Analysis With Readings*. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.
- Hallahan, M. & Rosenthal, R. (1996). Statistical Power: Concepts, Procedures, and Applications. *Behav. Res. Ther.*, **34**(5/6), 489-499.

- Hamaker, H. (1955). Experimental Design in Industry. *Biometrics*, 11(3), 257-286.
- Hinkle, D., Wiersma, W. & Jurs, S. (1988). *Applied Statistics for the Behavioral Sciences*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Huck, S. (2000α). Misconceptions. In RSR: *Reading Statistics & Research-Student Help*, Chapter 9. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.readingstats.com>.
- Huck, S. (2000β). *Reading Statistics and Research*. New York: Addison Wesley Longman, Inc.
- Jaccard, J. (1998). *Interaction Effects in Factorial Analysis of Variance*. Thousand Oakes: Sage Publications.
- Jaccard, J., Turrisi, R. & Wan, C. (1990). *Interaction Effects in Multiple Regression*. Newbury Park: Sage Publications.
- Kalliopi Kadoglidou & Anastasia Lagopodi & Katerina Karamanoli & Despoina Vokou & George A. Bardas & George Menexes & Helen-Isis A. Constantinidou (2011). Inhibitory and stimulatory effects of essential oils and individual monoterpenoids on growth and sporulation of four soil-borne fungal isolates of *Aspergillus terreus*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium expansum*, and *Verticillium dahliae*. *Eur J Plant Pathol*, 130, 297–309.
- Kirk, R. (1995). *Experimental Design: Procedures for the Behavioral Sciences*. Pacific Grove: Brooks/Cole Publishing Company.
- Kirkwood, B. (1996). *Essentials of Medical Statistics*. London: Blackwell Science, Ltd.
- Kleinbaum, D., Kupper, L., Muller, K. & Nizam, A. (1998). *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods*. Pacific Grove: Duxbury Press.
- Klockars A. & Sax, G. (1986). *Multiple Comparisons*. Newbury Park: Sage Publications.
- Kuehl, R. (2000). *Designs of Experiments: Statistical Principles of Research Design and Analysis*. Pacific Grove: Duxbury Thomson Learning.
- Kutner, M., Nachtsheim, C., Neter, J. & Li, W. (2005). *Applied Linear Statistical Models*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Lewis, G., Mathieu, D. & Phan-Tan-Luu, R. (1999). *Pharmaceutical Experimental Design*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Lipsey, M. (1990). *Design Sensitivity: Statistical Power for Experimental Research*. Newbury Park: Sage Publications, Inc.
- Little, T. & Hills, J. (1975). *Statistical Methods in Agricultural Research*. University of California.

- Loftus, R., (1991). On the Tyranny of Hypothesis Testing in the Social Sciences. *Contemporary Psychology*, 36, 102-105.
- Lohr, S. (1999). *Sampling: Design and Analysis*. Pacific Grove: Duxbury Press.
- Mardia, K., Kent, J. & Bibby, J. (2003). *Multivariate Analysis*. London: Academic Press.
- Mead, R. & Curnow, R. N. (1990). *Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology*. London: Chapman and Hall.
- Mendenhall, W. & Sincich, T. (1996). *A Second Course in Statistics: Regression Analysis*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Mohr, L. (1990). *Understanding Significance Testing*. Thousand Oakes: Sage Publications.
- Montgomery, D. (1997). *Design and Analysis of Experiments*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Montgomery, D. (1999). Experimental Design for product and Process Design and Development. *The Statistician*, 48(2), 159-177.
- Murphy, K. & Myers, B. (1998). *Statistical Power Analysis: A Simple and General Model for Traditional and Modern Hypothesis Tests*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Neter, J., Kutner, M., Nachtsheim, C. & Wasserman, W. (1996). *Applied Linear Regression Models*. Chicago: Irwin, Inc.
- Nix, T. & Barnett, J. J. (1998). The Data Analysis Dilemma: Ban or Abandon. A Review of Null Hypothesis Significance Testing. *Research in the Schools*, 5(2), 3-14.
- Norusis, M. (1992 $\alpha$ ). *SPSS Professional Statistics 6.1*. Chicago: SPSS Inc.
- Norusis, M. (1992 $\beta$ ). *SPSS for Windows Advanced Statistics Release 5*. Chicago: SPSS Inc.
- Pagano, M. & Gauvreau, K. (2000). *Αρχές Βιοστατιστικής*. Περιστερί-Αθήνα: Εκδόσεις ΕΛΛΗΝ.
- Pearce, S. (1979). Experimental Design: R. A. Fisher and Some Modern Rivals. *The Statistician*, 28(3), 153-161.
- Petersen, R. (1994). *Agricultural Field Experiments: Design and Analysis*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Preece, D. A. (1990). R. A. Fisher and Experimental Design: A Review. *Biometrics*, 46(4), 925-935.

