ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΥ – ΣΕΝΔΟΥΚΑ ΣΤΕΛΛΑ
Καθηγήτρια
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

******

ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ

ΒΟΛΟΣ 2002

Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι σημειώσεις αυτές αναφέρονται στο μέρος του μαθήματος «Γεωργικός Πειραματισμός» που διδάσκεται από την Καθηγήτρια Στέλλα Γαλανοπούλου - Σενδουκά στα πλαίσια της συνδιδασκαλίας του μαθήματος από τους : Καθηγητή κ. Χ. Γούλα, Καθηγήτρια κ. Στέλλα Γαλανοπούλου - Σενδουκά και Αναπλ. Καθηγητή κ. Σ. Τζώρτζιο.

Διευκρινίζεται ότι οι σημειώσεις αυτές συμπληρώνουν και δεν αντικαθιστούν το βιβλίο «Στοιχεία Πειραματικής Στατιστικής» του Απ. Κ. Φασούλα. Δόθηκε έμφαση στο να διευκρινιστούν έννοιες και στοιχεία που, με βάση τις παραδόσεις και τα αποτελέσματα των εξετάσεων, φαίνεται ότι οι φοιτητές δεν έχουν αφομοιώσει. Στο τέλος των σημειώσεων υπάρχουν αντιπροσωπευτικά θέματα και ασκήσεις που δόθηκαν σε φοιτητές του Π.Θ προηγούμενων ακαδημαϊκών ετών.

Αξιοσημείωτο βοήθημα για τη συγγραφή αυτών των σημειώσεων αποτέλεσε το εγχειρίδιο «Μερικές στοιχειώδεις στατιστικές έννοιες και μέθοδοι και η εφαρμογή τους σε απλά γεωργικά πειράματα» του αείμνηστου Θ.Α Μητακίδη που παρόλο που κυκλοφόρησε το 1963 είναι επίκαιρο και κατανοητό γιατί ο συγγραφέας αφιέρωσε με επιτυχία τη ζωή του στη θεμελίωση του Γεωργικού Πειραματισμού στα Γεωργικά Ιδρύματα Έρευνας της χώρας μας.

Βόλος, Σεπτέμβριος 1998
Στέλλα Γαλανοπούλου -Σενδουκά

ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

.... σελ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ 1

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ 7
- 1) Εύρος διασποράς 8
- 2) Τυπική απόκλιση 8
- 3) Τυπική απόκλιση του μέσου όρου 8
- 4) Συντελεστής παραλλακτικότητας 9
- 5) Τυπική απόκλιση της διαφοράς δύο μέσων όρων 9
- 6) Ελάχιστη σημαντική διαφορά 10
- 7) Όρια εμπιστοσύνης του μέσου όρου του πληθυσμού 10
- 8) Δοκιμή σημαντικότητας με βάση το t κριτήριο 11
- 9) Κανονική κατανομή - Κατανομή t 11

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΓΕΩΡΓΙΚΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟ 16

Α. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ 16
- 1) Επιλογή αγρού - Πειράματα ομοιομορφίας 18
- 2) Αριθμός και διάταξη των επαναλήψεων 20
- 3) Ομοιομορφία μέσα στην επανάληψη - Γενίκευση αποτελεσμάτων 22
- 4) Σχήμα, μέγεθος, διάταξη, τυχαιοποίηση πειραματικών τεμαχίων 22

Β. ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ - ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΥ 26
- 1) Αντικείμενο Έρευνας 26
- 2) Σχεδιασμός: Επιλογή και κατάστρωση πειραματικού σχεδίου 26
- 3) Σχέδιο αγρού - Εγκατάσταση πειράματος στον αγρό(ή σε άλλο χώρο πειρ/σμού)27
- 4) Διεξαγωγή πειραματικών εργασιών - Λήψη παρατηρήσεων 27
- 5) Επεξεργασία δεδομένων - Στατιστική ανάλυση 28
- 6) Παρουσίαση - Ερμηνεία αποτελεσμάτων 29

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ 30
Α. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ 30
    1) Πείραμα με δύο επεμβάσεις 30
    2) Πείραμα με περισσότερες από δύο επεμβάσεις 32
α) Τυχαιοποιημένες πλήρεις ομάδες τεμαχίων 32
    1. Κατάστρωση πειραματικού σχεδίου - Τυχαιοποίηση 33
    2. Σχέδιο αγρού 33
    3. Λήψη παρατηρήσεων 34
    4. Πινακοποίηση - Στατιστική ανάλυση δεδομένων 34
    5. Παρουσίαση αποτελεσμάτων 41
    6. Ελάχιστο σημαντικό εύρος κατά Duncan 42
β) Πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο 44
    1. Κατάστρωση πειραματικού σχεδίου -Τυχαιοποίησση 44
    2. Σχέδιο αγρού 45
    3. Λήψη παρατηρήσεων 45
    4. Πινακοποίηση- Στατιστική ανάλυση δεδομένων 45
    5. Παρουσίαση αποτελεσμάτων 47
γ)Λατινικό τετράγωνο 47
    1. Κατάστρωση πειραματικού σχεδίου - Τυχαιοποίηση 48
    2. Σχέδιο αγρού 50
    3. Λήψη παρατηρήσεων 50
    4. Πινακοποίηση - Στατιστική ανάλυση 50
    5. Παρουσίαση αποτελεσμάτων 52
δ) Ατελείς ομάδες 52
    1. Κατάστρωση πειραματικού σχεδίου - Τυχαιοποίηση 54
    2. Σχέδιο αγρού και Λήψη παρατηρήσεων 56
    3. Πινακοποίηση - Στατιστική ανάλυση δεδομένων 56

Β. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟΥΣ ΑΠΟ ΕΝΑΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ 61
    1) Τυχαιοποιημένες ομάδες τεμαχίων με κύρια τεμάχια και υποτεμάχια (Split- plot design) 61
    1. Αλληλεπίδραση 61
    2. Κατάστρωση πειραματικού σχεδίου - Τυχαιοποίηση 63
    3. Σχέδιο αγρού 64

4. Λήψη παρατηρήσεων 65
5. Πινακοποίηση αποτελεσμάτων 66
6. Στατιστική ανάλυση 66
7. Παρουσίαση αποτελεσμάτων 68
2) Πειράματα Παραγοντικά (Factorial) 70

Γ. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ - ΣΥΜΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ....................78
1) Απλή συσχέτιση - συμμεταβολή 78
α) Ευθύγραμμη συσχέτιση - συμμεταβολή....................79
β) Άλλες μορφές απλών συσχετίσεων - συμμεταβολών 83
2) Πολλαπλή συσχέτιση - συμμεταβολή....................84

ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΑΣΚΗΣΕΙΣ - ΘΕΜΑΤΑ....................85-94

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : Στατιστικοί Πίνακες

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. Πίνακας του t 96
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. Πίνακας του F 97-98
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ. Τυχαιοποιημένοι διψήφιοι αριθμοί 99
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ. Τιμές ε για τη δοκιμή Duncan 100
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV. Μερικά λατινικά τετράγωνα....................101

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

Τα παρακάτω στοιχεία θεωρούνται γνωστά από το μάθημα της Στατιστικής αλλά κρίνεται σκόπιμο να επαναληφθούν ορισμένες βασικές έννοιες για να γίνουν πιο κατανοητά τα επόμενα κεφάλαια.

Στη Στατιστική και τον Γεωργικό Πειραματισμό εργαζόμαστε με δείγματα και προσπαθούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για τον πληθυσμό από τον οποίο προέρχονται τα δείγματα.

Από τα δείγματα εκτιμούμε ορισμένες **μεταβλητές** (ύψος φυτών, βάρος σπόρων, κ.λ.π.).

Για τις μεταβλητές εκτιμούμε ορισμένες **παραμέτρους:**

α) Μία σειρά παραμέτρων αναφέρεται σε εκτίμηση σημείων (Point estimation).

Η συνηθέστερη παράμετρος είναι **ο μέσος όρος** που υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\boxed{\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n}}$$

β) Δεύτερη σειρά εκτιμήσεων αναφέρονται σε εκτιμήσεις σε **διάστημα** (interval estimation) ή εκτίμηση διασποράς (measure of dispersion)

Τέτοιες είναι :

1) **Εύρος διασποράς** (range of dispersion), δηλαδή το εύρος από τη μικρότερη έως τη μεγαλύτερη τιμή μιας μεταβλητής. Π.χ, αν θέλουμε να υπολογίσουμε το ύψος μιας ομάδας ανθρώπων στην οποία περιλαμβάνεται ένας παίκτης της καλαθοσφαίρισης και ένας νάνος το εύρος διασποράς θα είναι μεγάλο. Ομοίως το εύρος διασποράς του ύψους ορισμένου αριθμού τυχαίων φυτών ενός F_1 υβριδίου π.χ. ηλιάνθου είναι

μικρότερο από το εύρος διασποράς ίδιου αριθμού τυχαίων φυτών μιας ποικιλίας ηλιάνθου (λόγω της μεγαλύτερης ομοιογένειας που υπάρχει σε ένα F_1 υβρίδιο σε σχέση με μία ομοζύγωτη μεν ποικιλία αλλά ετερογενή επειδή συνήθως αποτελείται από πολλές καθαρές σειρές).

2) **Τυπική απόκλιση** (standard deviation) **s** του δείγματος ή **σ** του πληθυσμού. Φανερώνει την απόκλιση των ατομικών τιμών από τον μέσο όρο. Όσο περισσότερο διαφέρουν οι επί μέρους τιμές από τον μέσο όρο τόσο μεγαλύτερη είναι η τυπική απόκλιση (η διασπορά τους). Έτσι μπορεί δύο πληθυσμοί να έχουν ίδιο μέσο όρο και να διαφέρουν ως προς τη διασπορά των τιμών τους.

$$\boxed{s = \sqrt{\frac{(xi - \bar{x})^2}{n-1}}} \quad \text{ή} \quad \boxed{\sqrt{\frac{\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / n}{n-1}}}$$

Διαιρούμε με n -1 γιατί έχουμε υπολογίσει τον μέσο όρο των n τιμών της μεταβλητής και επομένως μπορούμε έχοντας τις n -1 τιμές και τον μέσο όρο να υπολογίσουμε την τιμή που λείπει (άρα δεν είναι ανεξάρτητη σύγκριση). Σημειώνεται ότι μπορούμε για να διευκολύνουμε τις πράξεις, να μετατρέψουμε κατά σταθερό τρόπο (κωδικοποιήσουμε) τις τιμές x (π.χ. να αφαιρέσουμε από όλες ένα σταθερό αριθμό, ή να προσθέσουμε, ή να μετατρέψουμε τις τιμές σε λογαρίθμους κ. ά.) χωρίς να επηρεαστεί η τυπική απόκλιση. Αυτό βέβαια είχε μεγαλύτερη σημασία στο παρελθόν που οι πράξεις γινόταν με το χέρι.

3) **Τυπική απόκλιση του μέσου όρου ή τυπικό σφάλμα του μέσου όρου** (Standard error).

$$\boxed{s\bar{x} = \frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Το τυπικό σφάλμα είναι επιθυμητό να είναι όσο το δυνατό πιο μικρό, γεγονός που προσεγγίζεται όσο λιγότερο διαφέρουν οι απόλυτες τιμές της μεταβλητής και όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των τιμών από τις οποίες υπολογίζεται ο μέσος όρος. Γιαυτό και επιβάλλεται να είναι τόσο μεγαλύτερο το n όσο πιο ανομοιογενής είναι ο πληθυσμός των τιμών της μεταβλητής (Η ακρίβεια διπλασιάζεται όταν τετραπλασιάζεται το n).

4) **Συντελεστής παραλλακτικότητας** (Coefficient of variance, C.V.)

$$\boxed{\mathrm{C.V} = \frac{100\sqrt{s^2}}{\bar{x}}}$$

($\bar{x}$ = μέσος όρος ή γενικός μέσος όρος)

Ο συντελεστής παραλλακτικότητας δείχνει πόσο τοις εκατό της παραλλακτικότητας του μέσου όρου οφείλεται στο πειραματικό σφάλμα, προσδιορίζει δηλαδή την ευαισθησία του πειράματος. Επιδιώκουμε να έχουμε μικρό C.V. Το «αποδεκτό» C.V εξαρτάται από τη μεταβλητή, άρα πρέπει να γνωρίζουμε το υλικό μας. Υλικό που έχει ομοιομορφία (δηλαδή έχει μεγάλο συντελεστή κληρονομικότητας και δεν επηρεάζεται πολύ από το περιβάλλον, π.χ. μήκος ίνας βαμβακιού) έχει συνήθως μικρό C.V, ενώ όταν επηρεάζεται από το περιβάλλον (π.χ απόδοση βαμβακιού) έχει μεγάλο C.V. Στη δεύτερη περίπτωση επιδιώκουμε να έχουμε μεγαλύτερο αριθμό μετρήσεων (n). Γενικώς μεγάλο C.V παρομοιάζεται με σκουριασμένη ζυγαριά που δεν μπορεί να «διακρίνει» τις μικρές διαφορές και γιαυτό πρέπει να είμαστε επιφυλακτικοί ως προς τη σημαντικότητα της διαφοράς των μέσων όρων (Μεγάλο C. V και μη σημαντικές διαφορές οδηγεί σε αμφιβολία, μεγάλο C.V και σημαντικές διαφορές οδηγεί σε «σιγουριά» ως προς τις διαφορές των μέσων όρων).

5) **Τυπική απόκλιση της διαφοράς δύο μέσων όρων** :

$$\boxed{s\bar{d} = \pm\sqrt{\frac{2s^2}{n}}}$$

Η τυπική απόκλιση της διαφοράς δύο μέσων όρων είναι πάντοτε μικρότερη από την τυπική απόκλιση των επί μέρους τιμών των δύο πληθυσμών και είναι τόσο μικρότερη όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των τιμών από τον οποίο υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι (αντιστρόφως ανάλογη με την τετραγωνική ρίζα του n).

6) **Ελάχιστη σημαντική διαφορά** (Ε.Σ.Δ.) (Least significant difference, L.S.D) μεταξύ μέσων όρων. Είναι η ελάχιστη διαφορά που πρέπει να έχουν 2 μέσοι όροι ώστε να διαφέρουν στατιστικώς σημαντικώς για ορισμένο επίπεδο αβεβαιότητας ή πιθανότητας σφάλματος. Χρησιμοποιείται και για σύγκριση περισσότερων των δύο μέσων όρων. Δίνεται από τον τύπο:

Ε.Σ.Δ.$_{.05}$= $\pm$ $t_{.05}\sqrt{\frac{2s^2}{n}} = \pm t_{.05}$ $s_{\bar{d}}$ (για πιθανότητα σφάλματος 5%).

Επιδιώκουμε να έχουμε μικρή Ε.Σ.Δ ώστε και οι μικρές διαφορές μεταξύ μέσων όρων να είναι στατιστικώς σημαντικές. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι το τελευταίο έχει πρακτική σημασία μέχρις ενός ορίου γιατί υπάρχει περίπτωση να διαφέρουν π.χ δύο ποικιλίες σιταριού ελάχιστα μεταξύ τους ως προς την απόδοση, σε βαθμό που να μην είναι ουσιαστική η διαφορά τους και όμως η διαφορά να είναι στατιστικώς σημαντική επειδή υπάρχει μεγάλη ομοιογένεια μεταξύ των τιμών του κάθε πληθυσμού ή ο αριθμός των παρατηρήσεων (n) αυξάνει απεριόριστα.

7) Όρια εμπιστοσύνης (Confidence limits) του μέσου όρου του πληθυσμού.

$\bar{x} - ts\bar{x} < \mu < \bar{x} + ts\bar{x}$ (όπου μ=0 πραγματικός μέσος όρος του πληθυσμού, και t είναι το t του πίνακα).

Είναι τα όρια στα οποία μπορεί να κυμανθεί ένας μέσος όρος που έχουμε εκτιμήσει ($\bar{x}$) για συγκεκριμένη πιθανότητα σφάλματος. Αν υπολογίσουμε ένα μέσο όρο και τα όρια εμπιστοσύνης του π.χ τη στρεμματική απόδοση μιας ποικιλίας κριθαριού και υπολογίσουμε τον μέσο όρο μιας άλλης ποικιλίας κριθαριού και η τιμή του δεύτερου μέσου όρου περιλαμβάνεται στα όρια εμπιστοσύνης του πρώτου, δεν μπορούμε να ισχυριστούμε ότι οι δύο μέσοι όροι διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

Τα όρια εμπιστοσύνης είναι τόσο ευρύτερα όσο μικραίνει η αποδεκτή πιθανότητα σφάλματος (γιατί μεγαλώνει η τιμή t του πίνακα).

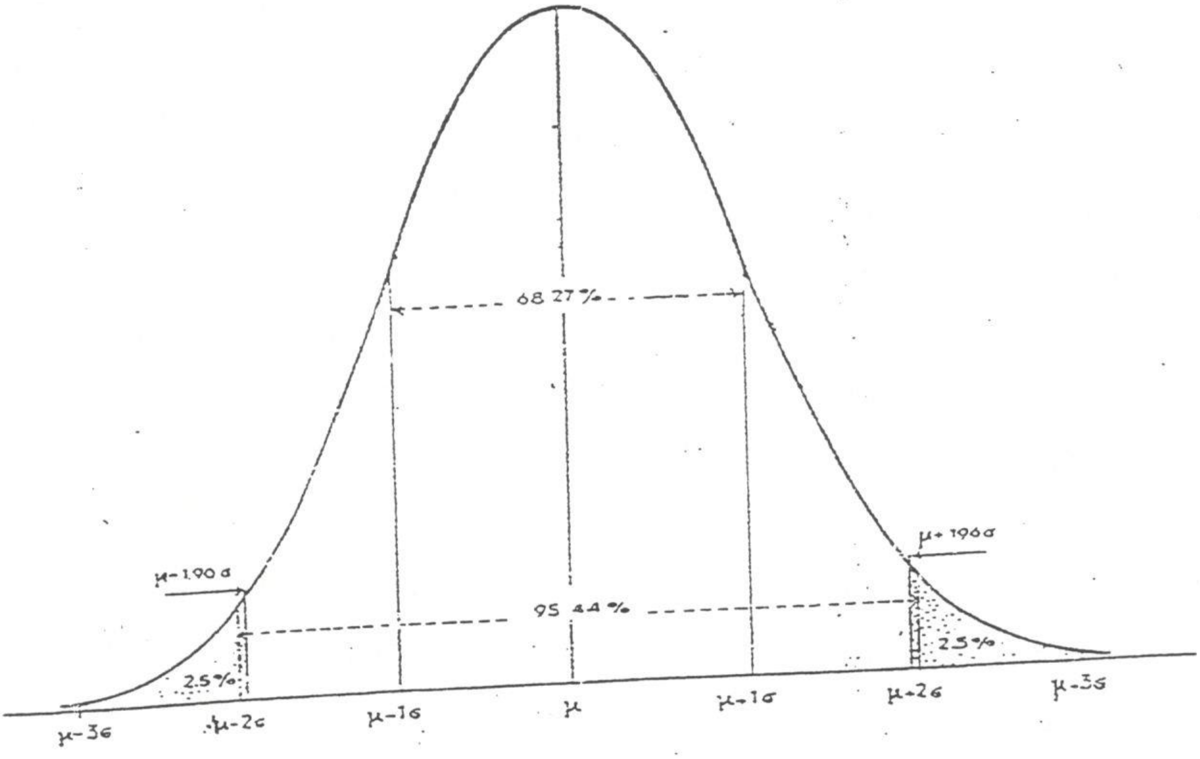
8) **Δοκιμή σημαντικότητας με βάση το t κριτήριο.**

Δοκιμή $t = \frac{\bar{x} - \mu}{s\bar{x}}$

Αν το t που υπολογίζουμε με βάση τον παραπάνω τύπο είναι μεγαλύτερο από το t του πίνακα για μία συγκεκριμένη πιθανότητα σφάλματος (π.χ 5%) απορρίπτουμε τη μηδενική υπόθεση (ότι $\bar{x}$ δεν διαφέρει από το μ) και αν είναι μικρότερο δεν απορρίπτουμε τη μηδενική υπόθεση. Όταν βέβαια λέμε ότι δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση, δεν σημαίνει ότι οπωσδήποτε έχει αποδειχθεί η ορθότητά της και ότι την αποδεχόμεθα, γιατί αν κάνουμε τη σύγκριση ακριβέστερη (και ένας τρόπος είναι να αυξήσουμε τον αριθμό των παρατηρήσεων) θα μειωθεί το $s\bar{x}$ άρα θα μεγαλώσει το t που υπολογίζουμε και αντιθέτως θα είναι μικρότερο το t του πίνακα για τη συγκεκριμένη πιθανότητα σφάλματος.

9) **Κανονική κατανομή - Κατανομή t**

Ένας πληθυσμός κυμαινόμενων τιμών (π.χ ύψος φυτών, απόδοση μιας ποικιλίας) έχει μία ορισμένη κατανομή συχνότητας. Συχνότητα είναι ο αριθμός των τιμών που περιλαμβάνονται σε μία κλάση. Μεγαλύτερη συχνότητα παρατηρείται για τις τιμές που είναι παραπλήσιες του μέσου όρου. Αν παρασταθεί γραφικώς η κατανομή αυτή με τη συχνότητα στον άξονα των τεταγμένων και τις κλάσεις στον άξονα των τετμημένων, σχηματίζεται ένα ιστόγραμμα που για απεριόριστο πληθυσμό και για ελαχιστοποιημένο εύρος των κλάσεων ταυτίζεται με μία καμπύλη που για τα γεωργικά πειράματα (και όχι μόνο) είναι η λεγόμενη κανονική καμπύλη (ή καμπύλη Gauss) και καθορίζεται από δύο παραμέτρους : τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση (μπορεί να αναπαραχθεί με βάση τις 2 παραμέτρους). Στην κανονική κατανομή μεταξύ ± 1σ εκατέρωθεν του μέσου όρου περιλαμβάνονται το 68.27% των τιμών του όλου πληθυσμού, μεταξύ ± 2σ το 95.44% του πληθυσμού και μεταξύ ± 3σ το 99.74% του πληθυσμού, δηλαδή πρακτικά ολόκληρος ο πληθυσμός. (Γιαυτό και δεν πρέπει να ανησυχούμε γιατί η καμπύλη συναντά θεωρητικά τον άξονα των Χ στο άπειρο, είναι δηλαδή ασυμπτωτική) (βλ.Σχ.1) (1)



ΣΧΗΜΑ 1. Κανονική καμπύλη με μέσο όρο μ και τυπική απόκλιση σ

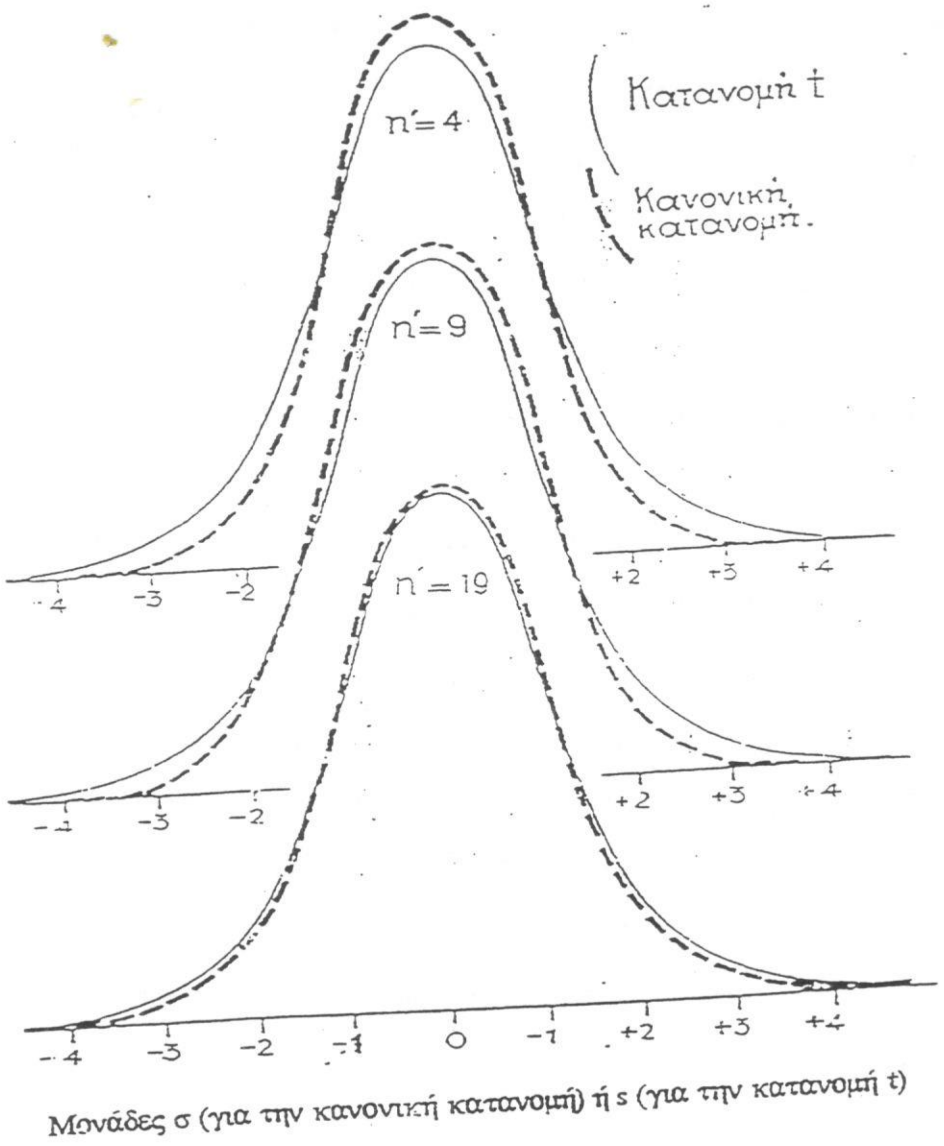
---

(1) Σημειώνεται ότι για διευκόλυνση, οι πίνακες, τα διαγράμματα, τα σχήματα και οι εικόνες που αναφέρονται στο κείμενο ακολουθούν συνολική αρίθμηση και όχι ανεξάρτητη ως προς το αν είναι πίνακες, διαγράμματα κ.ο.κ

Όταν όμως η τυπική απόκλιση (όπως και ο μέσος όρος) δεν είναι γνωστή αλλά εκτιμάται από ένα δείγμα (που όσο μικρότερο είναι τόσο μεγαλύτερη η ανασφάλεια της εκτιμήσεως) δεν πρέπει να γίνεται χρήση των πινάκων της κανονικής κατανομής αλλά της κατανομής t, γνωστής ως κατανομής του Student.

Υπενθυμίζεται ότι χάρη στην ανακάλυψη της κατανομής t το 1908 από τον Άγγλο χημικό Gosset (έγραφε με το ψευδώνυμο Student), που εργαζόταν σε γεωργικά πειράματα ποικιλιών κριθαριού σε μεγάλη ζυθοποιητική επιχείρηση, είναι δυνατό να εκτελέσουμε δοκιμή σημαντικότητας και υπολογισμό ορίων εμπιστοσύνης με μικρά δείγματα, ενώ πριν την ανακάλυψη αυτό ήταν δυνατό μόνο με μεγάλα δείγματα ($n \geq 30$). Η στατιστική μέχρι τότε ήταν η «επιστήμη των μεγάλων αριθμών» και επομένως δεν θα μπορούσε να εφαρμοσθεί στο γεωργικό πειραματισμό γιατί τα πειράματα θα απαιτούσαν πολύ κόπο και χρήματα και ίσως θα ήταν ανέφικτα από έλλειψη αρκετού πειραματικού υλικού (σπόροι κλπ). Ο Student ανεκάλυψε πώς κατανέμεται σε τυχαία δειγματοληψία από κανονικό πληθυσμό, ο λόγος t όταν το s (τυπική απόκλιση) στηρίζεται σε 1,2,3 ....n βαθμούς ελευθερίας. (Βαθμοί Ελευθερίας, Β.Ε, Degrees of freedom, D.F = ανεξάρτητες συγκρίσεις που μπορούμε να κάνουμε και ισούνται με n-1, αφαιρούμε δηλαδή 1 βαθμό γιατί ήδη υπολογίσαμε το μέσο όρο, όπως προαναφέρθηκε).