- Rao, C. R. (2002). *Linear Statistical Inference and its Applications*. New York, John Wiley & Sons.
- Rencher, A. (2000). *Linear Models in Statistics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Rozeboom, W., (1960). The Fallacy of the Null-Hypothesis Significance Test. *Psychological Bulletin*, 57, 416-428.
- SAS Institute, (1990). *SAS/STAT User's Guide, Version 6, 4th ed.* (Vol. 1). Cary, NC: SAS Institute, Inc.
- SAS Institute, (1999). *SAS/STAT User's Guide Version 8*. Cary, NC: SAS Institute, Inc.
- Sprent, P. (1973). Frank Yates and Experimental Design-Reflections Inspired by his Selected Papers. *The Statistician*, 22(2), Geophysical Statistical Symposium, 151-158.
- SPSS Inc. (2002α). *SPSS 11.5 Syntax Reference Guide Base System Advanced Models Regression Models*. Chicago: SPSS, Inc.
- SPSS Inc. (2004α). *SPSS 13 Statistical Algorithms*. Chicago: SPSS Inc.
- SPSS Inc. (2004β). *SPSS Regression Models 13.0*. Chicago: SPSS Inc.
- Stapleton, J. (1995). *Linear Statistical Models*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Steel, R. & Torrie, J. (1986). *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Steel, R., Torrie, J. & Dickey, D. (1997). *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. Third Edition. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Tabachnick, B. & Fidell, L. (1989). *Using Multivariate Statistics*. New York: Harper & Row Publishers.
- Toothaker, L (1993). *Multiple Comparison Procedures*. Newbury Park: Sage Publications, Inc.
- Wolter, K. (1985). *Introduction to Variance Estimation*. New York: Springer-Verlag.
- Yocuz, G. (1991). Use, Overuse, and Misuse of Significance Tests in Evolutionary Biology and Ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 72, 106-111.
- Zar, J. (1996). *Biostatistical Analysis*. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.
- Δαφέρμος, Β. (2002). *Επαναληπτικές Στατιστικές Μετρήσεις στις Κοινωνικές πιστήμες*. Αθήνα: Leader Books.
- Κάτος, Α. (1986). *Στατιστική*. Θεσσαλονίκη: Παρατηρητής.

- Κίτσος, Χ. (1994). *Στατιστική Ανάλυση Πειραματικών Σχεδιασμών*. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων τεχνολογιών.
- Μενεξές, Γ. (1999). *Στατιστικές Διαδικασίες με το SPSS 8.0 for Windows*. Διδακτικές Σημειώσεις.
- Μενεξές, Γ. & Οικονόμου, Α. (2002). Σφάλματα και Παρανοήσεις στους Στατιστικούς Ελέγχους Υποθέσεων: Υπέρβαση μέσω της Ανάλυσης Δεδομένων. *Τετράδια Ανάλυσης Δεδομένων-Data Analysis Bulletin*, 2, 52-64.
- Μενεξές, Γ. (2002). Ανάλυση Ισχύος των Στατιστικών Ελέγχων: Μία Πρώτη Προσέγγιση. *Πρακτικά, 15ο Πανελλήνιο Συνέδριο Στατιστικής*, Β' Τόμος, (σ.σ. 481-490). Ελληνικό Στατιστικό Ινστιτούτο.
- Μενεξές, Γ. (2006). *Πειραματικοί Σχεδιασμοί στην Ανάλυση Δεδομένων*. Διδακτορική Διατριβή που υποβλήθηκε στο Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Μακεδονίας. Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2006.
- Μενεξές, Γ. (2007). Μια Δομημένη Προσέγγιση στην Πολυμεταβλητή Στατιστική Ανάλυση Βιολογικών, Περιβαλλοντικών, Κοινωνικών και Οικονομικών Δεδομένων. Στο *Φυσικοί Πόροι, Περιβάλλον και Ανάπτυξη* (σσ. 519-534). Επιμέλεια: Γ. Αραμπατζής και Σ. Πολύζος. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Μιχαηλίδης, Ζ. (2005). *Βιομετρία-Γεωργικός Πειραματισμός*. Θεσσαλονίκη: ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης.
- Μπόρα-Σέντα, Ε. & Μωϋσιάδης, Χ. (1992). *Εφαρμοσμένη Στατιστική*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Περσίδης, Δ. (1997). *Εφαρμοσμένη Στατιστική στην Τεχνολογία Τροφίμων*. Θεσσαλονίκη: Εκδοτική ΟΜΗΡΟΣ.
- Φασούλας, Α. (2008). *Στοιχεία Πειραματικής Στατιστικής*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γαρταγάνη.
- Φωτιάδης, Ν. (1995). *Εισαγωγή στη Στατιστική για Βιολογικές Επιστήμες*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.