Η καμπύλη συχνότητας που παριστάνει την κατανομή t διαφέρει από την καμπύλη της κανονικής κατανομής (βλ. Σχ. 2) στο ότι είναι πιο πατημένη στην κορυφή και ανασηκωμένη στις ουρές (έχει δηλαδή συγκριτικά με την κανονική καμπύλη μεγαλύτερες συχνότητες προς τα άκρα) και πλησιάζει την κανονική όσο το n μεγαλώνει και ταυτίζεται με αυτή όταν το n θεωρητικά γίνει άπειρο και πρακτικώς όταν το n είναι μεγαλύτερο από περίπου 30. (Η τελευταία γραμμή του πίνακα t αποτελεί πίνακα του u δηλαδή της κανονικής κατανομής. Π.χ για πιθανότητα



Σχήμα 2 Κατανομή του λόγου t του Student για Β.Ε 4, 9 και 19 σε σύγκριση με την κανονική κατανομή. Όσο οι Β.Ε αυξάνουν τόσο η κατανομή συχνότητας του t πλησιάζει την κανονική κατανομή

σφάλματος 5% η τιμή αυτή είναι 1.96 που σημαίνει ότι η πιθανότητα να προκύψει μια τυχαία απόκλιση από τον μέσο όρο ίση ή μεγαλύτερη από ± 1.96 φορές την τυπική απόκλιση ή το τυπικό σφάλμα είναι 5%.) (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I).

Η κατανομή t ισχύει όταν ο αρχικός πληθυσμός είναι κανονικός. Σημειώνεται όμως ότι στη βιολογία και ειδικότερα στη γεωργία, οι πληθυσμοί με τους οποίους δουλεύουμε (π.χ αποδόσεις ποικιλιών, ύψος φυτών κλπ.) προσεγγίζουν ικανοποιητικά την κανονική κατανομή συχνότητας (Gauss - Laplace). Χάρη στην εργασία του Student ο μαθηματικός Fisher που εργαζόταν με τον γεωργικό πειραματισμό στον πρώτο γεωργικό σταθμό του κόσμου στο Rothamsted της Αγγλίας μπόρεσε από το 1923 και μετά να γενικεύσει τη θεωρία των μικρών δειγμάτων και να διαμορφώσει με τους συνεργάτες του τη σύγχρονη στατιστική μεθοδολογία και τεχνική του πειραματισμού που άρχισε να εφαρμόζεται πρώτα στη γεωργία και σήμερα έχει γενικευθεί στην έρευνα όλων των επιστημών.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΓΕΩΡΓΙΚΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟ

Α. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ

Ο γεωργικός πειραματισμός ασχολείται με τα γεωργικά πειράματα που γίνονται: στον Αγρό, στο Θερμοκήπιο και στο Εργαστήριο.

Πείραμα είναι η μελέτη για σύγκριση παραγόντων. Το πείραμα γίνεται επίσης προκειμένου να επαληθευθεί ή να απορριφθεί μία υπόθεση (π.χ το ότι μιά καινούργια ποικιλία κριθαριού είναι πιο παραγωγική, ή θέλει λιγότερο λίπασμα, νερό κλπ.).Η σύγκριση μπορεί να περιλαμβάνει πολλά χαρακτηριστικά (μεταβλητές).

Τα γεωργικά πειράματα ήταν τα πρώτα που έγιναν στην επιστημονική έρευνα και αποτέλεσαν τη χρυσή τομή μεταξύ της επιπόλαιας προσέγγισης της σύγκρισης π.χ της απόδοσης δύο ποικιλιών με τη δοκιμή μία φορά (ή έστω ελάχιστες φορές) και της υπερβολικής και μη εφεκτής λύσεως να γίνει η δοκιμή σε θεωρητικώς άπειρες περιπτώσεις (βλ. 1ο μέρος, κατανομή t).

Η σύγκριση των παραγόντων με τον γεωργικό πειραματισμό είναι εύκολη όταν:

- Οι διαφορές μεταξύ των παραγόντων είναι μεγάλες. (π.χ μακρόινες - κοντόινες ποικιλίες βαμβακιού, ανθεκτική - ευαίσθητη ποικιλία στο ψύχος).
- Το υλικό που εξετάζεται είναι πολύ ομοιόμορφο. (π.χ μήκος ίνας σε σχέση με απόδοση βαμβακιού)

- Ο χώρος που διεξάγεται το πείραμα (αγρός, θερμοκήπιο, εργαστήριο) και ο χρόνος στον οποίο επαναλαμβάνεται το πείραμα είναι πολύ ομοιόμορφος.

Όταν δεν ισχύουν οι παραπάνω προϋποθέσεις απαιτείται προσεκτικός γεωργικός πειραματισμός του οποίου οι δυσχέρειες μεγαλώνουν όσο λιγότερο ισχύουν οι παραπάνω προϋποθέσεις.

Ο γεωργικός πειραματισμός αποβλέπει στην **αντικειμενική**, **αμερόληπτη** και **αξιόπιστη** εκτίμηση των διαφορών που παρουσιάζουν οι παράγοντες που εξετάζονται.

Για να είναι αντικειμενική και αμερόληπτη η σύγκριση χρειάζεται επανάληψη και τυχαιοποίηση. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των επαναλήψεων περιορίζεται η πιθανότητα να είναι τυχαίο το αποτέλεσμα της σύγκρισης. Εξάλλου η τυχαιοποίηση περιορίζει την πιθανότητα να ευνοηθεί ή να ζημιωθεί συστηματικά ένας παράγοντας.

Για να είναι αξιόπιστη η σύγκριση πρέπει να γίνεται στατιστική ανάλυση, για προσδιορισμό του πειραματικού σφάλματος και για να δούμε ποιοί μέσοι όροι διαφέρουν ή όχι στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους. Με τη στατιστική ανάλυση προσδιορίζεται η πιθανότητα που έχει ένα αποτέλεσμα που βρέθηκε να οφείλεται σε **πειραματικό σφάλμα** και όχι στους παράγοντες που εξετάζουμε στο πείραμα.

Επειδή: 1) οι αγροί παρουσιάζουν μεγάλη παραλλακτικότητα μεταξύ τους και από θέση σε θέση (στον ίδιο αγρό, γεγονός που επαληθεύεται με πειράματα ομοιομορφίας, όπως αναφέρεται παρακάτω), 2) οι καλλιεργητικές περίοδοι δεν μοιάζουν μεταξύ τους (κλιματολογικές διαφορές) και 3) οι διαφορές μεταξύ των παραγόντων δεν είναι οφθαλμοφανείς αλλά περιορισμένες επιβάλλεται:

- Το πείραμα να επαναλαμβάνεται σε πολλούς αγρούς (πειραματικοί αγροί) αντιπροσωπευτικούς.
- Το πείραμα να επαναλαμβάνεται σε πολλά έτη.

- Ο κάθε πειραματικός να έχει περισσότερες της μιας επαναλήψεις (ο κάθε παράγοντας να επαναλαμβάνεται περισσότερες φορές) γιατί έτσι είναι απίθανο, παρά την ετερογένεια του εδάφους, ο ίδιος παράγοντας να ευνοείται ή να ζημιώνεται πάντα σε σχέση με τον μέσο όρο του αγρού. (Επειδή ισχύει και η συγγένεια των γειτονικών τεμαχίων όπως αναφέρεται παρακάτω).

-Να καθορίζεται με **τυχαιοποίηση** (κλήρο - τύχη) πού θα πέσει ο κάθε παράγοντας, ώστε σε συνδυασμό με τις επαναλήψεις να εξασφαλίζεται η αμερόληπτη συγκριτική δοκιμή των μέσων όρων των παραγόντων.

- Να γίνεται **στατιστική ανάλυση,** προκειμένου να διαπιστωθεί πόσο αξιόπιστη είναι η σύγκριση των παραγόντων, να προσδιορισθεί δηλαδή η πιθανότητα να οφείλεται σε **πειραματικό σφάλμα** το αποτέλεσμα που βρέθηκε και όχι στις διαφορές μεταξύ των παραγόντων. Με τη στατιστική ανάλυση γίνεται η δοκιμή σημαντικότητας της διαφοράς των μέσων όρων και εκτιμάται το μέγεθος της διαφοράς αυτής.

Ως προς τα γεωργικά πειράματα ιδιαίτερη σημασία έχουν τα παρακάτω σημεία:

1) Επιλογή αγρού - Πειράματα ομοιομορφίας:

Ο αγρός πρέπει να είναι κατά το δυνατό ομοιόμορφος (χωρίς ετερογένεια εδάφους) και αντιπροσωπευτικός (από πλευράς οικολογικών και καλλιεργητικών συνθηκών) ώστε τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν να έχουν γενικότερη εφαρμογή.

Την ετερογένεια του εδάφους μπορούμε να την ελέγξουμε με πειράματα ομοιομορφίας. Πείραμα ομοιομορφίας είναι η καλλιέργεια ενός αγρού (μακροσκοπικά ομοιόμορφου) με ένα συγκεκριμένο φυτό (π.χ σιτάρι), με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ομοιομορφία από κάθε άποψη (χρόνου, τρόπου, υλικού κ.ά) και ο χωρισμός του αγρού πριν τη συγκομιδή σε ένα αριθμό ίσων τεμαχίων με χωριστή συγκομιδή και ζύγιση του προϊόντος του κάθε τεμαχίου. Τα αποτελέσματα ενός τέτοιου πειράματος με 40 τεμάχια δίνονται στον Πίνακα 3 και αφορούν απόδοση σε Kg ανά στρέμμα.

Πίνακας 3 . Αποτελέσματα πειράματος ομοιομορφίας σε αγρό.

93 1	**49** 2	**89** 3	**85** 4	**63** 5	**86** 6	**62** 7	**94** 8
95 9	**63** 10	**90** 11	**91** 12	**96** 13	**82** 14	**86** 15	**76** 16
111 17	**50** 18	**95** 19	**115** 20	**68** 21	**113** 22	**119** 23	**119** 24
116 25	**115** 26	**125** 27	**107** 28	**69** 29	**74** 30	**80** 31	**75** 32
97 33	**83** 34	**111** 35	**99** 36	**101** 37	**117** 38	**79** 39	**115** 40

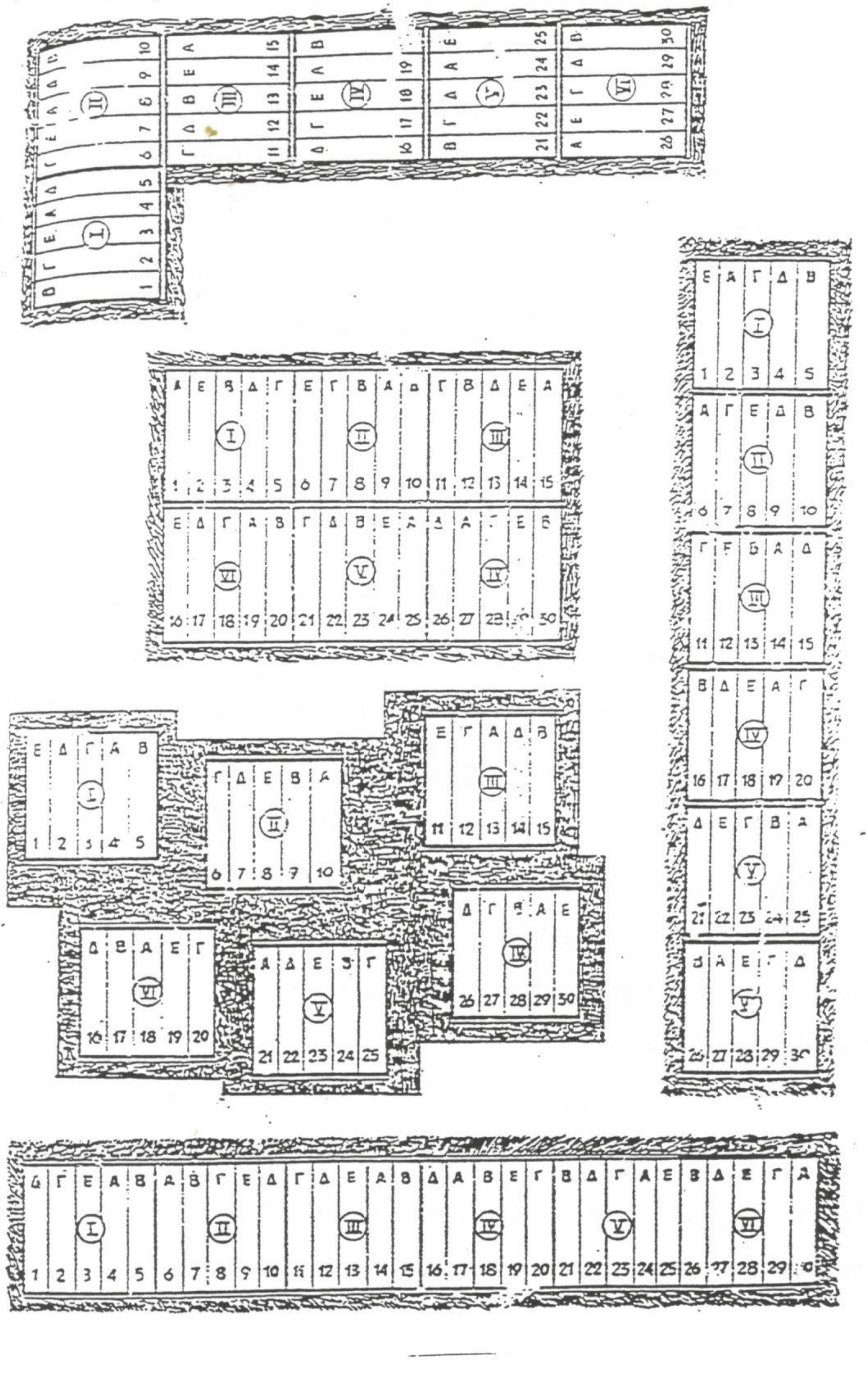
Αν υποθέσουμε ότι είχαμε διαλέξει για την δοκιμή δύο ποικιλιών, Α και Β, τα τεμάχια 27 και 35 και σπέρναμε την Α στο 27 τεμάχιο και τη Β στο 35 οι αποδόσεις τους θα ήταν αντιστοίχως 125 και 111 Kg/στρ. και επομένως θα καταλήγαμε στο λανθασμένο συμπέρασμα ότι η Α ποικιλία είναι καλύτερη από την Β ενώ και οι δύο είναι ισοδύναμες ως προς την απόδοση. Επίσης αν στο 35 τεμάχιο βάλουμε λίπασμα που δίνει πραγματική αύξηση αποδόσεων 12 Kg/στρ. και στο 27 δεν χρησιμοποιήσουμε λίπανση τότε θα οδηγηθούμε στο λανθασμένο συμπέρασμα ότι η λίπανση (που θα δώσει 123Kg/στρ.) κάνει ζημιά και μειώνει την απόδοση κατά 2Kg/στρ. Πρέπει να σημειωθεί ακόμη ότι εάν επαναλάβουμε το πείραμα ομοιομορφίας το επόμενο ή κάποιο άλλο έτος είναι πολύ πιθανό να είναι τελείως διαφορετική η κατάταξη των τεμαχίων ως προς την απόδοση.

2) **Αριθμός και διάταξη των επαναλήψεων.**

Ο αριθμός των επαναλήψεων εξαρτάται από την ακρίβεια που επιδιώκεται να έχουν τα αποτελέσματα, από την ευαισθησία του πειράματος, (βλέπε C.V), από οικονομικούς λόγους και από την ομοιομορφία του υλικού.

Μεγάλος αριθμός επαναλήψεων απαιτείται: όταν οι διαφορές που παρουσιάζουν οι συγκρινόμενοι παράγοντες είναι μικρές, όταν το υλικό που μελετάται είναι ανομοιόμορφο (π.χ σπόρος ποικιλιών), όταν η μεταβλητή που θέλουμε να προσδιορίσουμε παρουσιάζει μεγάλη παραλλακτικότητα και επηρεάζεται από το περιβάλλον (π.χ η απόδοση των ποικιλιών βαμβακιού σε αντίθεση με το μήκος της ίνας του βαμβακιού) και όταν ο αριθμός των παραγόντων που συγκρίνονται (π.χ. ποικιλίες) είναι μικρός. Ως προς το τελευταίο σημείο σημειώνεται ότι : όσο μικρότερος είναι ο αριθμός των παραγόντων τόσο μεγαλύτερος απαιτείται να είναι ο αριθμός των επαναλήψεων με στόχο οι βαθμοί ελευθερίας του σφάλματος να είνα τουλάχιστον 12 (κατ' άλλους 18).

Η διάταξη των επαναλήψεων μπορεί να είναι διάφορη (βλ. Σχήμα 4). Αν το εμβαδόν του πειράματος είναι μικρό σε σχέση με το σύνολο του αγρού τότε, για πρακτικούς λόγους, είναι προτιμότερο οι επαναλήψεις να μπαίνουν η μία κάτω από την άλλη ώστε το πείραμα να καταλαμβάνει μια στενή λωρίδα του αγρού (το υπόλοιπο του οποίου μπορεί να καλλιεργηθεί με την κοινή καλλιεργητική τεχνική). Οι επαναλήψεις μπορεί να είναι απομακρυσμένες, ακόμη και σε άλλα χωράφια. Μπορεί επίσης να είναι διαφορετικό το μέγεθος των τεμαχίων μιας επανάληψης από μιας άλλης. Ποτέ επίσης δεν μπορεί να «σπάσει» μια επανάληψη στον αγρό. Η επανάληψη πρέπει να είναι κατά το δυνατό τετραγωνισμένη και να είναι μικρή (μικρές διαστάσεις) ώστε τα τεμάχια να μην είναι απομακρυσμένα και να δέχονται ομοιόμορφα τις επιδράσεις του περιβάλλοντος.



Σχήμα 4. Διάφορες δυνατές διατάξεις (6) επαναλήψεων στον αγρό (Ρωμαϊκοί αριθμοί = επαναλήψεις, Αραβικά ψηφία = αριθμοί πειραματικών τεμαχίων, Γράμματα = Επεμβάσεις).

3) **Ομοιομορφία μέσα στην επανάληψη-Γενίκευση αποτελεσμάτων.**

Βασική επιδίωξη είναι να υπάρχει μεγάλη ομοιομορφία μέσα στην επανάληψη, ώστε να ελέγχονται με ακρίβεια οι διαφορές μεταξύ των τεμαχίων εντός της επαναλήψεως δηλαδή μεταξύ των παραγόντων του πειράματος. Μεταξύ των επαναλήψεων δεν είναι απαραίτητη η ομοιομορφία γιατί με την ανάλυση παραλλακτικότητας αφαιρείται αυτή που οφείλεται στις επαναλήψεις. Υπογραμμίζεται ότι πρέπει να υπάρχει απόλυτη ομοιομορφία στην εκτέλεση των εργασιών μέσα στην κάθε επανάληψη (π.χ. στην προετοιμασία του αγρού, στη σπορά, στις καλλιεργητικές εργασίες, στη λήψη παρατηρήσεων, στην εκτίμηση των μεταβλητών κ.ά.).

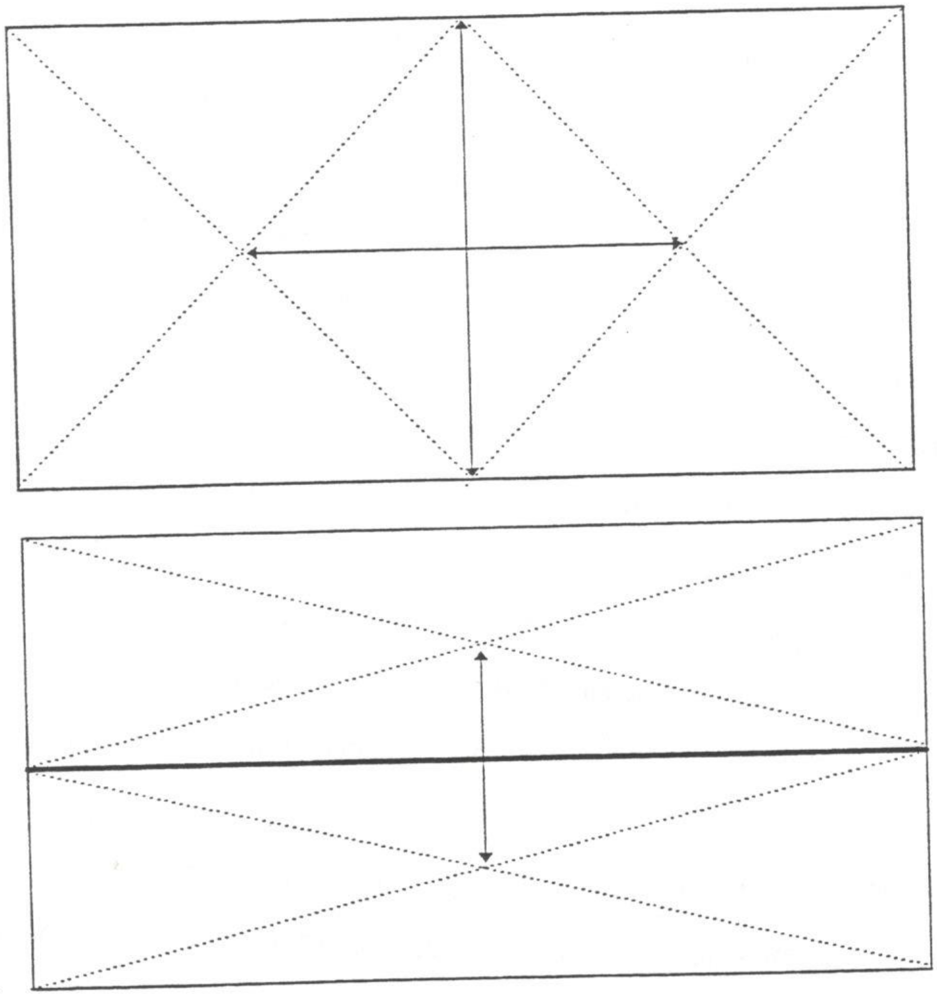
Για τον λόγο αυτό ποτέ δε διακόπτεται μια εργασία πριν τελειώσει η επανάληψη π.χ. η σπορά, η συγκομιδή, η άρδευση, το σκάλισμα, ο ψεκασμός, η λήψη παρατηρήσεων κ.ά. Η ανάλυση επίσης των δειγμάτων π.χ μέτρηση φυλλικής επιφάνειας, αριθμού καρποφόρων οργάνων, ζύγιση κλπ. πρέπει να γίνεται κατά επανάληψη (χωρίς να είναι απαραίτητο να αρχίζουμε από την πρώτη επανάληψη) ώστε να μην επιδρά διαφορετικά ο χρόνος που μεσολαβεί καθώς και άλλοι παράγοντες (π.χ να μαραίνονται τα φύλλα και να επηρεάζεται η εκτίμηση της φυλλικής επιφάνειας).

Προσοχή επίσης χρειάζεται στη γενίκευση των συμπερασμάτων. Εάν π.χ. σε ένα πειραματικό οι μισές επαναλήψεις είναι ξηρικές και οι μισές ποτιστικές δεν πρέπει να βγει μέσος όρος γιατί αυτός δεν θα ανταποκρίνεται σε πραγματικές καταστάσεις που απαντώνται στην κοινή καλλιέργεια.

4) Σχήμα, μέγεθος, διάταξη, τυχαιοποίηση πειραματικών τεμαχίων.

Πειραματικό τεμάχιο είναι ο χώρος που καταλαμβάνει ο κάθε παράγοντας σε μία επανάληψη.

Σχήμα. Τα πειραματικά τεμάχια πρέπει να έχουν σχήμα ορθογώνιο, στενό και επίμηκες και να εφάπτονται κατά μήκος ώστε το κέντρο βάρους τους να είναι πλησιέστερα και έτσι να είναι περισσότερο όμοια μεταξύ τους, όπως απέδειξε η πρωτοπορειακή εργασία του αείμνηστου καθηγητή Χριστίδη (βλ. Σχήμα 5).



Σχήμα 5. Τετράγωνα και ορθογώνια ζεύγη τεμαχίων του αυτού εμβαδού. Τα επιμήκη τεμάχια είναι, κατά γενικό κανόνα πιο όμοια μεταξύ τους από ότι τα τετράγωνα γιατί η απόσταση των «κέντρων βάρους» τους είναι μικρότερη.

Μέγεθος. Τα πειραματικά τεμάχια δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλα, γιατί χάνεται το πλεονέκτημα της γειτνίασης μεταξύ τους που εξασφαλίζει μεγαλύτερη ομοιότητα, ούτε μικρά ώστε να μην είναι αντιπροσωπευτικά ή μια λανθασμένη μέτρηση να αλλοιώνει το αποτέλεσμα (π.χ λανθασμένη ζύγιση της απόδοσης κατά μία ορισμένη ποσότητα έχει μεγαλύτερη επίπτωση στο μικρό σε σχέση με το μεγάλο δείγμα). Τα μικρά επίσης τεμάχια δέχονται μεγαλύτερη επίδραση του περιθωρίου (border effect) σε σχέση με τα μεγαλύτερα.

Οι διαστάσεις καθορίζονται επίσης: 1) από την **καλλιέργεια** (φυτό) που εξετάζεται (οι σκαλιστικές καλλιέργειες απαιτούν μεγάλα τεμάχια γιατί έχουν αραιό πληθυσμό φυτών), 2) από τον **παράγοντα** που μελετάται (π.χ η άρδευση, η λίπανση απαιτούν μεγάλα τεμάχια γιατί η επίδρασή τους επεκτείνεται και στα άλλα τεμάχια ώστε μεταξύ τεμαχίων πρέπει να υπάρχουν περιθωριακές γραμμές που θα εξομαλύνουν την επίδραση του περιθωρίου - border effect - ενώ οι μετρήσεις θα γίνονται στο κεντρικό τμήμα του τεμαχίου δηλαδή στις πειραματικές γραμμές. Το μέγεθος των τεμαχίων μπορεί να είναι διάφορο από επανάληψη σε επανάληψη και να γίνεται ανάλογη αναγωγή των αποτελεσμάτων, 3) από το **στάδιο του πειραματισμού**, αναλόγως και της ποσότητας σπόρου που διαθέτει ο ερευνητής (μικροπειράματα, μεγαλοπειράματα, δοκιμαστικοί αγροί).

Διάταξη. Τα πειραματικά τεμάχια πρέπει να τοποθετούνται παράλληλα με την τυχόν κλίση ή τη μεταβολή της γονιμότητας του αγρού και κάθετα προς κάποιον άλλον παράγοντα π.χ αυλάκι του αγρού, ώστε να υπάρχει η ίδια επίδραση σε όλα τα πειραματικά τεμάχια.

Τυχαιοποίηση - Συγγένεια γειτονικών τεμαχίων. Η τυχαιοποίηση των τεμαχίων γίνεται για κάθε επανάληψη χωριστά (όπου υπάρχουν επαναλήψεις). Η τυχαιοποίηση δεν πρέπει να είναι ακανόνιστη και άτακτη γιατί μπορεί να οδηγήσει σε μεροληψία υπέρ ή σε βάρος ενός παράγοντα. Η τυχαιοποίηση μπορεί να γίνει με κέρμα (όταν οι παράγοντες είναι 2), με ζάρι (όταν είναι μέχρι 6), με τράπουλα (όταν είναι μέχρι 13)και κυρίως με στατιστικούς πίνακες (βλ.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΙΙ). Η τυχαιοποίηση επιβάλλεται και για να μην είναι δίπλα - δίπλα πάντοτε το ίδιο ζεύγος μεταχειρίσεων και γίνει μεν με μεγαλύτερη ακρίβεια η σύγκριση μεταξύ αυτών των 2 μεταχειρίσεων αλλά με μικρότερη ακρίβεια αυτών με τις άλλες απομακρυσμένες μεταχειρίσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί ισχύει η συγγένεια των γειτονικών τεμαχίων. Πράγματι, σε πειράματα εαρινού και χειμερινού τύπου σταριού και βρώμης οι Hayes και Garber βρήκαν το 1927 ότι οι συντελεστές συσχέτισης των αποδόσεων διαφορετικών τεμαχίων ήταν μεγαλύτεροι (και θετικοί) όσο πιο γειτονικά ήταν τα ζεύγη των συσχετίσεων (βλ. Πίνακα 6).

Πίνακας 6. Συντελεστές συσχέτισης της ικανότητας παραγωγής % που υπολόγισαν οι Hayes και Garber (1927).

Απόσταση τεμαχίων	Συντελεστές συσχέτισης		
	Σιτάρι		Βρώμη
	εαρινός τύπος	χειμερινός τύπος	
Γειτονικά τεμάχια	.618±.023	.552±.068	.572±.025
Χωρισμένα με 1 τεμάχιο	.518±.028	.293±.028	.490±.029
« « « 2 τεμάχια	.454±.030		.407±.034
« « « 3 τεμάχια	.383±.034		.412±.035
« « « 4 τεμάχια	.449±.034	- .114± .118	.264±.041
« « « 10 τεμάχια	.429±.060		.275±.057

Β. ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ - ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΥ.

1) **Αντικείμενο Έρευνας.**

Πρωταρχική σημασία αλλά και πρωτοτυπία για την παραγωγή της έρευνας έχει η σύλληψη της ιδέας για το αντικείμενο που πρέπει να διερευνηθεί δηλαδή για τον **παράγοντα** (ή παράγοντες) του πειράματος, π.χ «Επίδραση **όζοντος** (= παράγοντας) στην αύξηση και ανάπτυξη του βαμβακιού» καθώς και ο τρόπος με τον οποίο : α) θα μελετηθεί (πόσα επίπεδα όζοντος και πώς θα τροποποιηθούν) και β) θα προσδιορισθεί η επίδραση του παράγοντα (δηλαδή σε ποιές μεταβλητές του βαμβακιού θα μελετήσουμε την επίδραση του παράγοντα, π.χ απόδοση, πρωιμότητα, φυλλική επιφάνεια, ποιοτικά χαρακτηριστικά ίνας κ.ά.).

Ο προσδιορισμός του ερευνητικού αντικειμένου είναι αρμοδιότητα και ευθύνη του Ερευνητού και η ανάλυσή του ξεφεύγει από τα όρια αυτών των Σημειώσεων.

Τα στάδια (φάσεις) της κατάστρωσης και διαξαγωγής ενός πειράματος είναι τα παρακάτω. Σημειώνεται ότι ειδικότερη αναφορά των σταδίων αυτών θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο με την εφαρμογή των πειραματικών σχεδίων.

2) **Σχεδιασμός: Επιλογή και κατάστρωση πειραματικού σχεδίου.**

Η επιλογή του κατάλληλου πειραματικού σχεδίου εξαρτάται από τον αριθμό και το είδος των παραγόντων που έχουμε να μελετήσουμε (π.χ πείραμα ποικιλιών = ένας παράγοντας, συμπεριφορά ποικιλιών σε δύο εποχές σποράς = δύο παράγοντες), από τον αριθμό και το είδος των μεταχειρίσεων του κάθε παράγοντα (π.χ 25 ποικιλίες στο πείραμα ποικιλιών, 6 ποικιλίες και δύο εποχές σποράς στο πείραμα ποικιλιών Χ εποχών) καθώς και από τους περιορισμούς και τις δυνατότητες του κάθε

Τι είναι σχέδιο πειράματος
σχέδιο στο χωράφι
σχέδιο παρατηρήσεων

σχεδίου. Έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοσθεί πολλά πειραματικά σχέδια. Γιατα ευρέως χρησιμοποιούμενα σχέδια θα γίνει αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο.

Η προετοιμασία του **πειραματικού σχεδίου** περιλαμβάνει την τυχαιοποίηση των παραγόντων στα πειραματικά τεμάχια με βάση τις αρχές που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το ίδιο πειραματικό σχέδιο μπορεί να εφαρμοσθεί σε πολλούς πειραματικούς αγρούς.

3) Σχέδιο αγρού - Εγκατάσταση πειράματος στον αγρό (ή σε άλλο χώρο πειραματισμού).

Το σχέδιο του αγρού περιλαμβάνει: τον καθορισμό των πειραματικών τεμαχίων (αριθμός γραμμών ανά πειραματικό τεμάχιο, διαστάσεις πειραματικών τεμαχίων κ.ά.), διάταξη επαναλήψεων και πειραματικών τεμαχίων στον συγκεκριμένο αγρό και αρίθμηση των πειραματικών τεμαχίων στον αγρό.

Η προετοιμασία του αγρού και η εγκατάσταση του πειράματος γίνεται με όλες τις απαραίτητες φροντίδες. Η χάραξη του πειράματος στον αγρό γίνεται με βάση το συγκεκριμένο πειραματικό σχέδιο και αρκεί η αρίθμηση και η επισήμανση (με πασσαλάκια κλπ.) των πειραματικών τεμαχίων χωρίς να είναι απαραίτητο να αναγράφεται στην επισήμανση (πέραν του αριθμού) το είδος της μεταχείρισης που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο τεμάχιο, (τουναντίον είναι καλύτερα να μη γνωρίζει τις μεταχειρίσεις αυτός που θα πάρει κάποια παρατήρηση ώστε οι παρατηρήσεις να είναι αμερόληπτες).

4) Διεξαγωγή πειραματικών εργασιών - Λήψη παρατηρήσεων.

Η διεξαγωγή των πειραματικών εργασιών περιλαμβάνει την εφαρμογή των μεταχειρίσεων του πειράματος στον αγρό (π.χ εφαρμογή επιπέδων αζωτούχου λίπανσης, εφαρμογή επιπέδων άρδευσης, εφαρμογή δόσεων ορμονικών σκευασμάτων κ.ο.κ.)

Η καταγραφή των παρατηρήσεων γίνεται στο βιβλίο (μπλόκ, τετράδιο, κλπ.) των παρατηρήσεων όπου υπάρχει η αρίθμηση των τεμαχίων χωρίς τη διάταξή τους στον αγρό ή την τυχαιοποίηση των μεταχειρίσεων σε αυτά.

5) Επεξεργασία δεδομένων - Στατιστική ανάλυση.

Μερικές φορές απαιτείται μετατροπή των δεδομένων των παρατηρήσεων όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στη συνέχεια τα πειραματικά στοιχεία της κάθε παρατήρησης μιας συγκεκριμένης μεταβλητής (π.χ ύψος φυτών στην ανθοφορία, αριθμός αδελφιών σιταριού, κλπ.) πινακοποιούνται με βάση το πειραματικό σχέδιο σε χωριστό πίνακα προκειμένου να γίνει η στατιστική ανάλυση. Αν έχουν ληφθεί περισσότερες από μία μετρήσεις ανά πειραματικό τεμάχιο (π.χ μετρήθηκαν δέκα φυτά στο τεμάχιο για την εκτίμηση του ύψους) πινακοποιείται ο μέσος όρος. Για την μεταφορά των στοιχείων από το βιβλίο παρατηρήσεων στον αντίστοιχο πίνακα, αναγράφεται πλέον στο βιβλίο παρατηρήσεων η συγκεκριμένη μεταχείριση που αντιστοιχεί σε κάθε τεμάχιο (ισχύει για όλες τις παρατηρήσεις που έχουν καταγραφεί στις στήλες του βιβλίου). Στον πίνακα οι μεταχειρίσεις αναφέρονται με τη σειρά και όχι τυχαιοποιημένες όπως στο σχέδιο του πειράματος (π.χ οι ποικιλίες με τη σειρά όπως τις έχουμε αριθμήσει). Η μεταφορά των στοιχείων από το βιβλίο στον πίνακα γίνεται με το λεγόμενο «ψάρεμα» όπου το στοιχείο του βιβλίου αναλόγως της μεταχείρισης στην οποία αντιστοιχεί αναγράφεται στην κατάλληλη θέση του πίνακα. Ο πίνακας που χρησιμοποιείται για τα στοιχεία μιας μεταβλητής έχει την ίδια διάταξη για όλες τις μεταβλητές του πειράματος, είναι δηλαδή πανομοιότυπος.

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων της κάθε μεταβλητής που έχει εξετασθεί στο πείραμα γίνεται κατά τρόπο που εξαρτάται από το πειραματικό σχέδιο και αναπτύσσεται στο επόμενο κεφάλαιο.

6) **Παρουσίαση - Ερμηνεία αποτελεσμάτων**.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε μία ερευνητική εργασία γίνεται σε πίνακες, διαγράμματα, εικόνες κλπ με κριτήριο να είναι εύληπτα και κατανοητά. Συνήθως παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων του παράγοντα εφόσον υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η παράθεση των μέσων όρων μπορεί να γίνει κατά φθίνουσα ή αύξουσα σειρά των τιμών της συγκεκριμένης μεταβλητής και στη συνέχεια αναγράφεται η Ε.Σ.Δ (για συγκεκριμένη πιθανότητα σφάλματος) και το C.V. Κατά κανόνα επίσης οι τιμές των μεταβλητών που αναφέρονται σε ποσοτικά χαρακτηριστικά (π.χ αποδόσεις, αριθμός φυτών, αριθμός καρυδιών) και είναι εκπεφρασμένες ανά πειραματικό τεμάχιο ανάγονται σε μονάδα επιφάνειας εδάφους (π.χ. στρέμμα ή τετραγωνικό μέτρο). Σημειώνεται ότι αν έγινε κωδικοποίηση ή μετατροπή δεδομένων για τη στατιστική ανάλυση πρέπει, προκειμένου να γίνει η παρουσίαση των δεδομένων, να γίνει η αποκωδικοποίηση ή η αντίστροφη μετατροπή τόσο των μέσων όρων όσο και της Ε.Σ.Δ.

Ιδιαίτερη σημασία και προσοχή πρέπει να δίνεται στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Για να γίνει αυτό πρέπει ο ερευνητής να γνωρίζει το υλικό του, να γνωρίζει την παραλλακτικότητά του κ.ά. ώστε να μπορεί «να δει πίσω από τους αριθμούς την πραγματικότητα» ώστε και λάθη να ελέγξει (ακόμη και με Η/Υ λόγω λανθασμένης τροφοδοσίας των στοιχείων) αλλά και να αποφύγει παραπλανητική εξαγωγή συμπερασμάτων.

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ

Στα πλαίσια των σημειώσεων αυτών δεν περιλαμβάνεται η ανάπτυξη της στατιστικής θεωρίας αλλά θα εκτεθεί ο τρόπος εκτέλεσης των απαιτούμενων αριθμητικών υπολογισμών αναλόγως του εφαρμοζόμενου πειραματικού σχεδίου.

Α. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ

Είναι τα συνηθέστερα πειράματα στον γεωργικό πειραματισμό. Διευκρινίζεται ότι ο παράγοντας είναι ένας, π.χ ποικιλίες σιταριού ή σιτηρέσια ζώων κλπ. αλλά ο αριθμός των μεταχειρίσεων που θέλουμε να συγκρίνουμε είναι περισσότερες από μία, π.χ δέκα ποικιλίες σιταριού, ή δύο σιτηρέσια.

1) **Πείραμα με δύο επεμβάσεις**.

Είναι η απλούστερη και ίσως η συνηθέστερη περίπτωση στις Γεωργικές Εφαρμογές όπου μας ενδιαφέρει να συγκρίνουμε εάν μία μεταχείριση, π.χ μία νέα ποικιλία, είναι καλύτερη από μία άλλη ποικιλία.Ως προς την κατάστρωση, διεξαγωγή και στατιστική ανάλυση ενός τέτοιου πειράματος ισχύουν όσα αναφέρονται παρακάτω για το σχέδιο με «πλήρεις τυχαιοποιημένες ομάδες» όπου ο αριθμός των μεταχειρίσεων μπορεί να είναι περισσότερες από δύο.Η σύγκριση όμως της διαφοράς των μέσων όρων των δύο μεταχειρίσεων μπορεί να γίνει και με t κριτήριο όπως αναφέρεται και στο πρώτο κεφάλαιο. Εάν το t που υπολογίζουμε είναι μεγαλύτερο από το t του πίνακα, για συγκεκριμένη πιθανότητα σφάλματος, τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι δύο μέσοι όροι διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά

Με βάση τα όσα αναφέρονται στο πρώτο κεφάλαιο:

$$t = \frac{\overline{x}}{s\overline{x}} = \frac{\overline{x}}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{\overline{x}\sqrt{n}}{\sqrt{\frac{\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / n}{n-1}}} = \boxed{\frac{\overline{x}\sqrt{n(n-1)}}{\sqrt{\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / n}}}$$

όπου : $\overline{x}$ = μέσος όρος των διαφορών μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων.

$s\overline{x}$ = τυπικό σφάλμα του μέσου όρου των διαφορών των 2 μεταχειρίσεων.

s = τυπική απόκλιση των διαφορών μεταξύ των 2 μεταχειρίσεων.

Παρακάτω δίνεται ένα **παράδειγμα.**

Σε ένα χοιροτροφείο δοκιμάστηκαν δύο σιτηρέσια Α και Β. Για το σκοπό αυτό επιλέχτηκαν 12 ζεύγη, αντιπροσωπευτικά του συνολικού πληθυσμού. Έτσι τα ζώα του κάθε ζευγαριού ήταν του ίδιου φύλου, του ίδιου τοκετού, είχαν κατά την έναρξη του πειράματος κατά το δυνατό το ίδιο βάρος και γενικώς είχαν τις ελάχιστες διαφορές μεταξύ τους. Επίσης το ποιο από τα δύο ζώα του κάθε ζευγαριού θα έπαιρνε το Α ή το Β σιτηρέσιο καθορίστηκε στην τύχη. Η αύξηση του ζώντος βάρους σε Kg, ύστερα από μία συγκεκριμένη περίοδο, ήταν η παρακάτω.

Ζεύγος χοίρων	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Σιτηρέσιο Α.	31	29	26	32	35	38	34	30	29	32	31	34
Σιτηρέσιο Β.	26	28	29	30	29	32	26	31	29	32	28	24
Διαφορά Α-Β.	5	1	-3	2	6	6	8	-1	0	0	3	10

2 2,4 2,2 2,4
3 3,4 3,3 3,3
-1 -1 -1,1 -0,9

$\frac{-4}{4} = \boxed{-1}$

Υπολογίζουμε:

Μέση διαφορά ($\bar{x}$) = (5+1-3-------+10)/12 =37/12 =3.08 υπέρ του σιτηρεσίου Α.

$\Sigma\chi^2 = 5^2 + 1^2 +$ ------------$10^2 = 285$

$\frac{(\Sigma X)^2}{n} = \frac{37^2}{12}$ = 171

$$t = \frac{3.08\sqrt{12x11}}{\sqrt{285-171}} = 2.71$$

Ανατρέχοντες στον πίνακα του t (ΠΙ), για Β.Ε = 11 και p = 5% βρίσκουμε την τιμή 2.20. Συμπεραίνουμε επομένως ότι το σιτηρέσιο Α είναι πράγματι καλύτερο από το Β γιατί μία μέση διαφορά της αύξησης του βάρους ίση με 3.08 kg δεν μπορεί να προκύψει από παρόμοιο πειραματικό υλικό, παρά μόνο με πιθανότητα μικρότερη από 5%.

2) **Πείραμα με περισσότερες από δύο επεμβάσεις.**

RCB

α) **Τυχαιοποιημένες πλήρεις ομάδες τεμαχίων (Randomized complete Blocks - RCB).**

Το σχέδιο χρησιμοποιείται όταν πρόκειται να συγκριθούν περισσότερες από δύο επεμβάσεις (αλλά και δύο) και αποφασίζουμε να συγκροτήσουμε ομάδες (επαναλήψεις) γιατί έτσι μπορούμε να αφαιρέσουμε από το πειραματικό σφάλμα ένα μεγάλο ποσοστό της παραλλακτικότητας. Π.χ όταν η γονιμότητα ή η κλίση του εδάφους μεταβάλλεται προς μία κατεύθυνση, τότε βάζοντας τις επαναλήψεις καθέτως προς την κατεύθυνση αυτή και τα πειραματικά τεμάχια παράλληλα, εξασφαλίζουμε ομοιομορφία στην επανάληψη ενώ ένα μεγάλο ποσοστό της παραλλακτικότητας του αγρού την απορροφούν οι διαφορές που παρουσιάζουν οι επαναλήψεις μεταξύ τους και η οποία μας είναι αδιάφορη.

Σημειώνεται ότι σε ένα τέτοιο πειραματικό σχέδιο, κάθε επανάληψη περιλαμβάνει τόσα πειραματικά τεμάχια όσες είναι και οι μεταχειρίσεις του παράγοντα που εξετάζουμε.

Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα κατάστρωσης, διεξαγωγής και επεξεργασίας δεδομένων ενός τέτοιου πειράματος.

Παράδειγμα: Έστω ότι θέλουμε να μελετήσουμε 6 ποικιλίες σιταριού σε 6 επαναλήψεις. Οι διαστάσεις του κάθε τεμαχίου είναι 10m x 10m = $100m^2$.

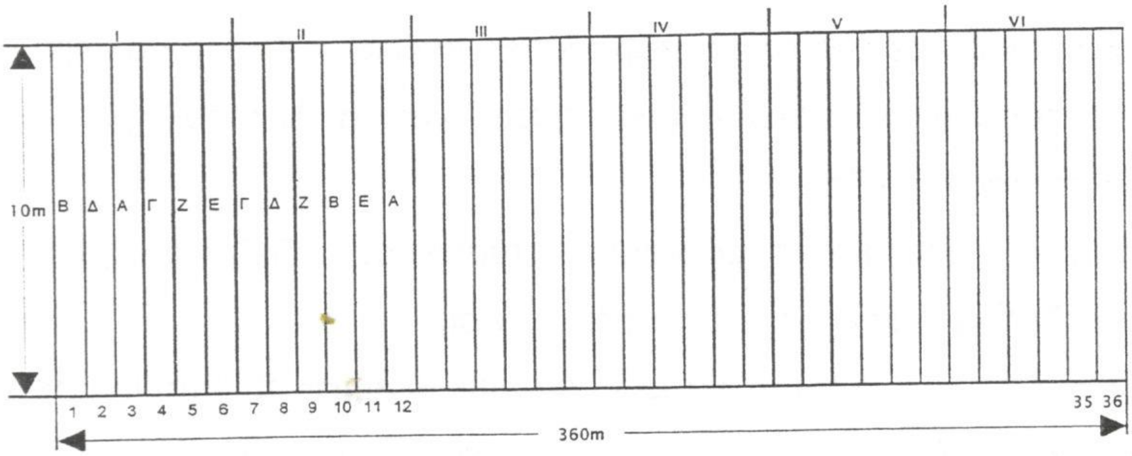
Πειραματικά τεμάχια :6 ποικιλίες x 6 επαναλήψει = 36 πειραματικά τεμάχια.

1. **Κατάστρωση πειραματικού σχεδίου - Τυχαιοποίηση:** Σχεδιάζομε σε χαρτί τα 36 τεμάχια λαμβάνοντας υπόψη ότι οι επαναλήψεις είναι 6 (I, II, —VI) και σε κάθε επανάληψη χωριστά τυχαιοποιούμε τις 6 ποικιλίες (Α, Β, Γ, - - Ζ).

I	II	III	IV	V	VI
1 Β	7 Γ	13 Δ	19 Β	25 Γ	31 Α
2 Δ	8 Δ	14 Β	20 Α	26 Δ	32 Δ
3 Α	9 Ζ	15 Γ	21 Ε	27 Β	33 Γ
4 Γ	10 Β	16 Ζ	22 Γ	28 Α	34 Ζ
5 Ζ	11 Ε	17 Ε	23 Δ	29 Ε	35 Β
6 Ε	12 Α	18 Α	24 Ζ	30 Ζ	36 Ε

2. **Σχέδιο αγρού:** Γίνεται χάραξη και επισήμανση των 36 τεμαχίων συνολικής έκτασης: 36 τεμ. x$100m^2$ = 3,6στρ. (Σημειώνεται ότι ο συγκεκριμένος πειραματικός αγρός έχει ένα μειονέκτημα ότι δεν είναι τετραγωνισμένη η επανάληψη αφού έχει διαστάσεις: μήκος 10m και πλάτος 10m x 6 ποικιλίες = 60m).

Μία πιθανή διάταξη των επαναλήψεων είναι να μπει η μία δίπλα στην άλλη και επομένως να έχουμε το παρακάτω Σχέδιο αγρού.



Εάν ο πειραματικός εγκαθίσταται σε περισσότερες από μία λωρίδες τότε καλό είναι (για να διευκολύνεται η λήψη παρατηρήσεων) να αρχίζει η αρίθμηση από την αρχή της πρώτης λωρίδας, να συνεχίζεται στην επόμενη από την πλευρά που τελειώνει η πρώτη κ.ο.κ (δηλαδή ζικ - ζακ). Με βάση το συγκεκριμένο σχέδιο αγρού (που έχει την ίδια τυχαιοποίηση με το πειραματικό σχέδιο) γίνονται όλες οι απαραίτητες εργασίες (π.χ στη σπορά τα τεμάχια 1, 10, 14, 19, 27 και 35 σπέρνονται με την ποικιλία Β κ.ο.κ).

3. **Λήψη παρατηρήσεων**. Έστω ότι πήραμε τις εξής παρατηρήσεις κατά τεμάχιο: Βάρος σπόρου, τελικό ύψος φυτών κλπ. Καταγράφουμε τις παρατηρήσεις στο βιβλίο παρατηρήσεων, όπως παρακάτω.

	Τεμάχια	Βάρος σπόρου ανά 100m^2	Ύψος φυτών cm	
B	1	22.0		
Δ	2	21.0		
I A	3	20.0		
Γ	4	19.5		
Z	5	14.5		
E	6	25.0		
Γ	7	11.0		
Δ	8	22.0		
II Z	9	15.0		
B	10	21.0		
E	11	27.0		
A	12	15.0		
	.			
	.			
	.			
VI	36	22.0		

4. Πινακοποίηση - Στατιστική ανάλυση δεδομένων.

Από το βιβλίο παρατηρήσεων μεταφέρουμε τα δεδομένα της κάθε μεταβλητής στον αντίστοιχο πίνακα. Παρακάτω δίνεται ο πίνακας με τις αποδόσεις (βάρος σπόρων/100m^2) που έδωσαν οι 6 ποικιλίες.

	Επαναλήψεις							
Ποικιλίες	I	II	III	IV	V	VI	Σύνολο	Μέσος όρος
Α	20.0	15.0	20.5	19.5	25.0	20.5	120.5	20.08
Β	22.0	21.0	13.5	24.5	26.0	20.5	127.5	21.25
Γ	19.5	11.0	19.0	19.0	24.0	16.5	109.0	18.17
Δ	21.0	22.0	15.5	24.5	26.0	24.5	133.5	22.25
Ε	25.0	27.0	12.0	29.0	31.5	22.0	146.5	24.42
Ζ	14.5	15.0	16.0	17.5	14.0	14.0	91.0	15.17
Σύνολο	122.0	111.0	96.5	134.0	146.5	118.0	728.0	20.22

Από τους μέσους όρους φαίνεται ότι η ποικιλία Ε έδωσε τη μεγαλύτερη απόδοση, ακολούθησε στη συνέχεια η Δ κ.ο.κ. Δεν ξέρουμε όμως αν οι διαφορές αυτές είναι πραγματικές ή είναι τυχαίες, οφείλονται δηλαδή στο πειραματικό σφάλμα. Γι'αυτό κάνουμε τη στατιστική ανάλυση για να δούμε αν υπάρχουν ή όχι στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων όρων (δηλαδή των αποδόσεων) των έξι ποικιλιών. Αν υπάρχουν διαφορές τότε με τη στατιστική ανάλυση και συγκεκριμένα με την Ε.Σ.Δ, μπορούμε να εκτιμήσουμε το ποιές ποικιλίες διαφέρουν στατιστικώς μεταξύ τους (ποιές δηλαδή υπερέχουν στατιστικώς και από ποιές). Επίσης με το C.V που θα υπολογίσουμε έχουμε μία εκτίμηση της ευαισθησίας του πειράματος.

Με τη στατιστική ανάλυση συμπληρώνουμε τον **Πίνακα της ανάλυσης της παραλλακτικότητας** που συχνά τον αναφέρουμε ως ANOVA (από τα αρχικά των αγγλικών λέξεων: Analysis of Variance) που για τη συγκεκριμένη μεταβλητή του συγκεκριμένου πειράματος είναι ο παρακάτω.

Πίνακας ανάλυσης παραλλακτικότητας (ANOVA)

Πηγή παραλλακτικότητας	Βαθμοί ελευθερίας Β.Ε	Άθροισμα τετραγώνων Α.Τ	Μέσο τετράγωνο Μ.Τ	F
Επαναλήψεις	5 (r -1)	254.80		
Μεταχειρίσεις	5 (t - 1)	315.38	63.08	5.25^{**}
Σφάλμα	25 (r -1)(t - 1)	300.54	12.02	
Σύνολο	35 (rt - 1)	870.72		

Πηγή παραλλακτικότητας. Με την ανάλυση παραλλακτικότητας αναλύουμε (σπάζουμε) τη συνολική παραλλακτικότητα που παρουσιάζουν οι 36 τιμές της μεταβλητής στις κατηγορίες που αποτελούν και τα αίτια παραλλακτικότητας. Στο συγκεκριμένο πείραμα η συνολική παραλλακτικότητα των 36 τιμών, δηλαδή η τυπική απόκλισή τους αναλύεται (οφείλεται): α) στις **επαναλήψεις** που βάλαμε για να αφαιρέσουμε από τη συνολική παραλλακτικότητα ένα μέρος που οφείλεται σε αυτές (βλέπουμε ότι οι μέσοι όροι των επαναλήψεων διαφέρουν μεταξύ τους, ενώ θεωρητικά δεν έπρεπε αφού η κάθε μία περιλαμβάνει από μία φορά την κάθε μια από τις 6 ποικιλίες), β) στις **μεταχειρίσεις** και είναι το μέρος της παραλλακτικότητας που θέλουμε να εκτιμήσουμε με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια ώστε να δούμε αν οι διαφορές των μέσων όρων των 6 ποικιλιών είναι πραγματικές ή όχι και γ) στο **πειραματικό σφάλμα** και είναι το μέρος εκείνο που επιδιώκουμε να ελαχιστοποιήσουμε ώστε να αυξήσουμε την ευαισθησία του πειράματος και κατά συνέπεια να διαπιστώσουμε (δηλαδή να βγάλουμε στατιστικώς σημαντικές) και τις μικρότερες δυνατές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών. Σημειώνεται ότι πρακτικώς δεν είναι δυνατόν να εξαλειφθεί (να μηδενιστεί) το πειραματικό σφάλμα, με όση ακρίβεια και αν εκτελέσουμε το πείραμα. Αυτό θα συνέβαινε θεωρητικώς εάν οι διαφορές μεταξύ των ποικιλιών ήταν απολύτως σταθερές σε όλες τις επαναλήψεις.

Βαθμοί ελευθερίας (Β.Ε). Οι συνολικές τιμές είναι 36 (όσα και τα πειραματικά τεμάχια) άρα οι Β.Ε είναι 36 - 1 και γενικώς rt - 1. Οι επαναλήψεις είναι 6 άρα οι Β.Ε είναι 6 - 1 και γενικώς r - 1 (r = replication = επανάληψη). Οι ποικιλίες είναι 6 άρα οι Β.Ε είναι 6 - 1 και γενικώς t - 1 (t = treatment = μεταχείριση). Οι Β. Ε του σφάλματος υπολογίζονται από το γινόμενο των Β.Ε των μεταχειρίσεων και των επαναλήψεων ή από τους Β.Ε του συνόλου αφαιρουμένων των Β.Ε των άλλων πηγών. Έτσι **το άθροισμα των Β.Ε των πηγών παραλλακτικότητας ισούται με τους Β.Ε του συνόλου.**

Άθροισμα τετραγώνων. (Α.Τ) Είναι το άθροισμα τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών από το Μέσο όρο.

Παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών και ο τρόπος υπολογισμού των Α.Τ.

$$AT_{\text{Συνόλου}} = \Sigma x^2 - \boxed{\frac{(\Sigma x)^2}{n}}$$

↓ Δ.Ο.

Α.Τ συνόλου =Σx^2 - $(\Sigma x)^2/n$

$\Sigma x^2 = 20.0^2 +$ ------------$+ 14.0^2 = 15592.50$

$(\Sigma x)^2/n$ = **Διορθωτικός όρος** (Δ.Ο) = $728^2/36 = 14721.78$

Α.Τ συνόλου = $\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2/n = 15592.50 - 1472.78 \qquad = 870.72$

Σημειώνεται ότι Α.Τ του συνόλου είναι η τυπική απόκλιση των 36 τιμών από τον γενικό μέσο όρο (ΓΜΟ) δηλαδή η συνολική παραλλακτικότητα.

Α.Τ επαναλ. = $(122.0^2 +$ ---------$+ 118.0^2)/6$ - Δ.Ο =

$14976.58 - 14721.78 = \qquad = 254.80.$

Α.Τ των επαναλήψεων είναι η τυπική απόκλιση των 6 μέσων όρων των επαναλήψεων από τον ΓΜΟ.

Διαιρούμε με το 6 γιατί με βάση τον τύπο της τυπικής απόκλισης του Μ.Ο ο κάθε μέσος όρος προέρχεται από 6 τιμές. Πρακτικώς το 6 προκύπτει και από το πηλίκο του συνολικού αριθμού των τεμαχίων (36) δια του αριθμού των επαναλήψεων (6).

Α. Τ ποικιλιών. Κατά παρόμοιο τρόπο εκφράζεται και υπολογίζεται το Α.Τ των ποικιλιών. Σημειώνεται ότι εφόσον το Α.Τ τόσο των επαναλήψεων όσο και των ποικιλιών είναι η τυπική απόκλιση μέσων όρων του πληθυσμού δεν μπορεί σε καμμία περίπτωση να βγούνε μεγαλύτερα από το Α.Τ του συνόλου τόσο το καθένα χωριστά όσο και το άθροισμα.

Α. Τ σφάλματος. Στην πραγματικότητα το υπόλοιπο του Α.Τ που προκύπτει από την αφαίρεση του Α.Τ των επαναλήψεων και ποικιλιών από το Α.Τ του συνόλου είναι το Α.Τ του σφάλματος (προκύπτει δηλαδή από τη διαφορά).

Μέσο τετράγωνο (Μ.Τ). Το μέσο τετράγωνο των αποκλίσεων προκύπτει από τη διαίρεση του αντίστοιχου Α.Τ με τους αντίστοιχους Β.Ε και υπολογίζεται για το συγκεκριμένο πείραμα για α) τις μεταχειρίσεις και β) το σφάλμα. Δεν υπολογίζουμε για τις επαναλήψεις γιατί δεν μας ενδιαφέρει να ελέγξουμε τη σημαντικότητα των διαφορών μεταξύ των επαναλήψεων (0 έλεγχος σημαντικότητας για τις επαναλήψεις θα μας ενδιέφερε ίσως να δούμε εάν «κερδίσαμε» ή όχι με το να εφαρμόσουμε το συγκεκριμένο σχέδιο με τις επαναλήψεις, γιατί εάν οι διαφορές μεταξύ των επαναλήψεων δεν είναι στατιστικώς σημαντικές σημαίνει ότι δεν αφαιρούμε με αυτές μεγάλο μέρος της συνολικής παραλλακτικότητας, άρα δεν μας «συνέφερε» η εφαρμογή αυτού του σχεδίου όπως θα δούμε στο πειραματικό σχέδιο χωρίς επαναλήψεις).

Μ.Τ μεταχειρίσεων = Α.Τ μεταχειρ. / Β.Ε μεταχειρ.=315.38/5 = 63.08

Μ.Τ σφάλματος = Α.Τ σφάλμ./Β.Ε σφάλμ. = 300.54/25= 12.02

Δοκιμή σημαντικότητας με το κριτήριο F. Εφόσον έχουμε να συγκρίνουμε περισσότερους από 2 μέσους όρους (έχουμε 6 ποικιλίες) δεν μπορούμε (πρακτικώς) να εφαρμόσουμε το κριτήριο t και εφαρμόζουμε το κριτήριο F (το οποίο ισχύει και για σύγκριση δύο μέσων όρων μεταχει-ρίσεων). Για τη δοκιμή σημαντικότητας των Μ.Ο των 6 μεταχειρίσεων με το κριτήριο F υπολογίζουμε το F των μεταχειρίσεων το οποίο ισούται με το πηλίκο του Μ.Τ των μεταχειρίσεων δια του Μ.Τ του σφάλματος, δηλαδή:

F μεταχειρίσεων $= \frac{M.T.\mu\varepsilon\tau\alpha\chi}{M.T.\sigma\varphi\acute{\alpha}\lambda\mu.} = \frac{63.08}{12.02} = 5.25$

Το F είναι κατά κανόνα μεγαλύτερο από τη μονάδα. Οι σπάνιες περιπτώσεις όπου είναι μικρότερο της μονάδας, μπορεί να αποδοθούν ή σε «χοντρό» λάθος ή σε ασυνήθιστο φαινόμενο.

Ανατρέχουμε στον πίνακα των F (Π.Ι) (που σε αντίθεση με τον πίνακα t έχει 2 στήλες: οριζοντίως και καθέτως για συγκεκριμένη πιθανότητα σφάλματος και «πηγαίνουμε» οριζοντίως στη στήλη με τον αριθμό που ανταποκρίνεταιστους Β.Ε των μεταχειρίσεων (n1) και καθέτως στην αντίστοιχη στήλη των Β.Ε του σφάλματος (n2) και διαβάζουμε την αντίστοιχη τιμή του F (σε περίπτωση που δεν υπάρχει στον πίνακα ο ακριβής αριθμός των Β.Ε των μεταχειρίσεων ή/και του σφάλματος τότε το αντίστοιχο F εκτιμάται κατά προσέγγιση από την αμέσως μεγαλύτερη και μικρότερη τιμή με την απλή μέθοδο των τριών).

Για τη συγκεκριμένη περίπτωση, δηλαδή για Β.Ε : n_1=5 και n_2=25, η τιμή F του πίνακα για πιθανότητα σφάλματος p = 5% είναι 2.60 η οποία είναι μικρότερη από την τιμή της ANOVA άρα υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των αποδόσεων των 6 ποικιλιών και συνήθως βάζουμε ένα αστερίσκο στο F. Εάν θέλουμε να ελέγξουμε εάν οι διαφορές των ποικιλιών είναι στατιστικώς σημαντικές και για πιθανότητα σφάλματος p =1% τότε ανατρέχουμε στον αντίστοιχο πίνακα του F και η αντίστοιχη τιμή είναι 3,86 (όσο μικραίνει η πιθανότητα σφάλματος τόσο αυξάνει η τιμή F του πίνακα) πάλι μικρότερη από εκείνη της ANOVA άρα οι ποικιλίες διαφέρουν ως προς τις αποδόσεις ακόμη και για 1% πιθανότητα σφάλματος. Στην περίπτωση αυτή βάζουμε στο F και δεύτερο αστερίσκο. Η αντίστοιχη τιμή για πιθανότητα σφάλματος p = 1‰ (σπάνια μας ενδιαφέρει τέτοια ακρίβεια για τα γεωργικά πειράματα) είναι 5.88 δηλαδή μεγαλύτερη από την τιμή της ANOVA, άρα δεν μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα 999‰ ότι οι ποικιλίες μας διαφέρουν μεταξύ τους, στατιστικώς σημαντικά. Εξυπακούεται ότι δεν προχωρούμε να ελέγξουμε τη σημαντικότητα για p = 1% εάν βρήκαμε έλλειψη σημαντικότητας για p = 5%, κ.ο.κ Εάν το F ήταν σημαντικό και για 1‰ πιθανότητα σφάλματος θα βάζαμε και τρίτο αστερίσκο.

Εάν η δοκιμή σημαντικότητας με το F κριτήριο δείξει ότι δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων όρων, έστω και για πιθανότητα σφάλματος 5%, τότε αυτό το εκφράζουμε συνήθως με το ns (= non significant διαφορές) και δεν προχωρούμε στη στατιστική ανάλυση.

Ελάχιστη σημαντική διαφορά. Εάν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές υπολογίζουμε την Ε.Σ.Δ για να εξακριβώσουμε ποιοί μ.ο είναι μεγαλύτεροι (ή μικρότεροι) και από ποιούς. Η Ε.Σ.Δ υπολογίζεται για μία δεδομένη πιθανότητα σφάλματος. Στο παράδειγμα θα υπολογιστεί για 5% και 1% όπου υπήρχαν σημαντικές διαφορές.

$$\mathbf{E.\ \Sigma\ \Delta_{\cdot 05}} = \pm t05\sqrt{\frac{2xMT\Sigma}{n}} = 2.060\sqrt{\frac{2x12.02}{6}} = \pm 4.12$$

$$\mathbf{E.\ \Sigma.\ \Delta_{\cdot 01}} = \pm t.01\sqrt{\frac{2xMT\Sigma}{n}} = 2.787\sqrt{\frac{2x12.02}{6}} = \pm 5.57$$

Στους παραπάνω τύπους το t αναφέρεται στους Β.Ε του σφάλματος και το n είναι ο αριθμός των τεμαχίων από τον οποίο υπολογίζεται ο κάθε μέσος όρος (όπως και στον υπολογισμό του αντίστοιχου Α.Τ).

Συντελεστής παραλλακτικότητας (C.V). Προσδιορίζει το ποσοστό της παραλλακτικότητας των μ.ο που οφείλεται στο πειραματικό σφάλμα.

$$C.V = \frac{100}{\Gamma.M.O}\sqrt{MT\Sigma} = \frac{100}{20.22}\sqrt{12.02} = 17.1\%$$

Το C.V υπολογίζεται και στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Ένα μεγάλο C.V δικαιολογεί την υπόθεση ότι πιθανόν να υπάρχουν πραγματικές διαφορές μεταξύ των μ.ο των μεταχειρίσεων αλλά «κρύβονται» από το μεγάλο πειραματικό σφάλμα («σκουριασμένη» ζυγαριά).

5) **Παρουσίαση αποτελεσμάτων**

Για τη διερεύνηση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων συνήθως κατατάσσουμε τους μέσους όρους κατά αύξουσα ή φθίνουσα σειρά. Στο παράδειγμά μας τους κατατάσσουμε κατά φθίνουσα σειρά αφού πρώτα τους αναγάγουμε (όπως και την Ε.Σ.Δ) ανά στρέμμα και από κάτω βάζουμε τις τιμές της Ε.Σ.Δ (για 5% και 1%) καθώς και το C.V.

Ποικιλίες	Απόδοση: kg/στρ.	
Ε	244	α
Δ	223	αβ
Β	213	αβ
Α	201	β
Γ	182	βγ
Ζ	152	γ

Ε. Σ. $Δ_{.05}$ ± 41.2

Ε. Σ .Δ.01 ± 55.7

C.V.% = 17.1

Σημειώνεται ότι σε καμμία περίπτωση δεν μπορεί να διαφέρει λιγότερο από την Ε. Σ. Δ ο μεγαλύτερος από τον μικρότερο μέσο όρο (κάτι τέτοιο θα σήμαινε ότι δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές). Πολλές φορές για διευκόλυνση της παρουσίασης των αποτελεσμάτων ενώνουμε με γραμμές τους μ.ο που δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους.

Στο παραπάνω παράδειγμα και για πιθανότητα σφάλματος 5% ισχύουν οι εικονιζόμενες πλήρεις γραμμές, ενώ για πιθανότητα σφάλματος 1% ισχύουν οι διακεκομμένες γραμμές. (Αφαιρούμε από την 1η ποικιλία την Ε. Σ.Δ.05 και βρίσκουμε την τιμή 202,8 που είναι μικρότερη από τον 3ο μ.ο, άρα ενώνουμε τους 3 πρώτους μ.ο με κοινή γραμμή. Το ίδιο επαναλαμβάνουμε και για τη δεύτερη ποικιλία, κ.ο.κ). Έτσι δεν δικαιούμαστε να πούμε ότι η Ε ποικιλία είναι στατιστικώς παραγωγικότερη της Δ και Β ακόμη και για πιθανότητα σφάλματος 5%. Είναι όμως η Ε παραγωγικότερη της Α για πιθανότητα σφάλματος 5%, όχι όμως και για 1%.

Συνήθως τις τιμές της Ε.Σ.Δ τις εκφράζουμε με ένα περισσότερο δεκαδικό από ότι τους μέσους όρους.

6. **Ελάχιστο σημαντικό εύρος κατά Duncan**

Η δοκιμή F και η Ε.Σ.Δ δεν παρέχουν πλήρη προστασία από τον κίνδυνο να αναδεικνύονται διαφορές ως στατιστικώς σημαντικές, δηλαδή να μη μπορούν να αποδοθούν στην τύχη παρά με πιθανότητα μικρότερη από 5% ή 1%, ενώ η πραγματική πιθανότητα είναι μεγαλύτερη (κανονικά το t κριτήριο πρέπει να χρησιμοποιείται στη σύγκριση δύο μόνο μέσων όρων, αλλά με την Ε.Σ.Δ χρησιμοποιούμε το ίδιο ΜΤΣ για να συγκρίνουμε την Ε.Σ.Δ (είναι δηλαδή μη στατιστικώς σημαντικές) δεν υπάρχει θέμα.

Επίσης, όταν είναι πολύ μεγαλύτερες από την Ε.Σ.Δ, πάλι δεν υπάρχει θέμα γιατί τέτοιες διαφορές αδίστακτα χαρακτηρίζονται σημαντικές. Μόνο όταν οι διαφορές είναι ίσες ή λίγο μεγαλύτερες από την Ε.Σ.Δ προκύπτει ανάγκη προσφυγής σε ακριβέστερο κριτήριο και ως τέτοιο χρησιμοποιείται ευρέως το κριτήριο Duncan.

Με την μέθοδο Duncan υπολογίζεται για κάθε περίπτωση και ανάλογα με τον αριθμό των μέσων όρων τους οποίους συγκρίνουμε, ιδιαίτερο ελάχιστο σημαντικό εύρος. Δύο γειτονικοί μ.ο ορίζουν ένα εύρος που περιλαμβάνει 2 μέσους όρους, ο 3ος με τον 6ο (κατά σειρά μεγέθους) ορίζουν ένα εύρος που περιλαμβάνει 4 μέσους όρους, κ.ο.κ. Το ελάχιστο σημαντικό εύρος δίνεται από τον τύπο:

$$Ε.Σ.Ε = ε \sqrt{\frac{MT\Sigma}{n}}$$

Η τιμή ε εξαρτάται από τους Β.Ε του σφάλματος και από τον αριθμό των μέσων όρων που περιέχονται στο εύρος. Οι αντίστοιχες τιμές δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ (Π ΙΙΙ). Το n του πίνακα είναι το ίδιο με το n της Ε.Σ.Δ.

Παράδειγμα. Στο πείραμα αυτού του κεφαλαίου με τις 6 ποικιλίες σιταριού η Ε.Σ.Δ για $p = 0.05$ βρέθηκε ± 41.2kg/στρ. και οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι η ποικιλία Ε είναι παραγωγικότερη από την Α γιατί η διαφορά των 2 μ.ο είναι 43kg/στρ., δηλαδή μεγαλύτερη από την Ε.Σ.Δ.

Με το κριτήριο Duncan για τη σύγκριση των ίδιων μέσων όρων, στο εύρος των οποίων περιλαμβάνονται τέσσερις μ.ο, υπολογίζουμε το Ε.Σ.Ε για Β.Ε σφάλματος = 25 και εύρος 4:

$$Ε.Σ.Ε = 3.155 \sqrt{\frac{12.02}{6}} = 4.4656 \text{ kg/100m}^2 = 44.66 \text{ kg/στρ.}$$

Παρατηρούμε, επομένως, ότι με βάση το ακριβέστερο κριτήριο Duncan δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ της Ε και Α ποικιλίας ενώ με την Ε.Σ.Δ οδηγηθήκαμε σε λανθασμένο συμπέρασμα. Σημειώνεται ότι, ειδικότερα για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων κατά Duncan (αλλά και με βάση την Ε.Σ.Δ), αντί για τη χρήση γραμμών τοποθετούμε ίδιο γράμμα στους μ.ο που δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά: Π.χ τα αποτελέσματα του πειράματος των 6 ποικιλιών σιταριού, θα μπορούσαν να παρουσιαστούν, με βάση την Ε.Σ.Δ.05 με τα γράμματα που αναγράφονται στον αντίστοιχο πίνακα. (Με τα στατιστικά προγράμματα των Η/Υ τα γράμματα τοποθετούνται αυτομάτως στους μέσους όρους).

CRD

β) **Πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο** (Completely randomized design : C R D).

Όταν δεν υπάρχει επίδραση του περιβάλλοντος (πλήρως ομοιόμορφος αγρός, ή πείραμα σε εργαστήριο υπό ορισμένες προϋποθέσεις, ή σε άλλο χώρο απολύτως ελεγχόμενο) τότε εφαρμόζουμε το πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο. Η συγκρότηση των ομάδων στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν ωφελεί γιατί δεν θα αφαιρούσαν μεγάλο μέρος παραλλακτι-κότητας από το πειραματικό σφάλμα (αφού οι μέσοι όροι των επαναλή-ψεων θα ήταν όμοιοι μεταξύ τους). Αντιθέτως με το σχέδιο αυτό αυξά-νονται οι Β.Ε του σφάλματος και επομένως, εφόσον ισχύει η προηγούμενη προϋπόθεση (να μη αφαιρείται μεγάλη παραλλακτικότητα με τη συγκρό-τηση ομάδων) μικραίνει το Μ.Τ του σφάλματος και αυξάνει η πιθανότητα να βγουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές των μ.ο των μεταχειρίσεων.

Παράδειγμα. Θα εξετάσουμε το ίδιο πείραμα με τις 6 ποικιλίες σιταριού που εξετάσαμε και στο προηγούμενο σχέδιο. Η κάθε ποικιλία δοκιμάζεται και πάλι 6 φορές, άρα τα πειραματικά τεμάχια θα είναι: 6 x 6 = 36 τεμάχια.

1. **Κατάστρωση πειραματικού σχεδίου - Τυχαιοποίηση.** Στο σχέδιο αυτό δεν υπάρχουν συγκροτημένες πλήρεις ομάδες αλλά οι 6 ποικιλίες τυχαιοποιούνται, έξι φορές η κάθε μία, στα 36 τεμάχια οπότε μπορεί να τύχει περισσότερες από μία φορά, ή να μη τύχει καθόλου, κάποια ποικιλία στα πρώτα 6 τεμάχια κ.ο.κ.

Μία πιθανή τυχαιοποίηση στο πειραματικό σχέδιο είναι το παρακάτω:

1 Β	7 Γ	13 Ζ	19 Γ	25 Β	31 Α
2 Α	8 Γ	14 Β	20 Ε	26 Α	32 Ζ
3 Β	9 Δ	15 Ζ	21 Δ	27 Δ	33 Α
4 Ζ	10 Α	16 Α	22 Β	28 Γ	34 Ε
5 Δ	11 Ε	17 Ε	23 Ζ	29 Δ	35 Δ
6 Ε	12 Ε	18 Γ	24 Ζ	30 Β	36 Γ

2. **Σχέδιο αγρού.** Γίνεται χάραξη και επισήμανση των 36 τεμαχίων όπως και στο προηγούμενο σχέδιο. Εδώ δεν υπάρχουν επαναλήψεις επομένως ο πειραματικός μπορεί να «σπάσει» σε λωρίδες χωρίς να είναι απαραίτητο να καταλαμβάνει η κάθε μία αριθμό τεμαχίων που να είναι πολλαπλάσιο του έξι (αριθμός τεμαχίων σε κάθε επανάληψη). Το σχέδιο αγρού βασίζεται πάντοτε στο πειραματικό σχέδιο.

3. **Λήψη παρατηρήσεων**. Τις παρατηρήσεις τις παίρνουμε όπως και στο προηγούμενο σχέδιο.

4. Πινακοποίηση - Στατιστική ανάλυση δεδομένων. Η πινακοποίηση γίνεται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στο προηγούμενο σχέδιο με τη διαφορά ότι δεν αναγράφουμε επάνω τις ενδείξεις των επαναλήψεων και δεν αναγράφουμε το σύνολο της κάθε επανάληψης.

Εάν υποτεθεί ότι στο συγκεκριμένο πείραμα και πειραματικό σχέδιο οι αποδόσεις των 6 τεμαχίων της κάθε ποικιλίας ήταν ακριβώς ίδιες με το προηγούμενο πειραματικό σχέδιο τότε ο πίνακας των αποδόσεων θα ήταν ίδιος (ακριβώς τα ίδια στοιχεία) και στα δύο σχέδια και θα είχε την παρακάτω μορφή για το σχέδιο χωρίς ομάδες.

Ποικιλίες							Σύνολο	Μέσος όρος
Α	20.0	15.0	20.5	19.5	25.0	20.5	120.5	20.08
Β	22.0	21.0	13.5	24.5	26.0	20.5	127.5	21.25
Γ	19.5	11.0	19.0	19.0	24.0	16.5	109.0	18.17
Δ	21.0	22.0	15.5	24.5	26.0	24.5	133.5	22.25
Ε	25.0	27.0	12.0	29.0	31.5	22.0	146.5	24.42
Ζ	14.5	15.0	16.0	17.5	14.0	14.0	91.0	15.17

Πίνακας ανάλυσης παραλλακτικότητας (ANOVA)

Πηγή παραλλακτικότητας	Β.Ε	Α.Τ	Μ.Τ	F
Ποικιλίες	5 (t - 1)	315.38	63.08	3.41*
Σφάλμα	30 (t (r -1))	555.34	18.51	
Σύνολο	35 (rt - 1)	870.72		

Για τον υπολογισμό των Β.Ε, Μ.Τ και F ισχύουν όσα αναφέρθησαν στο σχέδιο με ομάδες. (Το Α.Τ των ποικιλιών και του συνόλου είναι το ίδιο όπως και στο προηγούμενο σχέδιο, ενώ το Α.Τ του σφάλματος ισούται με το Α.Τ των επαναλήψεων + Α.Τ σφάλματος του προηγούμενου σχεδίου).

Παρατηρούμε ότι το Μ.Τ του σφάλματος (18.51) είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του σχεδίου με ομάδες (12.02) παρόλο που οι Β.Ε είναι περισσότεροι. Αυτό δείχνει ότι το προηγούμενο σχέδιο ήταν πιο αποτελεσματικό γιατί ένα μεγάλο μέρος της παραλλακτικότητας των τιμών της κάθε ποικιλίας είχε αφαιρεθεί με τις επαναλήψεις. Έτσι το F ισούται με 3.41 (δηλαδή είναι μικρότερο από το προηγούμενο: 5.25), ενώ το F του πίνακα (για 5 και 30 Β.Ε, οριζοντίως και καθέτως) είναι για 5% και 1% αντιστοίχως 2.53 και 3.70, δηλαδή υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές για πιθανότητα σφάλματος 5%, όχι όμως και για 1% όπως βρέθηκε με το προηγούμενο σχέδιο.

Η Ε. Σ. Δ για p = 0.05 είναι με βάση τον γνωστό τύπο:

Ε. Σ. Δ.$_{05} = \pm t.05\sqrt{\frac{2xMTS}{n}} = \pm 2.042\sqrt{\frac{2x18.51}{6}} = \pm 5.07$ Kg /100m^2 ή $\pm$50.7 Kg/στρ.

5. Παρουσίαση αποτελεσμάτων. Ισχύουν τα ίδια με το προηγούμενο σχέδιο. Εξυπακούεται ότι μπορεί κατά τον ίδιο τρόπο να γίνει και δοκιμή κατά Duncan.

25

γ) Λατινικό τετράγωνο (Latin square - LS)

Εάν η ανομοιογένεια του χώρου διεξαγωγής του πειράματος βαίνει προς δύο κατευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους (π.χ σε ένα αγρό με κλίση υπάρχει ένα αυλάκι κάθετο προς την κλίση) τότε, για να ελεχθούν ταυτόχρονα δύο τέτοιες πηγές παραλλακτικότητας και επομένως να γίνει μεγαλύτερη η ακρίβεια του πειράματος, εφαρμόζουμε το πειραματικό σχέδιο του Λατινικού τετραγώνου. Στο Λατινικό τετράγωνο υπάρχουν τόσες γραμμές όσες και στήλες όσα και τα γράμματα (που αντιστοιχούν στον αριθμό των μεταχειρίσεων) με τον περιορισμό το κάθε γράμμα (κάθε μεταχείριση) να βρίσκεται μία φορά στην κάθε γραμμή και κάθε στήλη.

Στήλες Σειρές	1	2	3	4	Σύνολο
1	C=10	D=8	B=12	A =13	43
2	B=11	A=12	C=10	D = 8	41
3	D= 6	C=12	A=11	B=14	43
4	A=12	B=12	D = 6	C=10	40
Σύνολο	39	44	39	45	167

Είναι δηλαδή ένα σχέδιο που έχει συγκροτημένες ομάδες και οριζοντίως και καθέτως, που υπόκεινται ταυτοχρόνως στους ίδιους περιορισμούς όπως και στο σχέδιο R C B. Στο Λατινικό τετράγωνο επιβάλλεται επιπλέον η προϋπόθεση, όπως αναφέρεται παραπάνω, να είναι ο αριθμός των επαναλήψεων ίσος με τον αριθμό των μεταχειρίσεων. Στην επιπλέον η προϋπόθεση, όπως αναφέρεται παραπάνω, να είναι ο αριθμός των επαναλήψεων ίσος με τον αριθμό των μεταχειρίσεων. Στην περίπτωση όμως που οι μεταχειρίσεις είναι λίγες (π.χ. 3) ο αριθμός των επαναλήψεων μπορεί να είναι ανεπαρκής (να μη υπάρχουν αρκετοί Β.Ε για το σφάλμα) και στην περίπτωση που οι μεταχειρίσεις είναι πολλές (π.χ.10) θα γίνει το πείραμα μεγάλο (100 τεμάχια) ενώ πιθανόν να επαρκούσαν 5 - 6 επαναλήψεις. Γιαυτό και το σχέδιο αυτό πρέπει να εφαρμόζεται στον αγρό μόνο στις περιπτώσεις που μπορούμε να αφαιρέσουμε παραλλακτικότητα τόσο από τη συγκρότηση γραμμών όσο και στηλών (σπάνιες περιπτώσεις), διαφορετικά η ευαισθησία του πειράματος μειώνεται γιατί περιορίζονται οι Β.Ε του σφάλματος και επομένως μεγαλώνει το Μ.Τ του σφάλματος. Το Λατινικό τετράγωνο αποβαίνει αποτελεσματικό πολλές φορές σε πειράματα π.χ. με ζώα, σε θερμοκήπιο και εργαστήριο.

Η χρησιμότητα για πειράματα στον αγρό, των τριών σχεδίων δηλαδή του R C B, του C R D και του L.S, σε αντιδιαστολή του ενός προς τα άλλα δύο, καταδεικνύεται χαρακτηριστικά στο παράδειγμα που αναφέρεται στην Άσκηση 13. Είναι φανερό ότι στον αγρό Β, όπου έχουμε απόλυτη ομοιομορφία ως προς τη γονιμότητα, αρμόζει το CRD, στον αγρό Α, όπου η γονιμότητα μεταβάλλεται προς μία κατεύθυνση αρμόζει το R C B με κάθετη τοποθέτηση των επαναλήψεων και στον αγρό Γ, όπου η γονιμότητα μεταβάλλεται και οριζοντίως και καθέτως αρμόζει το LS.

1. **Κατάστρωση πειραματικού σχεδίου - Τυχαιοποίηση**. Εάν το παράδειγμα που εξετάσαμε (6 ποικιλίες σιταριού) θελήσουμε να το εφαρμόσουμε υπό μορφή Λατινικού τετραγώνου η διάταξη του πειράματος θα μπορούσε να είναι η παρακάτω:

αυλάκι

------------------------------->

Στήλες

κλίση

Γραμμές	I	II	III	IV	V	VI
I	1 Α	7 Β	13 Γ	19 Δ	25 Ε	31 Ζ
II	2Β	8 Γ	14 Δ	20 Ε	26 Ζ	32 Α
III	3 Γ	9 Δ	15 Ε	21 Ζ	27 Α	33 Β
IV	4 Δ	10 Ε	16 Ζ	22 Α	28 Β	34 Γ
V	5 Ε	11 Ζ	17 Α	23 Β	29 Γ	35 Δ
VI	6 Ζ	12 Α	18 Β	24 Γ	30 Δ	36 Ε

Παρατηρούμε ότι ισχύει η προϋπόθεση να υπάρχει μία και μόνο φορά η κάθε ποικιλία σε κάθε γραμμή και κάθε στήλη. Επειδή όμως δεν εφαρμόστηκε τυχαιοποίηση μπορούμε να τυχαιοποιήσουμε:

α) τις γραμμές, π.χ να μπούνε με τη σειρά V, II, IV, III, I, VI οπότε θα έχουμε τη διάταξη:

	I	II	III	IV	V	VI
I	1 Ε	7 Ζ	13 Α	19 Β	25 Γ	31 Δ
II	2 Β	8 Γ	14 Δ	20 Ε	26 Ζ	32 Α
III	3 Δ	9 Ε	**15** Ζ	21 Α	27 Β	33 Γ
IV	4 Γ	10 Δ	16 Ε	22 Ζ	28 Α	34 Β
V	5 Α	11 Β	17 Γ	23 Δ	29 Ε	35 Ζ
VI	6 Ζ	12 Α	18 Β	24 Γ	30 Δ	36 Ε

β) στη συνέχεια τις στήλες, π.χ να μπούνε με τη σειρά: II, I, V, III, IV, VI, οπότε θα έχουμε την τελική διάταξη:

1 Ζ	7 Ε	13 Β	19 Α	25 Δ	31 Γ
2 Γ	8 Β	14 Ε	20 Δ	26 Α	32 Ζ
3 Ε	9 Δ	15 Α	21 Ζ	27 Γ	33 Β
4 Δ	10 Γ	16 Ζ	22 Ε	28 Β	34 Α
5 Β	11 Α	17 Δ	23 Γ	29 Ζ	35 Ε
6 Α	12 Ζ	18 Γ	24 Β	30 Ε	36 Δ

γ) τις μεταχειρίσεις, π.χ να ονομάσουμε Α μία άλλη ποικιλία, κ.ο.κ.γεγονός βέβαια που δεν επηρεάζει την παραπάνω διάταξη.

Συνήθως όμως υπάρχουν στα βιβλία περί Γεωργικού Πειραματισμού έτοιμα τυχαιοποιημένα σχέδια για Λατινικά τετράγωνα, μερικά από τα οποία δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV (Π IV) .

2. **Σχέδιο αγρού** Το Λατινικό τετράγωνο έχει επιπλέον την «ακαμψία», σε αντίθεση με τα προηγούμενα σχέδια, ότι δεν μπορεί να κομματιαστεί ώστε να τοποθετηθούν οι επαναλήψεις (γραμμές ή/και στήλες) σε διάφορα τμήματα του αγρού ή σε άλλους αγρούς. Επιπλέον, αναλόγως του σχήματος των τεμαχίων, οι γραμμές ή οι στήλες ή και οι δύο γίνονται αναγκαστικά στενόμακρες και όχι τετράγωνες (συμπαγείς) όπως είναι εύκολο να επιτευχθεί με το RCB. Επομένως η διάταξη του πειράματος στον αγρό είναι ίδια με το πειραματικό σχέδιο.

3. **Λήψη παρατηρήσεων.** Ισχύουν τα ίδια με τα προηγούμενα σχέδια.

4. **Πινακοποίηση - Στατιστική ανάλυση.** Ο πίνακας με τις τιμές μιας μεταβλητής είναι στην περίπτωση αυτή ίδιος με το πειραματικό σχέδιο (σχέδιο σποράς) ώστε να παραμείνουν σταθερές οι γραμμές και οι στήλες και να μην αλλάζουν τα σύνολά τους. Σε ένα βοηθητικό πινακίδιο, όπου οι ποικιλίες μπαίνουν με τη σειρά, υπολογίζουμε τα σύνολα των ποικιλιών (της κάθε μίας χωριστά).

Ο πίνακας της ανάλυσης παραλλακτικότητας για τις πηγές και του Β.Ε δίνεται παρακάτω:

ANOVA

Πηγή παραλλακτικότητας	Β.Ε	Α.Τ	Μ.Τ	F
Ποικιλίες	5 (t - 1)			
Γραμμές	5 (t - 1)			
Στήλες	5 (t - 1)			
Σφάλμα	20 (t -1)(t -2)			
Σύνολο	35 (t^2 - 1)			

Σημειώνεται ότι: α) οι Β.Ε των ποικιλιών, γραμμών και στηλών είναι ίδιες, γιατί ισχύει η προϋπόθεση του σχεδίου να είναι ίδιος ο αριθμός των μεταχειρίσεων, στηλών και γραμμών, β) οι Β.Ε του σφάλματος (που υπολογίζονται όπως αναφέρθηκε και από τη διαφορά των υπόλοιπων Β.Ε από το σύνολο) είναι λιγότεροι από το R C B και ακόμη λιγότεροι από το C R D και γ) οι Β.Ε του συνόλου υπολογίζονται (όπως και στα άλλα σχέδια) από τον αριθμό των συνολικών τεμαχίων πλην ένα (στην περίπτωση αυτή είναι το τετράγωνο του αριθμού των μεταχειρίσεων, ή γραμμών ή στηλών πλην ένα).

Το Α.Τ του συνόλου υπολογίζεται όπως και στα προηγούμενα σχέδια. (Άθροισμα τετραγώνων των 36 τεμαχίων πλην το διορθωτικό όρο). Το Α.Τ των ποικιλιών υπολογίζεται από το άθροισμα των τετραγώνων των 6 συνόλων των ποικιλιών δια του 6 μείον τον Δ.Ο). Παρομοίως υπολογίζεται το Α.Τ των στηλών και γραμμών, ενώ του σφάλματος (όπως και στα άλλα σχέδια) προκύπτει από τη διαφορά όλων των υπολοίπων Α.Τ από το Α.Τ του συνόλου.

Τα Μ.Τ υπολογίζονται (όπως σε όλα τα σχέδια) από το πηλίκο του Α.Τ με τους αντίστοιχους Β.Ε.

Το F για τις ποικιλίες (μόνο αυτές μας ενδιαφέρουν πρακτικώς) είναι όπως σε όλες τις περιπτώσεις το πηλίκο του Μ.Τ των ποικιλιών προς το Μ.Τ του σφάλματος. Εφόσον αποδειχθεί ότι είναι μεγαλύτερο από 2.71 (που αντιστοιχεί οριζοντίως στους 5 Β.Ε των μεταχειρίσεων και καθέτως στους 20 Β.Ε του σφάλματος για p = 0.05) λέμε ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων όρων των ποικιλιών για p = 0.05. Εάν το F της ανάλυσης παραλλακτικότητας είναι μεγαλύτερο και από 4.10 τότε υπάρχουν μέσοι όροι που διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ακόμη και για πιθανότητα μικρότερη από 1%.

Εφόσον διαπιστωθεί ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές υπολογίζεται η Ε.Σ.Δ για τη συγκεκριμένη πιθανότητα σφάλματος από τον γνωστό τύπο (όπου το n ισούται με 6). Κατά παρόμοιο τρόπο μπορούμε να εφαρμόσουμε το κριτήριο Duncan.

5. **Παρουσίαση αποτελεσμάτων**. Ισχύουν τα ίδια με τα προηγούμενα σχέδια.

δ) **Ατελείς ομάδες**

Όταν ο αριθμός των μεταχειρίσεων ενός παράγοντα (π.χ αριθμός ποικιλιών) είναι μεγάλος και επομένως και η επανάληψη γίνεται μεγάλη, ιδιαίτερα όταν το κάθε πειραματικό τεμάχιο έχει μεγάλο πλάτος, γιατί αποτελείται από πολλές γραμμές σποράς, τότε μέσα στην επανάληψη συγκροτούμε ατελείς ομάδες, δηλαδή ομάδες που περιλαμβάνουν ορισμένες μόνο μεταχειρίσεις (π.χ ποικιλίες). Οι ομάδες μπορούν να διαταχθούν ως προς τη μία ή και τις δύο κατευθύνσεις του αγρού ώστε να ελέγξουμε την ετερογένειά του (όπως γίνεται και με το σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων).

Οι ατελείς ομάδες διακρίνονται σε : α) **Ισορροπημένες ατελείς ομάδες** (balanced incomplete blocks) όπου οποιοδήποτε ζευγάρι μεταχειρίσεων (π.χ ποικιλιών) απαντάται σε ίσο αριθμό ομάδων και β) **Ισορροπημένο δικτυωτό** (Balanced lattice) όπου το καθένα από τα δυνατά ζευγάρια μεταχειρίσεων απαντάται σε μία μόνο από τις ατελείς ομάδες του πειράματος. Επιπλέον στα σχέδια αυτά ορισμένος αριθμός ατελών ομάδων συγκροτεί ο καθένας μία πλήρη επανάληψη, και ασφαλώς η κάθε ποικιλία απαντάται μία μόνο φορά σε κάθε επανάληψη.

Παρακάτω αναλύεται το σχέδιο ισορροπημένου δικτυωτού που είναι και το πιο διαδεδομένο ανάμεσα στα άλλα των ατελών ομάδων.

Ισορροπημένο δικτυωτό (Balanced lattice). Στα ισορροπημένα δικτυωτά πρέπει ο αριθμός των μεταχειρίσεων (n) να είναι το τετράγωνο κάποιου αριθμού, π.χ : 9(3^2), 16(4^2), 25(5^2), 36(6^2) = K^2 = n.

- Ο αριθμός των ατελών ομάδων του πειράματος ισούται με **$K^2+K=K(K+1)$**
- Ο αριθμός των επαναλήψεων του πειράματος ισούται με **K+1**.
- Ο αριθμός των μεταχειρίσεων της κάθε ατελούς ομάδας ισούται με **K.**
- Με βάση τα παραπάνω πληρούται η προϋπόθεση να είναι το καθένα από τα δυνατά ζευγάρια των μεταχειρίσεων σε μία μόνο από τις ατελείς ομάδες του πειράματος. Γιατί :
- Δυνατοί συνδυασμοί ανά δύο n μεταχειρίσεων (π.χ 25 ποικιλιών) = $\frac{n(n-1)}{2}$ (π.χ $\frac{25\times 24}{2}=\frac{600}{2}=300$).
- - Κάθε ατελής ομάδα περιλαμβάνει : $\frac{K(K-1)}{2}$ δυνατούς συνδυασμούς (π.χ $\frac{5\times 4}{2}=10$).
- Άρα ο αριθμός των ομάδων είναι $\frac{n(n-1)}{K(K-1)}$ (π.χ $\frac{300}{10}=30$) ή K^2+K $=K(K+1)$

Παράδειγμα. Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα κατάστρωσης, διεξαγωγής και επεξεργασίας δεδομένων ενός τέτοιου πειράματος. Το παράδειγμα είναι από το βιβλίο «Στοιχεία Πειραματικής Στατιστικής» του Απ. Κ. Φασούλα (σελ. 125 - 131).

Έστω ένα πείραμα που έγινε προκειμένου να αξιολογηθούν 25 ποικιλίες μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας.

Έστω ένα πείραμα που έγινε προκειμένου να αξιολογηθούν 25 ποικιλίες μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας.

- Αριθμός ποικιλιών = **25** (5^2)
- Αριθμός επαναλήψεων **6** (5+1)
- Αριθμός πειραματικών τεμαχίων 25 X 6 = 150
- Αριθμός ατελών ομάδων = **30** (5^2+5)
- Αριθμός ποικιλιών σε κάθε ατελή ομάδα = 5

Σημειώνεται ότι, όπως αναφέρει και ο Φασούλας, ένα τέτοιο σχέδιο μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο για να ελέγξουμε την επίδραση του περιβάλλοντος (π.χ ετερογένεια του εδάφους) αλλά και για άλλους λόγους π.χ αν θέλαμε να συγκρίνουμε 25 τρόπους αναλύσεως ενός υλικού και δεν ήταν δυνατό να κάνουμε περισσότερες από 5 αναλύσεις την ημέρα τότε το ισορροπημένο δικτυωτό θα ήταν το ενδεδειγμένο σχέδιο.

1. **Κατάστρωση πειραματικού σχεδίου - Τυχαιοποίηση**. Γίνεται τυχαιοποίηση των ποικιλιών στις ομάδες και των ομάδων στις επαναλήψεις. Επειδή όμως πρέπει να ισχύει η προϋπόθεση ότι κάθε δυνατό ζευγάρι ποικιλιών πρέπει να απαντάται σε μία μόνο ατελή ομάδα, η τυχαιοποίηση δεν γίνεται με τους γνωστούς τρόπους που προαναφέρθηκαν, γιαυτό και υπάρχουν έτοιμα τυχαιοποιημένα σχέδια (όπως και για την περίπτωση του λατινικού τετραγώνου).

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η τυχαιοποίηση του συγκεκριμένου πειράματος, όπου με έντονο αριθμό επάνω αριστερά σε κάθε πειραματικό τεμάχιο αναγράφεται ο αριθμός της ποικιλίας (1-25) και κάτω δεξιά η αντίστοιχη απόδοση.

Τυχαιοποίηση και απόδοση κατά πειραματικό τεμάχιο από ένα ισορροπημένο δικτυωτό με 25 ποικιλίες και 6 επαναλήψεις.

			I			Σύνολα ομάδων
1η	1 35	2 49	3 46	4 45	5 45	220
2η	6 51	7 47	8 31	9 42	10 34	205
3η	11 33	12 37	13 43	14 49	15 35	197
4η	16 51	17 40	18 47	19 48	20 55	241
5η	21 45	22 49	23 49	24 41	25 41	225
						1088

			II			Σύνολα ομάδων
6η	1 39	6 42	11 36	16 45	21 43	205
7η	2 43	7 47	12 50	17 45	22 49	234
8η	3 50	8 33	13 41	18 44	23 42	210
9η	4 47	9 41	14 40	19 37	24 47	212
10η	5 45	10 37	15 45	20 44	25 44	215
						1076

			III			Σύνολα ομάδων
11η	1 42	7 41	13 36	19 44	25 44	207
12η	6 35	12 44	18 45	24 38	5 37	199
13η	11 31	17 46	23 43	4 47	10 31	198
14η	16 50	22 46	3 53	9 51	15 52	252
15η	21 47	2 51	8 34	14 47	20 46	225
						1081

			IV			Σύνολα ομάδων
16η	1 42	12 45	23 35	9 44	20 40	206
17η	6 44	17 24	3 39	14 39	25 39	185
18η	11 35	22 42	8 31	19 42	5 45	195
19η	16 51	2 47	13 41	24 43	10 36	218
20η	21 40	7 49	18 40	4 48	15 44	221
						1025

			V			Σύνολα ομάδων
21η	1 37	17 34	8 32	24 43	15 41	187
22η	6 51	22 47	13 37	4 48	20 47	230
23η	11 27	2 46	18 40	9 40	25 42	195
24η	16 24	7 53	23 38	14 45	5 43	203
25η	21 32	12 36	3 40	19 36	10 29	173
						988

			IV			Σύνολα ομάδων
26η	1 40	22 46	18 40	14 46	10 37	209
27η	6 49	2 46	23 44	19 47	15 49	235
28η	11 31	7 41	3 41	24 35	20 32	180
29η	16 41	12 39	8 30	4 36	25 36	182
30η	21 42	17 38	13 35	9 39	5 35	189
						995

Παρατηρούμε ότι το οποιοδήποτε από τα 300 δυνατά ζευγάρια ποικιλιών απαντάται σε μία μόνο από τις 30 ατελείς ομάδες (π.χ το ζευγάρι των ποικιλιών με αύξοντες αριθμούς 22 και 3 το συναντάμε μόνο στη 14η ατελή ομάδα). Παρατηρούμε επίσης ότι σε κάθε επανάληψη συμμετέχουν από μία φορά κάθε ποικιλία.

Ως προς την τυχαιοποίηση παρατηρούμε ότι:

- Στην I επανάληψη (ομάδες 1η έως 5η) οι ποικιλίες μπαίνουν με τη σειρά του αύξοντα αριθμού τους.
- Στη II επανάληψη (ομάδες 6η έως 10η) οι σειρές αντιστρέφονται με τις γραμμές.
- Στην III επανάληψη (ομάδες 11η έως 15η) η 11η ομάδα είναι η διαγώνιος των 2 προηγούμενων επαναλήψεων, η 12η ομάδα είναι η προς τα δεξιά διπλανή διαγώνιος της II + ο απομακρυσμένος διαγώνιος αριθμός (5), η 13η είναι η παραδιπλανή διαγώνιος + οι 2 απομακρυσμένοι διαγώνιοι αριθμοί (4, 10), η 14η είναι η επόμενη διπλανή διαγώνιος (16, 22) + 3 απομακρυσμένοι διαγώνιοι αριθμοί (3, 9, 15) και η 15η είναι ο άκρα διαγώνιος αριθμός (21) + οι 4 διαγώνιοι απομακρυσμένοι αριθμοί (2, 8, 14, 20)
- Στην IV(ομάδες 16η έως 20η), η 16η ομάδα είναι η διαγώνιος της III επανάληψης, η 17η η προς τα αριστερά διπλανή διαγώνιος + ο απομακρυσμένος διαγώνιος αριθμός (25), η 18η ομάδα η παραδιπλανή διαγώνιος + οι 2 απομακρυσμένοι διαγώνιοι αριθμοί (19, 5), η 19η είναι η επόμενη διπλανή διαγώνιος (16, 2) + 3 απομακρυσμένοι διαγώνιοι αριθμοί (13, 24, 10) και η 20η είναι ο άκρα αριστερά διαγώνιος αριθμός (21) + οι 4 διαγώνιοι απομακρυσμένοι (17, 13, 9, 5).
- Στις επαναλήψεις V και VI επαναλαμβάνουμε ότι κάναμε στην επανάληψη IV παίρνοντας ως βάση την αμέσως προηγούμενη επανάληψη (για την V την IV και για την VI την V).
- Εξυπακούεται ότι την παραπάνω τυχαιοποίηση μπορούμε να την εφαρμόσουμε και σε άλλο όμοιο πείραμα αλλάζοντας την τυχαιοποίηση των ποικιλιών στους 25 αύξοντες αριθμούς και την τυχαιοποίηση των ομάδων.

2. **Σχέδιο αγρού και Λήψη παρατηρήσεων**.

Ισχύουν τα ίδια όσα αναφέρονται στο σχέδιο των πλήρων τυχαιοποιημένων ομάδων (R C B).

Επειδή ορισμένες από τις ατελείς ομάδες μπορεί να έχουν ευνοηθεί ή να έχουν ζημιωθεί από το περιβάλλον και ανάλογα να έχουν επηρεασθεί οι μεταχειρίσεις που συμπεριλαμβάνονται σε αυτές, πρέπει να γίνει προσαρμογή των μέσων όρων (των μεταχειρίσεων) πριν την πινακο-ποίηση. Οι απαραίτητες προσαρμογές και τα υπόλοιπα προκαταρκτικά στοιχεία για την ανάλυση παραλλακτικότητας δίνονται στον Πίνακα 7 που αφορά το παράδειγμα που αναφέρει ο Φασούλας (1979) (Πίν. 20). Για υπολογισμό των πράξεων βλ. Φασούλα. 1979.

Πίν. 7 Προσαρμοσμένα σύνολα και μέσοι όροι 25 ποικιλιών με βάση το σχέδιο των ισορροπημένων δικτυωτών.

Αύξων αριθμός ποικιλιών.	Σύνολα ποικιλιών Π	Άθροισμα των συνόλων των ομάδων που περιέχουν την ποικιλία O_π	w=(5Π+G-6Oπ)	Προσαρμοσμένα σύνολαποικιλιών Π+μW	Προσαρμοσμέν οι μέσοι όροι ποικιλιών.
1	235	1234	24	235.648	39.27
2	282	1327	-299	273.927	45.65
3	269	1220	278	276.506	46.08
4	271	1263	30	271.810	45.30
5	250	1221	177	254.779	42.46
6	272	1259	59	273.593	45.59
7	278	1250	143	281.861	46.97
8	191	1204	-16	190.568	31.76
9	257	1259	-16	256.568	42.76
10	204	1218	-35	203.055	33.84
11	193	1170	198	198.346	33.05
12	251	1191	362	260.774	43.46
13	233	1251	-88	230.624	38.43
14	266	1231	197	271.319	45.21
15	266	1307	-259	259.007	43.16
16	262	1301	-243	255.439	42.57
17	227	1234	-16	226.568	37.76
18	256	1275	-117	252.841	42.14
19	254	1263	-55	252.515	42.08
20	264	1297	-209	258.357	43.05
21	249	1238	70	250.890	41.81
22	279	1345	-422	267.606	44.60
23	251	1277	-154	246.842	41.14
24	247	1221	162	251.374	41.89
25	246	1209	229	252.183	42.03
	G= 6253	31265	0	6253.000	
		(5X6253)		$\overline{X}$ = 250.120	ΕΣΔ =4.93

Με βάση τον πίνακα 7 (συγκεκριμένα απαιτούνται οι υπολογισμοί μέχρι και το W) προχωρούμε στην ανάλυση παραλλακτικότητας που δίνεται στον Πίνακα 8 (Πίνακας 21, Φασούλας 1979).

Πίνακας 8. Ανάλυση παραλλακτικότητας με βάση το σχέδιο των ισορροπημένων δικτυωτών.

Πηγή παραλλακτηκότητας	ΒΕ	ΑΤ	ΜΤ	ΜΤ΄	F	$F_{.05}$
Ποικιλίες	$\kappa^2 - 1 = 24$	2464		97.33	5.23	1.64
Επαναλήψεις	$\kappa = 5$	408				
Ομάδες (μετά την αφαίρεση της επιδράσεως των ποικιλιών)	$\kappa^2 - 1 = 24$	1219	50.79			
Σφάλμα	$(\kappa - 1)(\kappa^2 - 1) = 96$	1573	16.38	18.59		
Σύνολο	$\kappa^2(\kappa + 1) - 1 = 149$	5664				

Δ. Ο = $\dfrac{\Gamma\,\varepsilon\,\nu\Sigma\acute{\upsilon}\nu.^2\,(G^2)}{K^2(K+1)} = \dfrac{6253^2}{150} = 260667$ (όπως συνήθως)

Το Α.Τ του συνόλου υπολογίζεται όπως συνήθως

Α.Τ συνόλου = 35^2 +---------+ 35^2 - Δ.Ο = 5664

Το Α.Τ των ποικιλιών υπολογίζεται όπως συνήθως

Α.Τ ποικιλιών = $\dfrac{235^2 + - - - - - 246^2}{6} - \Delta.O = 2464$

Α.Τ επαναλ. = $\dfrac{1088^2 + - - - - - - + 995^2}{25} - \Delta.O = 408$ (όπως συνήθως)

Α.Τ ομάδων = $\dfrac{\Sigma W^2}{K^3(K+1)} = \dfrac{24^2 + 299^2 + - - - - - - + 229^2}{750} = 1219$

Το Α.Τ σφάλματος υπολογίζεται ως συνήθως, με αφαίρεση από το Α.Τ του συνόλου των υπολοίπων Α.Τ, δηλαδή:

Α.Τ σφάλματος = Α.Τ συνόλου - Α.Τ. ποικ. - Α.Τ. επαναλ. - Α.Τ. ομάδων = 5664 - 2464 - 408 - 1219 = 1573.

Τα Μ.Τ υπολογίζονται όπως συνήθως $\left(\dfrac{A.T}{B.E}\right)$

- Όταν το Μ.Τ των ομάδων είναι μικρότερο από το Μ.Τ του σφάλματος τότε η ανάλυση παραλλακτικότητας προχωρεί κανονικά, εάν όμως είναι μεγαλύτερο τότε πρέπει να προσαρμόσουμε τα σύνολα των μεταχειρίσεων (ώστε να αφαιρέσουμε τις διαφορές που οφείλονται στις ομάδες) με βάση τον τύπο:

(Π+μ W) όπου μ = $\frac{M.T.O-M.T.\Sigma}{K^2(M.T.O)}=\frac{50.79-16.38}{25(50.79)}=0.027$

Ομοίως (και εφόσον ΜΤΟ > ΜΤΣ) πρέπει να προσαρμόσουμε τα Μ.Τ των ποικιλιών και του σφάλματος για να εκτιμήσουμε το F.

Τα προσαρμοσμένα Μ.Τ δίνονται από τους τύπους :

Μ.Τ.Σ΄= ΜΤΣ (1 + Κμ) = 16.38 (1 + 0.135) = 18.59

Μ.Τ.Π΄=$\frac{\Sigma(x'-\bar{x}')^2}{(K+1)(K^2-1)}=\frac{(235.648-250.120)^2+--+(252.183-250.120)^2}{144}$=97.33

Η ελάχιστη Σημαντική Διαφορά για τη σύγκριση δύο προσαρμοσμένων μέσων όρων υπολογίζεται από τον συνήθη τύπο χρησιμοποιώντας το προσαρμοσμένο Μ.Τ του σφάλματος:

Ε.Σ.Δ =t_{05} $\sqrt{\frac{2MT\Sigma}{n(K+1)}}=1.99\sqrt{\frac{2(18.59)}{6}}=4.95$

C.V =100 $\frac{\sqrt{MT\Sigma'}}{\Gamma.M.O}=100\frac{\sqrt{18.59}}{41.69}=10.34$

- Η σχετική ακρίβεια του σχεδίου, δηλαδή η αποτελεσματικότητά του σε σχέση με το σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων (RCB) δίνεται από τον τύπο:

Σχετική ακρίβεια = $\frac{A.T.O+A.T.\Sigma\varphi.}{K(K^2-1)MT\Sigma'}=\frac{1219+1573}{120(18.59)}=1.25$

- Το παραπάνω αποτέλεσμα δείχνει ότι το Μ.Τ.Σ με βάση το σχέδιο RCB θα ήταν 1.25 μεγαλύτερο από αυτό που βρέθηκε με βάση το ισορροπημένο δικτυωτό. Αν η σχετική ακρίβεια αποδειχθεί μικρή (στο παράδειγμα είναι σχετικώς μικρή) τότε έχουμε συμφέρον να κάνουμε την ανάλυση με βάση το RCB και 6 επαναλήψεις.

Με βάση το RCB η ανάλυση παραλλακτικότητας θα ήταν

Πηγή παραλλ.	Β.Ε	Α.Τ	Μ.Τ	F
Ποικιλ.	24	2464	102.7	4.4
Επαν.	5	408		
Σφάλμα	120	2792	23.27	
Σύνολο	149	5664		

Ε.Σ.Δ.$_{05}$ = 1.98 $\sqrt{\frac{2 \times 23.27}{6}} = 5.51$

C.V = 100 $\frac{\sqrt{23.27}}{41.69} = 11.58\%$

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο σχεδίων παρατηρούμε ότι η Ε.Σ.Δ και το C.V είναι μεγαλύτερα όταν κάνουμε την ανάλυση με το RCB και ότι το Μ.Τ στην περίπτωση αυτή είναι 1.25 φορές μεγαλύτερο από εκείνο του σχεδίου ισορροπημένο δικτυωτό :

ΜΤΣ = 23.27 = ΜΤΣ΄(1859) Χ 1.25

- Σημειώνεται ότι ένα πείραμα μπορεί να εγκατασταθεί στο χωράφι και να γίνει η ANOVA ορισμένων μεταβλητών, που επηρεάζονται πολύ από το περιβάλλον, (π.χ **απόδοση**) με βάση το σχέδιο Balanced Lattice και να γίνει η ανάλυση άλλων μεταβλητών, που επηρεάζονται λιγότερο από το περιβάλλον και επομένως για λόγους οικονομίας να μπορούμε να στηριχτούμε σε λιγότερα δείγματα - επαναλήψεις (π.χ δείκτης Micronaire βαμβακιού), με βάση το RCB όπου δεν υπάρχει ο περιορισμός ως προς συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων.

Β. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟΥΣ ΑΠΟ ΕΝΑΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ.

1) **Τυχαιοποιημένες ομάδες τεμαχίων με κύρια τεμάχια και υποτεμάχια.** (Split - plot design).

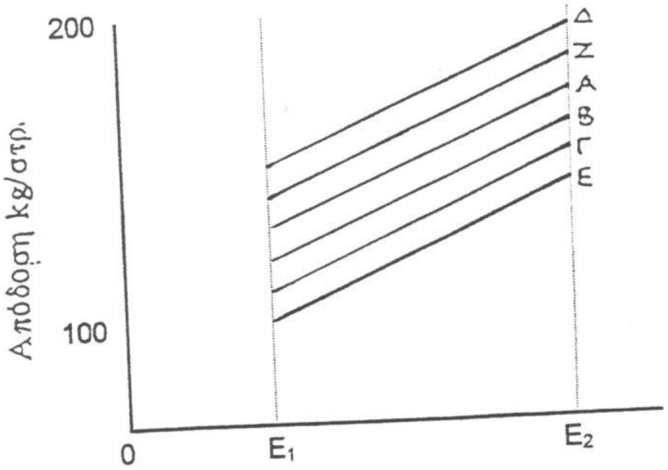
Όταν θέλουμε να διερευνήσουμε την επίδραση δύο παραγόντων (π.χ εποχής σποράς και ποικιλιών αλλά και την **αλληλεπίδραση** αυτών σε ορισμένες μεταβλητές π.χ απόδοση βαμβακιού) τότε εφαρμόζουμε το σχέδιο «Τυχαιοποιημένες ομάδες τεμαχίων με κύρια τεμάχια και υποτεμάχια».

1. **Αλληλεπίδραση**

Έστω ότι θέλουμε να εξετάσουμε τη συμπεριφορά 6 ποικιλιών βαμβακιού σε 2 εποχές σποράς. Μας ενδιαφέρει δηλαδή επιπλέον να δούμε αν όλες οι ποικιλίες συμπεριφέρονται το ίδιο στις 2 εποχές σποράς (δεν αλλάζει η κατάταξη των ποικιλιών στις 2 εποχές) ή ορισμένες ποικιλίες συμπεριφέρονται καλύτερα στη μία εποχή (π.χ πρώιμη) και άλλες στην άλλη εποχή σποράς (όψιμη).

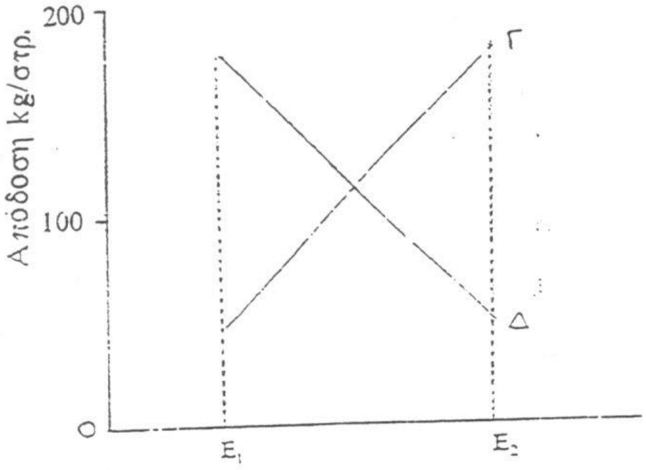
Η έννοια της αλληλεπίδρασης γίνεται κατανοητή με το εξής παράδειγμα: Έστω ότι εξετάσαμε την απόδοση 6 ποικιλιών (Α-Ζ) σε 2 εποχές σποράς (E_1, E_2) και πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

α)



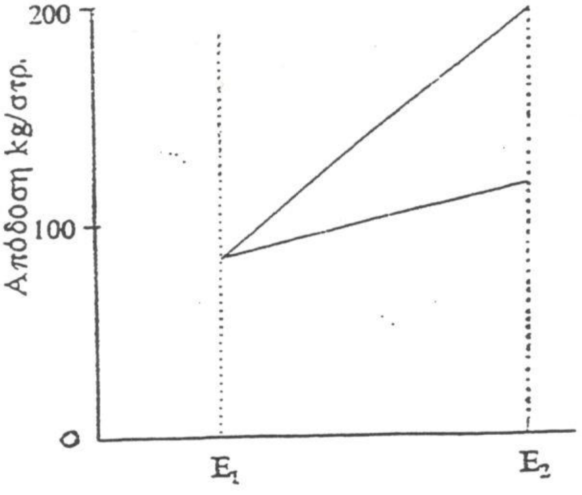
Όλες οι ποικιλίες ευνοούνται εξίσου από την E_2 δηλαδή η κατάταξη των ποικιλιών είναι ακριβώς η ίδια στην E_1 και E_2. Άρα δεν υπάρχει αλληλεπίδραση ποικιλιών και εποχών σποράς. Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να βγάλουμε Μ.Ο των Εποχών σποράς.

β)



Παρατηρούμε ότι η κατάταξη ποικιλιών δεν είναι ίδια στις 2 εποχές σποράς. Η Γ ωφελείται από την E_2 ενώ η Δ από την E_1. Εδώ υπάρχει αλληλεπίδραση και δεν μπορούμε να βγάζουμε Μ.Ο των εποχών σποράς για το Μ.Ο των ποικιλιών.

γ)



Παρατηρούμε ότι η Δ ωφελείται πολύ περισσότερο από την E_2 συγκριτικά με τη Γ. Υπάρχει και πάλι αλληλεπίδραση μεταξύ ποικιλιών και εποχών σποράς η οποία στην περίπτωση αυτή ονομάζεται αλληλεπίδραση βαθμού (γιατί διαφέρει ο βαθμός επηρεασμού των 2 ποικιλιών από την εποχή σποράς) ενώ στην περίπτωση β ονομάζεται αλληλεπίδραση τάξεως (κατάταξης).

Παράδειγμα. Έστω ένα πείραμα με 2 εποχές σποράς, 6 ποικιλίες και 6 επαναλήψεις = 72 τεμάχια. (Μας ενδιαφέρει να μάθουμε όχι μόνο ποιά είναι η καλύτερη ποικιλία αλλά και πότε πρέπει να σπείρουμε την κάθε ποικιλία).

2. **Κατάστρωση πειραματικού σχεδίου - Τυχαιοποίηση**. Στο σχέδιο Split - plot πρέπει να καθορίσουμε ποιός από τους 2 παράγοντες είναι κύριο τεμάχιο και πιό υποτεμάχιο. Κάθε κύριο τεμάχιο περιλαμβάνει όλα τα υποτεμάχια του δεύτερου παράγοντα. Σημειώνουμε, εκ των προτέρων, αλλά θα αποδείξουμε και στη συνέχεια, ότι ο κύριος παράγοντας έχει λιγότερους Β.Ε, άρα εξετάζεται με λιγότερη ακρίβεια, ενώ ο παράγοντας των υποτεμαχίων και η αλληλεπίδραση, έχουν περισσότερους Β.Ε και εξετάζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια. Στην ουσία σπάζουμε την επανάληψη, όπως και στο Balance Lattice, αλλά χωρίς περιορισμούς και ελέγχουμε τον έναν παράγοντα με μεγαλύτερη ακρίβεια και τον άλλο με μικρότερη.

Είναι θέμα επιλογής του ερευνητή να επιλέξει τα κύρια τεμάχια και τα υποτεμάχια. Πολλές φορές η επιλογή του κύριου παράγοντα γίνεται και για τους πρακτικούς λόγους. Π.χ σε πείραμα: Άρδευσης και Ποικιλιών, επιλέγουμε συνήθως την άρδευση ως κύριο τεμάχιο για να έχουμε λιγότερες περιθωριακές γραμμές που θα εξασφαλίσουν στις πειραματικές μας την ανεξαρτησία από το συγκεκριμένο παράγοντα.

Σχεδιάζουμε σε ένα χαρτί τα 72 τεμάχια, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι επαναλήψεις είναι 6, ότι η κάθε επανάληψη έχει 12 τεμάχια, τα οποία ανά

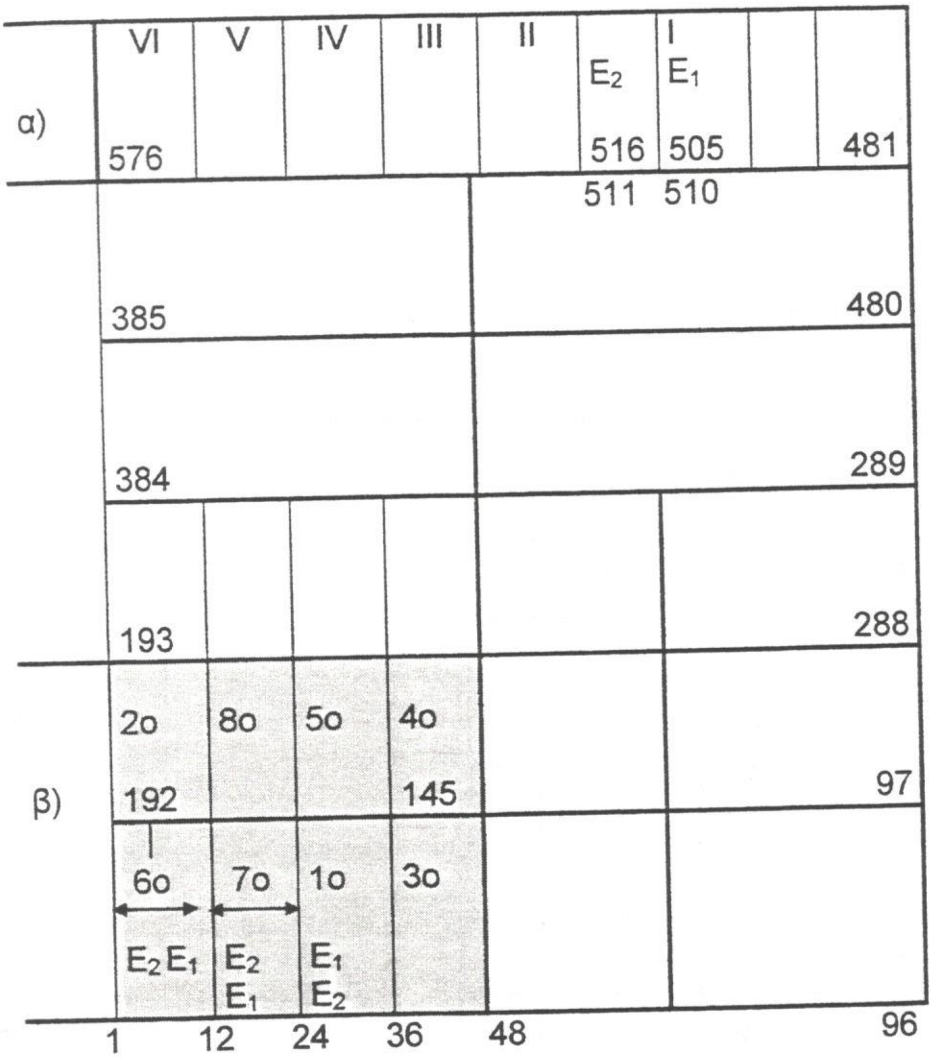
6 αντιστοιχούν στην E_1, και E_2 εποχή σποράς. Πρώτα τυχαιοποιούμε τον κύριο παράγοντα (2 εποχές) στην κάθε επανάληψη και στη συνέχεια τις 6 ποικιλίες σε κάθε κύριο παράγοντα, όπως φαίνεται παρακάτω.

I		II		III		IV	V	VI
1	Β	13	Ε	25	Γ	37	49	61
2	Γ	14	Α	26	Ε	38	50	62
3E_2	Δ	15E_1	Ζ	27E_1	Α	39 E_2	51 E_1	63 E_2
4	Α	16	Β	28	Β	40	52	64
5	Ζ	17	Δ	29	Ζ	41	53	65
6	Ε	18	Γ	30	Δ	42	54	66
7	Ζ	19	Δ	31	Γ	43	55	67
8	Ε	20	Α	32	Α	44	56	68
9E_1	Γ	21E_2	Ζ	33E_2	Ζ	45 E_1	57 E_2	69 E_1
10	Β	22	Β	34	Δ	46	58	70
11	Α	23	Γ	35	Ε	47	59	71
12	Δ	24	Ε	36	Β	48	60	72

3. Σχέδιο αγρού. Ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στο σχέδιο RCB. Επιπλέον παρατηρούμε ότι με το να έχουμε ως κύριο τεμάχιο τις εποχές σποράς διευκολύνεται η εγκατάσταση του πειράματος, γιατί σπέρνουμε όλη την Ε1 (σε συγκεκριμένη ημερομηνία) σε γειτονικά τεμάχια, μέσα στην κάθε επανάληψη. Το σχέδιο αυτό μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση που έχουμε μεγάλο αριθμό ποικιλιών που δεν «χωράνε» να εξεταστούν σε ένα πείραμα, γιατί θα μεγάλωνε πολύ η επανάληψη. Π.χ εάν θέλουμε να εξετάσουμε τη συμπεριφορά 40 ποικιλιών σε 2 εποχές σποράς, τότε μπορεί να κάνουμε 8 πειράματα, όπως το παραπάνω, στο καθένα από τα οποία θα μελετούμε 5 ποικιλίες και ως 6η θα μπαίνει πάντοτε ένας κοινός μάρτυρας. Τα 8 πειράματα θα μπορούσαν να τοποθετηθούν το ένα σε συνέχεια του άλλου και να καταλάβουν στον αγρό μια έκταση που συμπεριλαμβάνει τα 576 τεμάχια(8 πειράματα Χ 2 επ. σποράς Χ 6 επαναλ.). Αλλά για να ελέγξουμε καλύτερα την ετερογένεια του εδάφους μπορούμε να βάλουμε σε μία ομάδα, γειτονικών τεμαχίων την Ι επανάληψη και των 8 πειραμάτων, (τυχαιοποιημένων) στη συνέχεια τη ΙΙ επανάληψη κ.ο.κ. (Πίν. 9). Η εφαρμογή αυτή δεν επηρεάζει καμιά από τις φάσεις του πειραματισμού (κατάστρωση πειράματος, λήψη παρατηρήσεων, ANOVA κλπ) παρά μόνο την εγκατάσταση στον αγρό. Η πινακοποίηση και η ανάλυση παραλλακτικότητας γίνεται χωριστά για το κάθε πείραμα.

Θ49 ↓ τυχαιοποίηση

Πίνακας 9. Εγκατάσταση 8 πειραμάτων με 2 εποχές σποράς, 6 ποικιλίες και 6 επαναλήψεις.



α) Ανεξάρτητη εγκατάσταση των 8 πειραμάτων. β) Εγκατάσταση των 8 πειραμάτων ανά επανάληψη.

Σημ. Όλο το σκιασμένο τμήμα αποτελεί την I επανάληψη (σύνολο της I επανάληψης των 8 πειραμάτων).

4. **Λήψη παρατηρήσεων**. Όπως και στα προηγούμενα σχέδια

5. **Πινακοποίηση αποτελεσμάτων**. Όπως και στα προηγούμενα σχέδια (με βάση και το παρακάτω πίνακα).

		I	II	III	IV	V	VI	Σύν	Μ.Ο	
E_1	Α Β Γ Δ Ε Ζ									
										Σύν ΜΟ
E_2	Α Β Γ Δ Ε Ζ									

Ο πίνακας της ανάλυσης παραλλακτικότητας δίνεται παρακάτω.

6ποικ x 6επαν x 2εποχες = 72 τεμάχια

6. **Στατιστική ανάλυση.**

Πηγή παραλλ.	Β.Ε	Α.Τ	Μ.Τ	F
Επαναλήψεις	(r-1) = 5			
Εποχές σποράς	(t_1-1) = 1			
Σφ. 1	$(r-1)(t_1-1)$ = 5			
Σύνολο 1	$r \times t_1-1$ = 11			
Ποικιλίες	(t_2-1) = 5			
Ποικ.ΧΕπ. σπ.	$(t_2-1)(t_1-1)$ = 5			
Σφ. 2	$(r-1)\,[t_2-1+(t_2-1)(t_1-1)]$ =50			
Σύνολο	$r\,.t_1.\,t_2-1$ =71			

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα σχέδια και συγκεκριμένα στο RCB. Παρατηρούμε ότι οι Β.Ε του 1ου Σφάλματος (με το οποίο εξετάζονται οι εποχές σποράς) είναι μόνο 5, ενώ του 2ου είναι 50. Πρακτικώς οι Β.Ε του 1ου Σφάλματος

υπολογίζονται από το ινόμενο των Β.Ε των επαναλήψεων και των εποχών (5 x 1) (ή από τη διαφορά από το Σύνολο 1), της αλληλεπίδρασης από το γινόμενο των Β.Ε των απλών παραγόντων (εποχών και ποικιλιών) (1 x 5) και του Σφάλματος 2 από το γινόμενο των Β.Ε των επαναλήψεων με το άθροισμα των ΒΕ του δευτέρου παράγοντα (ποικιλίες) και της αλληλεπίδρασης (5 x (5+5)).

Για τον υπολογισμό των Α.Τ υψώνουμε στο τετράγωνο τα σύνολα που αντιστοιχούν σε κάθε μεταχείριση του παράγοντα, το άθροισμα αυτών το διαιρούμε με τον αριθμό των τεμαχίων από τον οποίο υπολογίστηκε το κάθε σύνολο και αφαιρούμε τον Δ.Ο. Από το Α.Τ της αλληλεπίδρασης αφαιρούμε επιπλέον το Α.Τ των μεμονωμένων παραγόντων (εποχών και ποικιλιών).

Έτσι: Για το Α.Τ των επαναλήψεων υψώνουμε στο τετράγωνο τα 6 σύνολα των επαναλήψεων, διαιρούμε με το 12 (γιατί κάθε σύνολο προέρχεται από 12 νούμερα - τεμάχια) και αφαιρούμε το Δ.Ο. Αλλά το 12 προκύπτει και από το πηλίκο 72 (αρ. τεμαχίων) : 6 (αρ. επαναλήψεων)

Για το Α.Τ των εποχών σποράς υψώνουμε στο τετράγωνο τα 2 σύνολα των εποχών, διαιρούμε με το 36 και αφαιρούμε το Δ.Ο. Για το Α.Τ του Συνόλου 1 υψώνουμε στο τετράγωνο τα 6 σύνολα των εποχών με τις επαναλήψεις (2 Χ 6) διαιρούμε με το 6 και αφαιρούμε το Δ.Ο. Το Α.Τ του σφάλματος υπολογίζεται, ως συνήθως από τη διαφορά. Για το

Α.Τ των ποικιλιών υψώνουμε στο τετράγωνο τα 6 σύνολα που αντιστοιχούν στις 6 ποικιλίες διαιρούμε με το 12και αφαιρούμε το Δ.Ο. Για το Α.Τ της αλληλεπίδρασης υψώνουμε στο τετράγωνο τα 12 σύνολα που αντιστοιχούν στις 6 ποικιλίες αλλά σε κάθε εποχή σποράς (6 Χ2), διαιρούμε με το 6 αφαιρούμε τον Δ.Ο, αφαιρούμε το Α.Τ των εποχών και το Α.Τ των ποικιλιών.

Τα Μ.Τ προκύπτουν, όπως πάντοτε, από το πηλίκο Α.Τ : Β.Ε.

Το F προκύπτει από το πηλίκο Μ.Τ του παράγοντα δια του Μ.Τ του αντίστοιχου σφάλματος (για τις εποχές σποράς το Σφάλμα 1 και για ποικιλίες και αλληλεπίδραση το Σφάλμα 2).

Εφόσον τα F είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα του πίνακα υπολογίζουμε την Ε.Σ.Δ από το γενικό τύπο, λαμβάνοντας υπόψη το Μ.Τ του αντίστοιχου σφάλματος. Π.χ εφόσον το F των εποχών σποράς είναι σημαντικό τότε: Ε.Σ.Δ.$_{05}$ = t.$_{05}$ $\sqrt{\frac{2xM.T\sigma\varphi.1}{36}}$ και ομοίως για τις ποικιλίες: Ε.Σ.Δ.$_{05}$ = t.$_{05}$ $\sqrt{\frac{2xM.T\sigma\varphi.2}{12}}$ και για την αλληλεπίδραση: Ε.Σ.Δ$_{05}$ = t.$_{05}$ $\sqrt{\frac{2XM.T\sigma\varphi.2}{6}}$. Σημειώνουμε ότι το t στους παραπάνω τύπους δεν είναι ίδιο αλλά επηρεάζεται από τους Β.Ε του αντίστοιχου Σφάλματος (π.χ για εποχές σποράς το t για 5 Β.Ε και για τα υπόλοιπα για 50 Β.Ε) .

7) **Παρουσίαση αποτελεσμάτων**. Ένας τρόπος να δώσουμε τους Μ.Ο των παραγόντων και της αλληλεπίδρασής τους και την αντίστοιχη Ε.Σ.Δ (εφόσον υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές, διαφορετικά σημειώνουμε το ns) για την κάθε περίπτωση, για το συγκεκριμένο πείραμα είναι ο παρακάτω.

E_1 -
E2 -
Ε.Σ.Δ.05
A -
B -
Γ -
Δ -
E -
Z -
Ε.Σ.Δ. 05

	E1	E2
A	-	-
B	-	-
Γ	-	-
Δ	-	-
E	-	-
Z	-	-
Ε.Σ.Δ.$_{05}$		

Επαναλαμβάνουμε ότι εφόσον η αλληλεπίδραση είναι σημαντική δεν είναι λογικό να δώσουμε τους Μ.Ο των μεμονωμένων παραγόντων. Π.χ εάν διερευνούμε τη συμπεριφορά 6 ποικιλιών σε συνθήκες ξηρικής και αρδευόμενης καλλιέργειας και βρούμε σημαντική αλληλεπίδραση τότε ο Μ.Ο μιας ποικιλίας στην ξηρική και αρδευόμενη καλλιέργεια δεν αντιπροσωπεύει καμμία πραγματική κατάσταση.

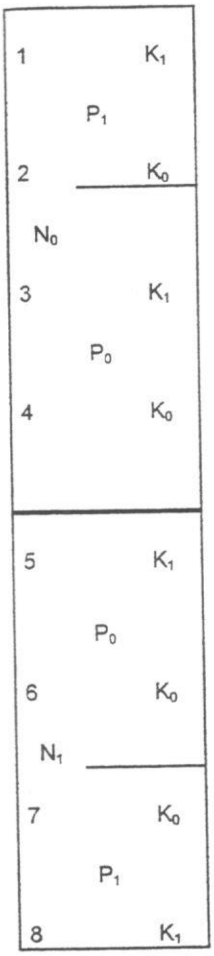
) Πειράματα Παραγοντικά (Factorial)

Εάν θέλουμε να διερευνήσουμε την επίδραση που ασκούν π.χ 3 παράγοντες (π.χ N, P, K) που μελετώνται π.χ σε 2 επίπεδα αλλά και την αλληλεπίδραση αυτών τότε το πείραμα είναι παραγοντικό (3 παράγοντες σε 2 επίπεδα) και αναφέρεται ως πείραμα: 2^3 (N, P, K) =8 όσοι και οι συνδυασμοί των 3 παραγόντων σε 2 επίπεδα (όσα και τα τεμάχια μιας επανάληψης). Αν παραστήσουμε με No το 1ο επίπεδο αζώτου και N_1 το 2ο και παρομοίως για τον P και το K, τότε οι δυνατοί συνδυασμοί στην περίπτωση αυτή είναι:

No Po Ko, No Po K_1, No P_1 Ko, No P_1 K_1, N_1 Po Ko, N_1 Po K_1, N_1 P_1 Ko, N_1 P_1 K_1. Σημειώνεται ότι οι 8 αυτοί συνδυασμοί μπορεί να μελετηθούν και με το σχέδιο RCB αλλά με το σχέδιο των τυχαιοποιημένων ομάδων τεμαχίων με κύρια τεμάχια, υποτεμάχια και υπο-υποτεμάχια που αντιστοιχεί στο παραπάνω παράδειγμα ελαχιστοποιούμε τις περιθωριακές γραμμές (όπως εξηγήσαμε και στο προηγούμενο πείραμα) άρα μικραίνουμε το πείραμα. Βέβαια ο παράγοντας που αντιστοιχεί στα κύρια τεμάχια εξετάζεται με μικρότερη ακρίβεια, εκείνος που αντιστοιχεί στα υποτεμάχια με μεγαλύτερη και εκείνος που αντιστοιχεί στα υπο υποτεμάχια με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια.

Παράδειγμα 2^3 X 5 . Έστω 3 παράγοντες (N, P, K) σε 2 επίπεδα (Οκαι 1) σε 5 επαναλήψεις σε διάταξη Split - Split - Split - Plot όπου κύριο τεμάχιο είναι το N, υποτεμάχιο ο P και υπο-υποτεμάχιο το K. Σύνολο τεμαχίων 8 X 6 = 48. Τα 8 τεμάχια της κάθε επανάληψης τα χωρίζουμε σε δύο ομάδες (ανά 4) και τυχαιοποιούμε τον πρώτο παράγοντα(N). Τα 4 τεμάχια του κύριου παράγοντα τα χωρίζουμε ανά 2 και τυχαιοποιούμε τον 2ο παράγοντα (P) και στα 2 τεμάχια του 2ου παράγοντα τυχαιοποιούμε τον 3ο (K).

Έτσι προκύπτει η παρακάτω π.χ τυχαιοποίηση της Ι επανάληψης.



Για την πινακοποίηση των δεδομένων χρειάζεται ο παρακάτω πίνακας.

			I	II	III	IV	V	Σύν.	
N₀	P₀	K₀							
		K₁							
	P₁	K₀							
		K₁							
									N₀
N₁	P₀	K₀							
		K₁							
	P₁	K₀							
		K₁							
									N₁
Συν									
P₀									
P₁									
K₀									
K₁									

πό τον παραπάνω πίνακα συμπληρώνουμε το παρακάτω βοηθητικό ινακίδιο.

	P_0	P_1	K_0	K_1
N_0	x	x	x	x
N_1	x	x	x	x
P_0			x	x
P_1			x	x

Για την ANOVA ισχύουν τα παρακάτω στοιχεία.

Πηγή παραλλ.	Β.Ε	Α.Τ	Μ.Τ.	F
Επαναλ	4			
N	1			
Σφ.	4			
Σύν. 1	9			
P	1			
NP	1			
Σφ2	8			
Σύν.2	19			
K	1			
NK	1			
PK	1			
NPK	1			
Σφ 3	16			
Σύνολο	**39**			

Τα Α.Τ υπολογίζονται ως εξής:

A.T Επαναλ.:	Άθροισμα τετραγ. 5 αρ./	8 - Δ.Ο
N	2 αρ./	20 - Δ.Ο
Σύν. 1	(2 x5)= 10 /	4 - Δ.Ο
P	2 /	20 - Δ.Ο
NP	2N x 2P=4 /	10 - Δ.Ο - AT.N - AT.P (μείον Α.Τ παρ. που συμ/τέχουν στην αλλ.)
)Σύν. 2	2N x 2P x 5επ=20 /	2 - Δ.Ο
K	2 /	20 - Δ.Ο
NK	2 x 2=4 /	10 - Δ.Ο - AT.N - AT.K. >>
PK	2 x 2=4 /	10 - Δ.Ο - AT.P - AT.K >>
NPK	2 x 2 x2=8 /	5 - Δ.Ο - AT.N-AT.P-AT.K-AT.NP-AT.NK-AT.PK
Σύν. 3	2 x 2 x2 x 5=40	- Δ.Ο

Για το F του κάθε παράγοντα κοιτάζουμε στον πίνακα των F οριζόντια για Β.Ε του παράγοντα και κάθετα για Β.Ε του αντίστοιχου σφάλματος. Δηλαδή: για N --> 1/4, για P και NP --> 1/8 και για K,NK,PK,NPK--> 1/16. Επομένως μεγαλύτερη πιθανότητα να βγάλουμε στατιστικώς σημαντικές διαφορές για το K και τις αλληλεπιδράσεις του απ' ότι για το P και πολύ μεγαλύτερη απ' ότι για το N.

Ε.Σ.Δ.$_{05}$ Αζώτου = $t_{.05}\sqrt{\frac{2\times MT\Sigma\varphi.1}{20}}$

(Β.Ε=4)

Ε.Σ.Δ.$_{05}$ Φωσφόρου = $t_{.05}\sqrt{\frac{2\times MT\Sigma\varphi.2}{20}}$

(Β.Ε=8)

Ε.Σ.Δ.$_{05}$ NP = $t_{.05}\sqrt{\frac{2\times MT\Sigma\varphi.2}{10}}$

(Β.Ε=8)

Ε.Σ.Δ.$_{05}$ Καλίου = $t_{.05}\sqrt{\frac{2\times MT\Sigma\varphi.3}{20}}$

(Β.Ε=16)

Ε.Σ.Δ.$_{05}$ NK(και PK) = $t_{.05}\sqrt{\frac{2\times MT\Sigma\varphi.3}{10}}$

(Β.Ε=16)

$$Ε.Σ.Δ._{.05}\ NPK = t_{.05}\sqrt{\frac{2\times ΜΤΣφ.3}{5}}$$

(Β.Ε=16)

Σημειώνεται ότι όταν η 2ου βαθμού αλληλεπίδραση είναι σημαντική (δηλαδή αλληλεπίδραση N,P,K) δίνουμε βέβαια την Ε.Σ.Δ αλλά είναι δύσκολη να ερμηνευθεί, δηλαδή πώς επηρεάζονται οι μέσοι όροι από την αλληλεπίδραση αυτή και τί πρακτική σημασία έχει (γενικώς για τα βιολογικά φαινόμενα).

Παράδειγμα 3^3. Στο πείραμα αυτό μελετώνται 3 παράγοντες (εκθέτης) σε 3 επίπεδα. Με το πείραμα αυτό δίνεται η δυνατότητα να μελετηθεί πέραν της ευθύγραμμης σχέσης και η καμπυλόγραμμη σχέση των παραγόντων με τις μεταβλητές τις οποίες επιθυμούμε να εκτιμήσουμε. Στο πείραμα 2^3 ήταν δυνατό να μελετηθεί μόνο η ευθύγραμμη σχέση αλλά έτσι πιθανό να οδηγηθούμε σε λανθασμένα αποτελέσματα και να θεωρήσουμε π.χ ότι η απόδοση του βαμβακιού αυξάνει συνεχώς όσο αυξάνει το επίπεδο της αζωτούχου λίπανσης. Ακόμη μπορεί η επίδραση της αζωτούχου λίπανσης να ακολουθεί ευθύγραμη σχέση, ενώ του Ρ και του Κ να είναι καμπυλόγραμμη σχέση, δηλαδή να μη ωφελεί η λίπανση του Ρ και Κ πέραν του 2ου επιπέδου. Στο πειραματικό σχέδιο 4 Χ 3 Χ2 για τον 1ο παράγοντα μπορεί να μελετηθεί και η σχέση 3ου βαθμού (ένας βαθμός λιγότερος από τα μελετούμενα επίπεδα, για τον 2ο παράγοντα μπορεί να μελετηθεί η 2ου βαθμού σχέση (καμπυλόγραμμη) και για του 3ο παράγοντα μπορεί να μελετηθεί μόνο η ευθύγραμη.

Σημειώνεται ότι στα βιολογικά φαινόμενα σπάνια ενδιαφέρει (γιατί εξάλλου δεν μπορεί να ερμηνευθεί) σχέση πέραν του 2ου βαθμού.

Η διαδικασία της τυχαιοποίησης, της ANOVA κλπ για το παράδειγμα 3^3 (και για άλλα τυχόν) ακολουθεί τις ίδιες αρχές που αναπτύχθηκαν στα άλλα παραδείγματα.

Παράδειγμα 4 Χ 3 Χ2. Στο πείραμα αυτό μελετώνται 3 παράγοντες: Ο 1ος (κύρια τεμάχια) σε 4 επίπεδα, ο 2ος (υποτεμάχια) σε 3 επίπεδα και 3ος (υπό-υποτεμάχια) σε 2 επίπεδα. Άρα τα τεμάχια της κάθε επανάληψης θα είναι: 4 Χ3 Χ2 = 24. Η επανάληψη σπάζει πρώτα σε 4 υπο-ομάδες (ανά 6 τεμάχια) στις οποίες τυχαιοποιούνται τα 4 επίπεδα του 1ου παράγοντα, η υπο-ομάδα σπάζει σε 3 υπο-ομάδες (ανά 2 τεμάχια) στις οποίες τυχαιοποιούνται τα 3 επίπεδα του 2ου παράγοντα κ.ο.κ.

Παρακάτω δίνεται η τυχαιοποίηση της ΙΙΙ (π.χ) επανάληψης και η ANOVA μέχρι τους Β.Ε. Η υπόλοιπη διαδικασία είναι η συνήθης. Θεωρείται ότι οι 3 παράγοντες είναι και πάλι: Ν, Ρ, Κ και ότι υπάρχουν 5 επαναλήψεις (24 Χ 5 = 120).

1	N_3	P_2	K_1
2			K_2
3		P_1	K_2
4			K_1
5		P_3	K_2
6			K_1
7	N_1	P_3	K_1
8			K_2
9		P_2	K_1
10			K_2
11		P_1	K_2
12			K_1
13	N_2	P_1	K_2
14			K_1
15		P_2	K_1
16			K_2
17		P_3	K_2
18			K_1
19	N_4	P_2	K_1
20			K_2
21		P_3	K_1
22			K_2
23		P_1	K_2
24			K_1

ANOVA

Πηγή παραλλακτ.	Β.Ε
Επαναλ.	4
N	3
Σφ.1	12
Συν.1	19
P	2
NP	6
Σφ.2	32
Συν. 2	59
K	1
PK	2
NK	3
NPK	6
Σφ. 3	48
Συν.3	119

. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ - ΣΥΜΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

1) Απλή συσχέτιση - συμμεταβολή .

Παρακάτω δίνονται μερικά μόνο στοιχεία (επιγραμματικά) που φορούν στις συσχετίσεις - συμμεταβολές που μπορεί να ισχύουν μεταξύ εταβλητών.

Συχνά συμβαίνει μεταβολές σε μία μεταβλητή να συνοδεύονται από παράλληλες μεταβολές σε μια άλλη και να υπάρχει μεταξύ τους μια ορισμένη σχέση, δηλαδή οι δύο μεταβλητές να είναι συσχετισμένες.

Τη μεταβλητή που προκαλεί (ή ερμηνεύει) τη μεταβολή της άλλης μεταβλητής την ονομάζουμε ανεξάρτητη και την τοποθετούμε στον άξονα Χ ενώ την άλλη την ονομάζουμε εξηρτημένη και την τοποθετούμε στον άξονα των Ψ.

Η σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών ενδιαφέρει πρακτικώς γιατί μπορούμε ευκολότερα να μετρήσουμε αντικειμενικά τις τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής (π.χ μήκος στάχεως σταριού) και με βάση την καθορισμένη σχέση να εκτιμήσουμε (χωρίς να μετρήσουμε) την τιμή της εξηρτημένης μεταβλητής (π.χ αριθμός κόκκων ανά στάχυ σταριού). Όπως επίσης να προκαλέσουμε την ορθή ματαβολή στην ανεξάρτητη μεταβλητή (π.χ λίπανση) η οποία θα επιφέρει την επιθυμητή μεταβολή της εξηρτημένης μεταβλητής (π.χ απόδοση).

Όταν αυξάνουν οι τιμές της μιας μεταβλητής και παράλληλα μεγαλώνουν οι τιμές της άλλης μεταβλητής λέμε ότι ισχύει θετική συσχέτιση. Όταν μεγαλώνουν οι τιμές της μιας μεταβλητής ενώ της άλλης ελαττώνονται ισχύει αρνητική συσχέτιση. Παράδειγμα πλήρους θετικού συσχετισμού και επομένως τέλειας γραμμικής συμμεταβολής είναι η σχέση ανάμεσα στο μήκος μιας σιδερένιας ράβδου και της θερμοκρασίας. Για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας αντιστοιχεί μία συγκεκριμένη αύξηση του μήκους της ράβδου. Σε βιολογικές μετρήσεις δεν υπάρχει απόλυτη συσχέτιση, αλλά υπάρχουν προφανείς συσχετισμοί. Π.χ υπάρχει (συνήθως) θετική συσχέτιση μεταξύ αριθμού καρυδιών βαμβακιού ανά μονάδα επιφανείας εδάφους και απόδοσης στην ίδια μονάδα και αρνητική συσχέτιση μεταξύ αριθμού φυτών ανά μονάδα επιφανείας εδάφους και αποδόσεως ανά φυτό.

α) **Ευθύγραμμη συσχέτιση - συμμεταβολή**. Όταν μία μεταβλητή μεταβάλλεται παράλληλα με μία άλλη μεταβλητή υπάρχει Ευθύγραμμη συσχέτιση - συμμεταβολή.

Θέμα

Παράδειγμα. Οι εκτιμήσεις της στρεμματικής απόδοσης μιας καλλιέργειας που έκανε ένας γεωπόνος με βάση ορισμένα κριτήρια σε 20 αγρούς (x) και οι πραγματικές αποδόσεις όπως βρέθηκαν μετά τη συγκομιδή (ψ) δίνονται στα παρακάτω 20 ζεύγη τιμών (βλ. Μητακίδης, 1963).

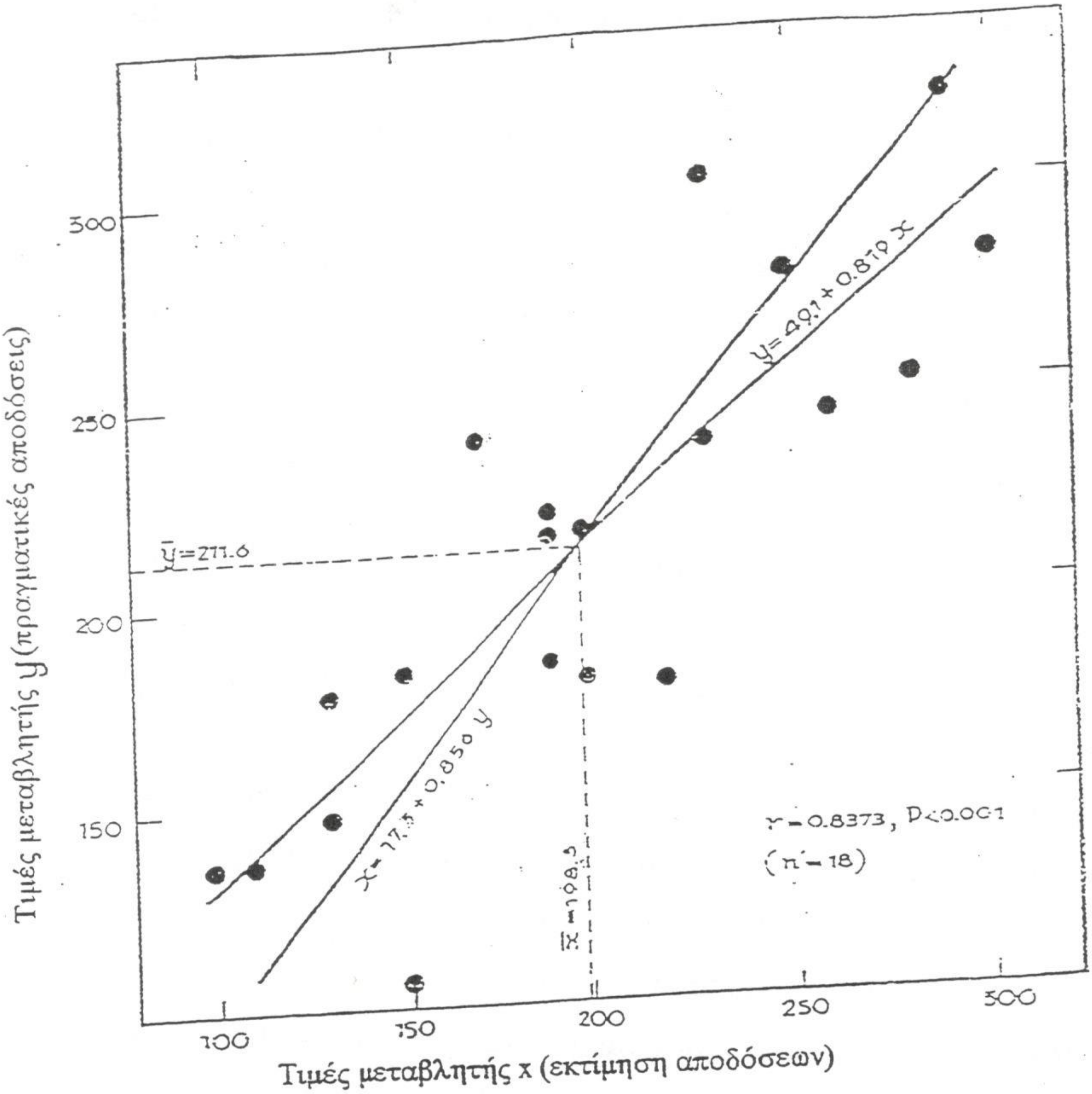
																					Σύν.	M.O
X	190	100	130	220	260	230	290	190	230	170	150	150	200	190	130	110	280	200	300	250	3970	198.5
ψ	221	136	148	179	242	237	320	215	302239		107	183	180	184	178	137	251	216	280	277	4232	211.6

Αν παραστήσουμε γραφικά τα ζεύγη αυτών των αριθμών (κάθε κουκίδα αντιστοιχεί σε ένα ζεύγος) στον άξονα των x και ψ, παίρνουμε το Σχήμα 10 (συνήθως τοποθετούμε πρώτα τα σημεία για να πάρουμε μια ιδέα για το τι σχέση υπάρχει).

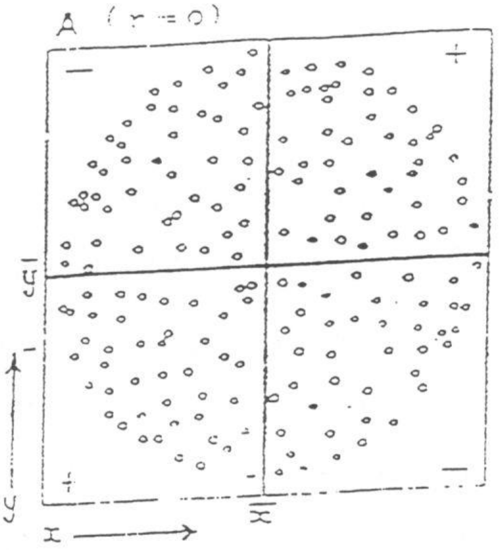
Παρατηρούμε ότι τα σημεία έχουν την τάση να παραλλάσουν γύρω από μία νοητή ευθεία γραμμή με κατεύθυνση από κάτω αριστερά προς τα επάνω δεξιά πράγμα που δείχνει θετική συσχέτιση (δηλαδή ότι ήταν σωστές οι εκτιμήσεις της απόδοσης που έκανε ο γεωπόνος).

Ο βαθμός συσχετισμού μετριέται με τον συντελεστή r που είναι ίσος με μηδέν όταν δεν υπάρχει καθόλου συσχέτιση και έχει τιμή +1 όταν υπάρχει απόλυτη θετική συσχέτιση και -1 όταν υπάρχει απόλυτη αρνητική συσχέτιση. Επομένως όσο περισσότερο τείνει η τιμή του r στο +1 ή στο -1 τόσο στενότερη σχέση υπάρχει. Η διασπορά των σημείων γύρω από τη νοητή γραμμή είναι τόσο μικρότερη όσο μεγαλύτερη

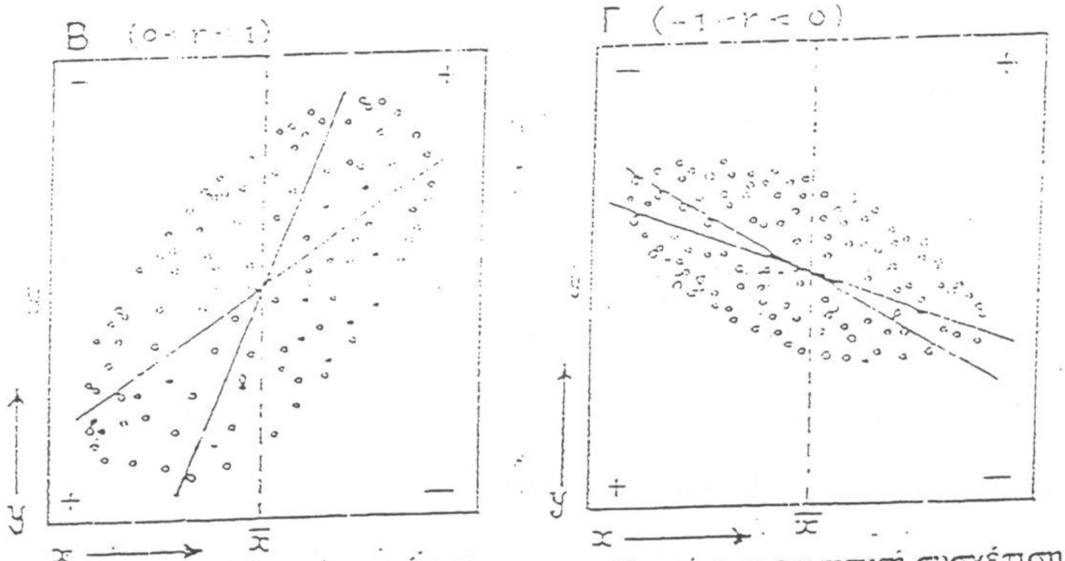
+1 ή στο -1 τόσο στενότερη σχέση υπάρχει. Η διασπορά των σημείων γύρω από τη νοητή γραμμή είναι τόσο μικρότερη όσο μεγαλύτερη (απόλυτη) τιμή έχει το r, ενώ είναι τελείως άτακτη όταν η τιμή του r = 0. (βλ. Σχήμα 11).



ΣΧΗΜΑ 10. Γραμμική συσχέτιση. Οι ευθείες παριστάνουν τις δυο γραμμές συμμεταβολής που διέρχονται από το σημείο $\bar{x}$ και $\bar{y}$

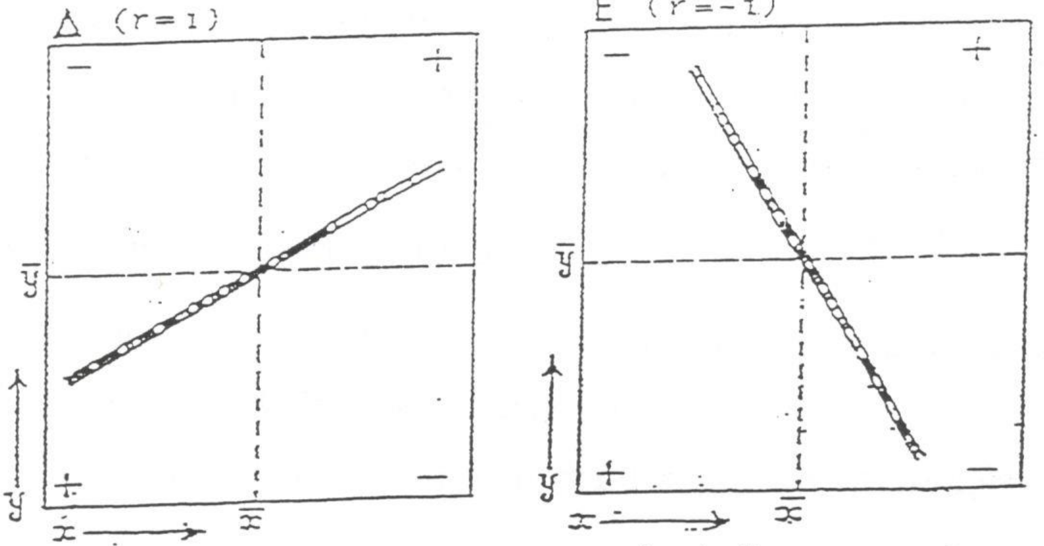


Έλλειψη συσχέτισης



Μερική θετική συσχέτιση

Στενότερη αρνητική συσχέτιση



Απόλυτη θετική

Απόλυτη αρνητική

Σχ. 11. Έλλειψη - Ύπαρξη θετικής ή αρνητικής συσχέτισης

Σημειώνουμε ότι είναι διαφορετική η νοητή γραμμή (και η συσχέτιση) αν ως ανεξάρτητη μεταβλητή θεωρήσουμε τις τιμές ψ (στο παράδειγμά μας οι πραγματικές αποδόσεις) και εξηρτημένη τις τιμές Χ (τιμές που εκτιμήθηκαν). Οι δύο νοητές γραμμές συμπίπτουν όταν υπάρχει απόλυτη συσχέτιση (r = ± 1) και αποκλίνουν τόσο περισσότερο όσο χαλαρότερη είναι η σχέση (r = ± 1) και φθάνουν να είναι κάθετες μεταξύ τους όταν r = 0 (βλ. σχ. 11).

π.χ. 91% μεταβολή του Χ αλλάζει 91% της τιμής της [illegible] μεταβλητής

Ο συντελεστής συσχέτισης r δίνεται από τον τύπο:

$$r = \frac{\Sigma x\psi - \Sigma x \Sigma\psi / n}{\sqrt{\left[\left(\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}\right)\right] \cdot \left[\left(\Sigma\psi^2 - \frac{(\Sigma\psi)^2}{n}\right)\right]}}$$

να τον ξέρουμε τον τύπο

Οι υπολογισμοί είναι εύκολο να γίνουν με βάση τις τιμές που δίνονται στο παραπάνω παράδειγμα.

- Το τετράγωνο του συντελεστού συσχέτισης (r^2) ονομάζεται **συντελεστής προσδιορισμού** και δείχνει το ποσοστό παραλλακτικότητας της εξηρτημένης μεταβλητής που οφείλεται στην παραλλακτικότητα της ανεξάρτητης. Δηλαδή προσδιορίζει σε ποσοστά την ακρίβεια με την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε μία τιμή ψ από την αντίστοιχη τιμή Χ.

- Η δοκιμή σημαντικότητας του r, με βάση το F κριτήριο, δίνεται από τον τύπο $F = \frac{(n-2)r^2}{1-r^2}$ (όπου n = αριθμός των ζευγών των τιμών Χ και ψ) και συγκρίνεται με το F του πίνακα για 1/n-2 (οριζόντια 1 και κάθετα n- 2)

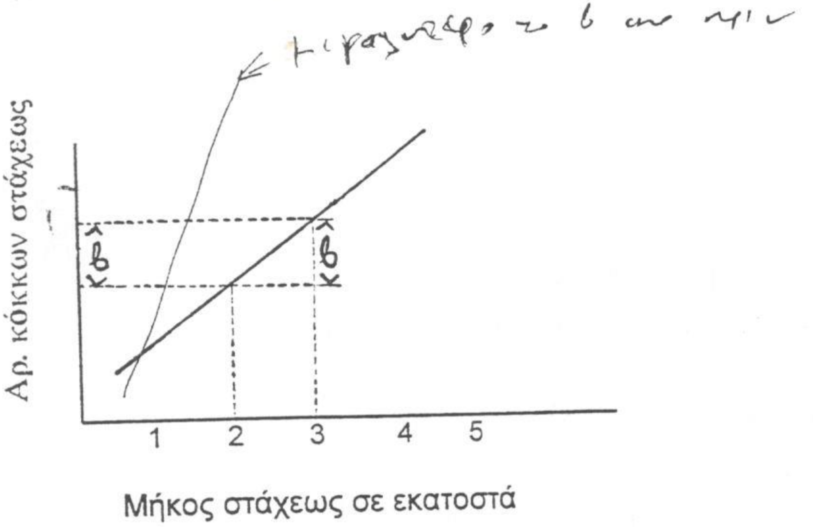
είναι μικρότερο
δεν
και σημαντικό
δεν
[illegible]
[illegible] εγχείρηση

- Η εξίσωση της ευθύγραμμης συμμεταβολής, βάσει της οποίας υπολογίζουμε τις τιμές ψ με βάση τις τιμές Χ δίνεται από τον τύπο:

-

$$\boxed{\psi=\alpha+\beta x}\text{ , όπου }\boxed{\alpha = \frac{\Sigma\psi - \beta\Sigma x}{n}}\quad\text{και}\quad\boxed{\beta = \frac{\Sigma x\psi - \Sigma x\Sigma\psi / n}{\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / n}}$$

Ο συντελεστής β ονομάζεται **συντελεστής συμμεταβολής** και δείχνει πόσο μεταβάλλεται ο εξαρτημένος παράγοντας ψ για κάθε μονάδα μεταβολής του ανεξάρτητου παράγοντα Χ. Δείχνει δηλαδή την κλίση της γραμμής συμμεταβολής όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

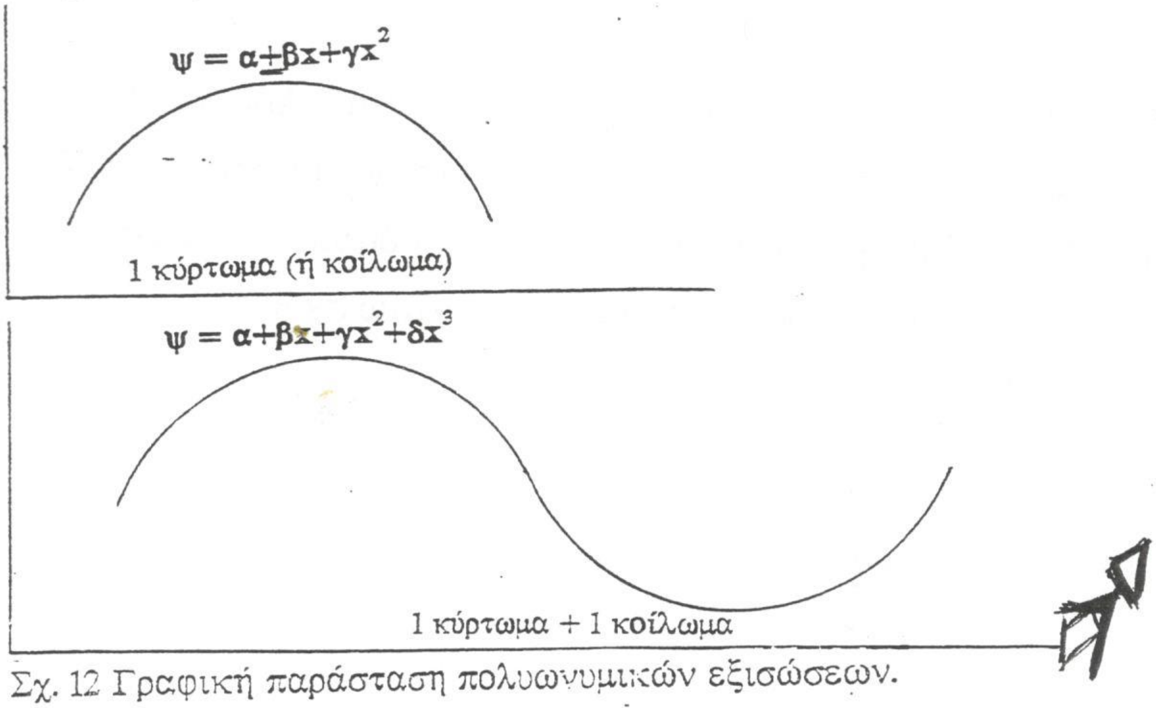


β) Άλλες μορφές απλών συσχετίσεων - συμμεταβολών.

Μπορεί δύο μεταβλητές να μη συνδέονται με ευθύγραμμη σχέση αλλά με πολυωνυμική, δεύτερου, τρίτου και ανώτερων βαθμών, της γενικής μορφής :

$ψ = α+βx+γx^2+δx^3+$---- (βλ. Σχήμα 12). Σημειώνεται ότι στα βιολογικά φαινόμενα σπάνια μας ενδιαφέρει η πέραν του 2ου βαθμού συσχέτιση. Αρκετά συνήθης είναι η καμπυλόγραμμη (2ου βαθμού) ενώ υπάρχει και η εκθετική της μορφής $ψ = αx^β$ γιατί μπορεί να μετατραπεί σε γραμμική εξίσωση αν προστρέξουμε στους λογαρίθμους, γιατί τότε έχουμε την εξίσωση :

$ψ = αx^β$ --->λογ.ψ =λογ.α+βλογ.x που επιλύεται όπως η ευθύγραμμη εξίσωση.



Σχ. 12 Γραφική παράσταση πολυωνυμικών εξισώσεων.

2) Πολλαπλή συσχέτιση - συμμεταβολή

περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές

Υπάρχει περίπτωση μία εξηρτημένη μεταβλητή να μεταβάλλεται (να επηρεάζεται, να προσδιορίζεται) σε σχέση με περισσότερες της μιας ανεξάρτητες μεταβλητές, οπότε ισχύει η σχέση :

$\psi = \alpha + \beta x_1 + \gamma x_2 + \delta x_3 +$ ———

Στην περίπτωση αυτή η συσχέτιση μετριέται με τον συντελεστή πολλαπλής συσχέτισης R, που είναι ίδιος όπως και στην περίπτωση των πολυωνυμικών σχέσεων. Π.χ ο προσδιορισμός της απόδοσης του βαμβακιού (τιμές ψ) είναι ακριβέστερος αν αντί της απλής συσχέτισης με τον αριθμό καρυδιών ανά μονάδα επιφανείας, (τιμές x_1) συνυπολογιστεί και η επίδραση που ασκεί το μέσο βάρος καρυδιού (τιμές x_2). Για να δικαιολογείται η συνεκτίμηση μιας επιπλέον ανεξάρτητης μεταβλητής θα πρέπει, πρακτικώς ο συντελεστής R με βάση π.χ 4 ανεξάρτητες μεταβλητές να είναι στατιστικώς μεγαλύτερος από τον R με 3 ανεξάρτητες κ.ο.κ, όπως και ο R με 2 ανεξάρτητες να είναι μεγαλύτερος από τον συντελεστή απλής συσχέτισης.

ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΑΣΚΗΣΕΙΣ - ΘΕΜΑΤΑ

1. Δίνονται οι τιμές : 20.1, 20.0, 20.1, 20.2, 20.2, 20.2, 20.3, 20.3, 20.4 και 20.5.
Να βρεθούν : $\bar{x}$, s^2, s, $s_{\bar{x}}$ με κωδικοποίηση και χωρίς κωδικοποίηση και τα όρια εμπιστοσύνης του μ για p=0.01 και p = 0.05.

2. Σε 12 αγρούς βαμβακιού δοκιμάστηκε η λίπανση 4-6-0. Σε κάθε αγρό υπήρχε ένα ζεύγος ίσων τεμαχίων, από τα οποία το ένα, που καθοριζόταν πάντοτε στην τύχη, λιπάνθηκε ενώ το άλλο χρησίμευε ως μάρτυρας. Οι αποδόσεις στα τεμάχια που λιπάνθηκαν ήταν:
12.4, 35.0, 24.5, 10.5, 6.7, 21.4, 18.0, 28.1, 30.8, 18.2, 18.9 και 18.7.
και στα αντίστοιχα τεμάχια που δεν λιπάνθηκαν ήταν:
11.6, 32.5, 21.7, 7.0, 7.8, 20.7, 11.9, 28.1, 23.8, 15.1, 21.0 και 22.1.
Να γίνει η δοκιμή σημαντικότητας χρησιμοποιώντας:
α) το t κριτήριο, β) τα όρια εμπιστοσύνης του μέσου όρου του μάρτυρα, γ) την ανάλυση παραλλακτικότητας (F κριτήριο).

3. Τα αποτελέσματα από ένα πείραμα ποικιλιών έδειξαν ότι υπήρχαν μεγάλες διαφορές ως προς τις στρεμματικές αποδόσεις αλλά οι διαφορές δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές. Σε ένα άλλο πείραμα οι διαφορές μεταξύ ποικιλιών ήταν μικρές αλλά στατιστικώς σημαντικές.
Να αιτιολογήσετε πού, κατά τη γνώμη σας, μπορεί να οφείλεται η διαφορά μεταξύ των 2 πειραμάτων. Κάνετε αναφορά στο C.V. Σχολιάστε την πρακτική σημασία των διαφορών στη δεύτερη περίπτωση (πείραμα).

4. Γιατί επιβάλλεται τα γεωργικά πειράματα να :

α) Επαναλαμβάνονται σε πολλούς αγρούς;

β) Επαναλαμβάνονται σε πολλά έτη;

γ) Περιέχουν περισσότερες από μία επανάληψη;

δ) Διεξάγονται ύστερα από τυχαιοποίηση των πειραματικών τεμαχίων;

ε) Αναλύονται με στατιστική επεξεργασία;

5. α) Γιατί επιβάλλεται η τυχαιοποίηση στα γεωργικά πειράματα;

β) Από ποιούς κυρίως παράγοντες καθορίζεται ο αριθμός των επαναλήψεων;

γ) Σχολιάστε το επιθυμητό σχήμα και μέγεθος των πειραματικών τεμαχίων και των επαναλήψεων.

6. Έξι ποικιλίες σίτου σπάρθηκαν σε έξι επαναλήψεις και έδωσαν τις εξής αποδόσεις σε Kg κατά τεμάχιο των $100m^2$:

	Επαναλήψεις							
Ποικιλία	I	II	III	IV	V	VI	Σύνολο	Μέσος όρος
Α	11.0	19.5	24.0	19.0	19.0	16.5	109.0	18.17
Β	21.0	22.0	26.0	24.5	13.5	20.5	127.5	21.25
Γ	15.0	20.0	25.0	19.5	20.5	20.5	120.5	20.08
Δ	27.0	25.0	31.5	29.0	12.0	22.0	146.5	24.42
Ε	22.0	21.0	26.0	24.5	15.5	24.5	133.5	22.25
Ζ	15.0	14.5	14.0	17.5	16.0	14.0	91.0	15.17
Σύνολο	111.0	122.0	146.5	134.0	96.5	118.0	728.0	20.22

α) Να καταστρωθεί ο πίνακας αναλύσεως της παραλλακτικότητας.

β) Να δοθεί ο τρόπος υπολογισμού των: Α.Τ., Μ.Τ., C.V. και F (χωρίς να γίνουν οι πράξεις).

γ) Εάν το F του πειράματος είναι 5,25 και το F του πίνακα είναι 2,60, 3,86, και 5,88 για πιθανότητα σφάλματος 5%, 1% και 1‰ αντίστοιχα, σε ποιά συμπεράσματα καταλήγετε ως προς τις ποικιλίες

δ) Παρουσιάστε τα αποτελέσματα ως προς τις ποικιλίες σε Kg/στρ. και ενώστε με συνεχείς γραμμές τους μέσους όρους των ποικιλιών που δεν παρουσιάζουν μεταξύ τους στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

7. Σε ένα πείραμα τριάντα (30) μόσχοι χρησιμοποιήθηκαν για την σύγκριση πέντε (5) διαφόρου συνθέσεως σιτηρεσίων. Οι 30 αυτοί μόσχοι χωρίσθηκαν σε ομάδες των πέντε (5) με κριτήρια: το βάρος, την ηλικία, την ανάπτυξη γενικά και ό,τι άλλο χαρακτηριστικό πέφτει στην αντίληψη, ώστε να υπάρχει η μεγαλύτερη δυνατή ομοιομορφία μέσα στην κάθε ομάδα. Ποιο σιτηρέσιο από τα 5 θα δινόταν στο κάθε μοσχάρι καθορίστηκε στην τύχη. Ύστερα από 240 μέρες η αύξηση βάρους των 30 μόσχων υπήρξε η εξής:

Αύξηση βάρους μετά 240 μέρες (κιλά)

	Ομάδες							
	1	2	3	4	5	6	Άθροισμα	Μέσοι όροι
Σιτηρέσιο 1	212	237	225	230	244	275	1423	237.2
« « 2	199	199	259	215	234	230	1336	222.7
« « 3	226	213	195	205	197	220	1256	209.3
« « 4	198	201	204	190	221	194	1208	201.3
« « 5	222	235	232	223	206	229	1347	224.5
Άθροισμα	1057	1085	1115	1063	1102	1148	6570	219.0

Να γίνουν:

α) Ο πίνακας της ανάλυσης παραλλακτικότητας: Βαθμοί ελευθερίας, υπολογισμός των Α.Τ., Μ.Τ. και F (δεν είναι απαραίτητο να γίνουν οι πράξεις).

β) Το βιβλίο παρατηρήσεων (τυχαιοποίηση δική σας).

γ) Αν η Ε.Σ.Δ.$_{05}$ είναι ± 20.39, ποιό σιτηρέσιο αποδείχθηκε στατιστικώς το καλύτερο και από ποιά;

δ) Το ίδιο με γ χρησιμοποιώντας το κριτήριο Duncan.

8. Ένας εντομολόγος για να βρει αν υπάρχουν γενετικές διαφορές στους πληθυσμούς από διάφορες κυψέλες μέτρησε το πλάτος της κεφαλής των εργατριών. Ήθελε ιδιαίτερα να μελετήσει τις διαφορές μεταξύ των μέσων όρων των πληθυσμών διαφόρων κυψελών. Πραγματοποίησε ανάλυση των δεδομένων και πήρε τα εξής αποτελέσματα.

Πηγή παραλ/τας	Β.Ε	Α.Τ	Μ.Τ
Κυψέλες	11	0.4554	0.0414
Εργάτριες(σφάλμα)	1188	10.6920	0.009
Σύνολο	1199	11.1474	

Σημειώνεται ότι το F του πίνακα για P = 0.05 είναι : 1. 80

α) Πόσες κυψέλες χρησιμοποίησε ο ερευνητής; 12 β) Πόσες μέλισσες πήρε τυχαία από κάθε κυψέλη; 100 γ) Σε τί συμπεράσματα κατέληξε;

9. Ένας ερευνητής αξιολόγησε ως προς την στρεμματική απόδοση ίδιο αριθμό ποικιλιών σόγιας σε τρεις (3) γειτονικούς πειραματικούς αγρούς που ο καθένας είχε σαράντα εννέα (49) πειραματικά τεμάχια. Στον Α αγρό χρησιμοποίησε το πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο, στον Β αγρό χρησιμοποίησε το σχέδιο των πλήρων τυχαιοποιημένων ομάδων και στον Γ το Λατινικό τετράγωνο.

α) Κάνετε τον πίνακα της ανάλυσης παραλλακτικότητας για τα 3 σχέδια.

β) Με την προϋπόθεση ότι η επιλογή του κάθε πειραματικού σχεδίου για τον κάθε αγρό ήταν η ορθή, τί συμπεράσματα βγάζετε για τους αγρούς αυτούς.

γ) Εάν με πείραμα ομοιομορφίας αποδεικνύετε ότι η ετερογένεια του εδάφους και στους τρεις αγρούς ήταν μηδενική, ποιό σχέδιο θα προτείνατε ως το αποτελεσματικότερο και στις 3περιπτώσεις και γιατί;

10. Για τη σύγκριση των αποδόσεων 4 ποικιλιών βρώμης χρησημοποιήθηκε ένα 4Χ4 λατινικό τετράγωνο και ελήφθησαν οι εξής αποδόσεις σε κιλά ανά τεμάχιο.

	Στήλες			
Γραμμές	Γ26	Δ23	Β18	Α21
	Β13	Α17	Γ24	Δ22
	Δ17	Γ21	Α15	Β13
	Α14	Β11	Δ20	Γ22

Να γίνει η ανάλυση παραλλακτικότητας: Βαθμοί ελευθερίας, υπολογισμός των Α. Τ, Μ. Τ και F (δεν είναι απαραίτητο να γίνουν οι πράξεις)

α) Χωρίς να ληφθούν υπόψη οι ομάδες

β) Όταν ληφθούν οι στήλες ως πλήρεις ομάδες

γ) Όταν ληφθούν οι γραμμές ως πλήρεις ομάδες

δ) Ως λατινικό τετράγωνο

11. Ποιά είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των πειραματικών σχεδίων:

α) Πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο (CRD)

β) Σχέδιο πλήρων τυχαιοποιημένων ομάδων (RCB)

γ) Λατινικό τετράγωνο (LS).

12. Τα παρακάτω αποτελέσματα προέρχονται από πείραμα με πειραματικό σχέδιο το Λατινικό Τετράγωνο.

Στήλες Σειρές	1	2	3	4	Σύνολο
1	C=10	D=8	B=12	A=13	43
2	B=11	A=12	C=10	D= 8	41
3	D=6	C=12	A=11	B= 14	43
4	A=12	B=12	D= 6	C=10	40
Σύνολο	39	44	39	45	167

	A	B	C	D
Συν.	48	49	42	28
Μ.Ο.	12,0	12,25	10,5	7,0

Ε.Σ.Δ. =± 1,4927

Να γίνουν :

α) Η ανάλυση παραλλακτικότητας: Βαθμοί ελευθερίας, υπολογισμός των Α.Τ., Μ.Τ. και F.

β) Το βιβλίο παρατηρήσεων (τυχαιοποίηση δική σας).

γ) Ποιός μέσος όρος αποδείχθηκε στατιστικώς ο καλύτερος και από ποιούς, με βάση την Ε.Σ.Δ.;

13. Τρεις ίσοι αγροί χωρίστηκε ο κάθε ένας σε 25 ίσα τεμάχια και σπάρθηκαν όλα με μία συγκεκριμένη ποικιλία ενός φυτού (πείραμα

13. Τρεις ίσοι αγροί χωρίστηκε ο κάθε ένας σε 25 ίσα τεμάχια και σπάρθηκαν όλα με μία συγκεκριμένη ποικιλία ενός φυτού (πείραμα ομοιομορφίας). Οι αποδόσεις των τεμαχίων του κάθε αγρού ήταν οι παρακάτω:

Α αγρός

30	30	30	30	30
27	27	27	27	27
24	24	24	24	24
21	21	21	21	21
18	18	18	18	18

Β αγρός

30	30	30	30	30
30	30	30	30	30
30	30	30	30	30
30	30	30	30	30
30	30	30	30	30

Γ αγρός

30	27	24	21	18
27	24	21	18	15
24	21	18	15	12
21	18	15	12	9
18	15	12	9	6

α) Προκειμένου να αξιολογήσετε τη συμπεριφορά πέντε (5) ποικιλιών βαμβακιού στα 25 τεμάχια του κάθε αγρού, ποιό πειραματικό σχέδιο θα εφαρμόσετε σε κάθε περίπτωση; Να καθορισθεί η διάταξη των επαναλήψεων (ομάδων) όπου θα τις χρησιμοποιήσετε.

β) Να γίνει ο πίνακας ανάλυσης παραλλακτικότητας, για κάθε σχέδιο, μόνο ως προς την πηγή παραλλακτικότητας και τους βαθμούς ελευθερίας.

14. Θέλουμε να αξιολογήσουμε 25 ποικιλίες βαμβακιού και για το κάθε πειραματικό τεμάχιο απαιτούνται 3 γραμμές.

Ποιό από τα δύο παρακάτω πειραματικά σχέδια θα προτιμήσετε και γιατί;

α) Πλήρεις Τυχαιοποιημένες ομάδες

β) Ισορροπημένο δικτυωτό

Πόσες επαναλήψεις θα χρησιμοποιήσετε στην α και β περίπτωση; Δικαιολογείστε την απάντησή σας.

15. Σκέπτεστε να μελετήσετε την απόδοση πέντε (5) ποικιλιών βαμβακιού σε τρία επίπεδα άρδευσης σε πείραμα με πειραματικό σχέδιο α) Ποιόν παράγοντα θα χρησιμοποιήσετε για πρακτικούς λόγους ως κύριο τεμάχιο και τί πλάτος του πειραματικού τεμαχίου θα προτείνετε; Γιατί;

β) Καταστρώστε τον πίνακα της ανάλυσης παραλλακτικότητας και σχολιάστε την ευαισθησία με την οποία αξιολογούνται οι δύο παράγοντες.

16. Έχετε έξι (6) ποικιλίες βαμβακιού που πρέπει να μελετήσετε τη συμπεριφορά τους ως προς την απόδοση (Kg/στρ.) σε τρεις (3) εποχές σποράς. Το σχέδιο του πειράματος είναι τυχαιοποιημένες ομάδες τεμαχίων με κύρια τεμάχια τις εποχές σποράς και υποτεμάχια τις ποικιλίες. Οι επαναλήψεις του πειράματος είναι πέντε(5).

Να γίνουν:

α) Τυχαιοποίηση - σχεδίαση της Ι επαναλήψεως του πειράματος και η διάταξή της στον αγρό.

β) Ο πίνακας της ανάλυσης παραλλακτικότητας με τους Β.Ε

γ) Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Χρησιμοποιείστε υποθετικούς μέσους όρους, Ε.Σ.Δ..05 και C.V., λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μόνο μεταξύ των ποικιλιών.

17. Έστω ένα πείραμα με δύο επίπεδα αζώτου (N_o, N_1) ως κύρια τεμάχια, δύο επίπεδα φωσφόρου (P_o, P_1) ως υποτεμάχια και δύο επίπεδα καλίου (K_o, K_1) ως υποτεμάχια και έξη (6) επαναλήψεις. Να γίνει:

α) Τυχαιοποίηση - σχεδίαση και διάταξη του πειράματος στον αγρό.

β) Το βιβλίο παρατηρήσεων μόνο για την πρώτη επανάληψη και να αναγραφεί το ύψος φυτών που μετρήθηκε ως ακολούθως:

Α/Α τεμαχίου 1 = 40cm, 2 = 45, 3 = 43, 4 = 50, 5 = 55, 6 = 50,
7 = 60, 8 = 55, 9 = 52....................

γ) Η πινακοποίηση των τιμών που δίνονται παραπάνω.

δ) Ο πίνακας της ανάλυσης παραλλακτικότητας με τους αντίστοιχους Β.Ε.

ε) Αν οι παραπάνω παράγοντες είχαν μελετηθεί σε σχέδιο πλήρων τυχαιοποιημένων ομάδων (Randomized complete block design), κάνετε τον πίνακα παραλακτικότητας με τους αντίστοιχους Β.Ε.

στ) Να γίνει το ίδιο, όπως και στο προηγούμενο ερώτημα, αν το σχέδιο του πειράματος ήταν πλήρως τυχαιοποιημένο.

ζ) Κάτω από ποιές προϋποθέσεις θα επιλέγατε το καθένα από τα 3 σχέδια;

18. Στο πείραμα με τα οκτώ (8) πειραματάκια με τις δύο (2) εποχές σποράς και έξη (6) επαναλήψεις να κάνετε:

α) Ανάπτυξη με τυχαιοποίηση της τρίτης (3ης) επαναλήψεως.

β) Τον πίνακα παρατηρήσεων για τα πρώτα δεκατέσσερα (14) τεμάχια της συγκεκριμένης επανάληψης καταγράφοντας τις εξής κατά σειρά τιμές μιας μεταβλητής : 33, 29, 27, 25, 38, 18, 16, 19, 28, 29, 30, 27, 31, 26.

19. α) Από ποιό παράγοντα επηρεάζεται η αύξηση της αποτελεσματικότητας της σύγκρισης μέσων όρων κατά Duncan σε σχέση με τη σύγκριση με βάση την Ε.Σ.Δ (Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά);

β) Πότε ταυτίζονται οι δύο συγκρίσεις;

γ) Όταν η διαφορά μεταξύ δύο μέσων όρων είναι οριακά στατιστικώς σημαντική με βάση την Ε.Σ.Δ, με τη σύγκριση κατά Duncan ενδέχεται η συγκεκριμένη διαφορά να βγει πιο σημαντική ή στατιστικώς μη σημαντική;

20. Έστω ένα παραγοντικό (Factorial) πείραμα με έξι (6) επαναλήψεις όπου διερευνάται το άζωτο (Ν) ως κύρια τεμάχια σε τέσσερα (4) επίπεδα, ο φώσφορος (P) ως υποτεμάχια σε δύο (2) επίπεδα και το κάλιο, ως υπο - υποτεμάχια σε τρία (3) επίπεδα.

α) Να γίνει ο πίνακας της ανάλυσης παραλλακτικότητας για τις πηγές παραλλακτικότητας και τους βαθμούς ελευθερίας.

β) Για την αλληλεπίδραση NxP : γράψτε πώς θα υπολογίσετε το Άθροισμα τετραγώνων και αν η αλληλεπίδραση είναι σημαντική πόσο είναι το n στον τύπο της Ε.Σ.Δ.

γ) Κάνετε το σχέδιο του πειράματος για μία επανάληψη και το πινακίδιο μιας μεταβλητής (π.χ απόδοση) μετυχαίους αριθμούς.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : Στατιστικοί πίνακες

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.

Πίνακας του t

	P =												
	90°/₀	80°/₀	70°/₀	60°/₀	50°/₀	40°/₀	30°/₀	20°/₀	10°/₀	5°/₀	2°/₀	1°/₀	1°/₀₀
1	.158	.325	.510	.727	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31 721	63 657	636.619
2	.142	.289	.445	.617	.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	.137	.277	.424	.584	.765	.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5 841	32.941
4	.134	.271	.414	.569	.741	.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	.132	.267	.408	.559	.727	.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	.131	.265	.404	.553	.718	.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	.130	.263	.402	.549	.711	.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	.130	.262	.399	.546	.705	.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	.129	.261	.398	.543	.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	.129	.260	.397	.542	.700	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	.129	.260	.396	.540	.697	.876	1.088	1.363	1.796	2.201	3.718	3.106	4.437
12	.128	.259	.395	.539	.695	.873	1.088	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	.128	.259	.394	.538	.694	.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	.128	.258	.393	.537	.692	.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	.128	.258	.393	.536	.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	.128	.258	.392	.535	.690	.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	.128	.257	.392	.534	.689	.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	.127	.257	.392	.534	.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	.127	.257	.391	.533	.688	.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	.127	.257	.391	.533	.687	.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	.127	.257	.391	.532	.686	.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	.127	.256	.390	.232	.686	.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	.127	.256	.390	.532	.635	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	.127	.256	.390	.531	.635	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	.127	.256	.390	.531	.684	.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	.127	.256	.390	.531	.684	.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	.127	.256	.389	.531	.634	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	.127	.256	.389	.530	.683	.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	.127	.256	.389	.530	.683	.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	5.756	3.659
30	.127	.256	.389	.530	.683	.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	.126	.255	.388	.529	.681	.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	.126	.254	.387	.527	.679	.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	.126	.254	.386	.526	.677	.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	.126	.253	.385	.525	.674	.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I (συνέχεια)

Πίνακας του F

διὰ P = 5 %

μηχανισμών

ΒΕ

n'_1 / n'_2	1	2	3	4	5	6	8	12	24
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	238.9	243.9	249.0
2	18.5	19.0	19.2	19.3	19.3	19.3	19.4	19.4	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.84	8.74	8.64
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.04	5.91	5.77
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.82	4.68	4.53
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.15	4.00	3.84
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.73	3.57	3.41
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.44	3.28	3.12
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.23	3.07	2.90
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.07	2.91	2.74
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	2.95	2.79	2.61
12	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	3.00	2.85	2.69	2.50
13	4.67	3.80	3.41	3.18	3.02	2.92	2.77	2.60	2.42
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.70	2.53	2.35
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.64	2.48	2.29
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.59	2.42	2.24
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.55	2.38	2.19
18	4.41	3.55	3.16	2.95	2.77	2.66	2.51	2.34	2.15
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.65	2.48	2.31	2.11
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.45	2.28	2.08
21	4.32	3.49	3.07	2.84	2.68	2.57	2.42	2.25	2.05
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.40	2.23	2.03
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.38	2.20	2.00
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.36	2.18	1.98
25	4.24	3.38	2.99	2.76	2.60	2.49	2.34	2.16	1.96
26	4.22	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.32	2.15	1.95
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.30	2.13	1.93
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.58	2.44	2.29	2.12	1.91
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.54	2.43	2.28	2.10	1.90
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.27	2.09	1.89
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.18	2.00	1.79
60	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.10	1.92	1.70
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.02	1.83	1.61
∝	3.84	2.99	2.60	2.37	2.21	2.09	1.94	1.75	1.52

μηχανισμοί

σφαλμ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. (συνέχεια)

Πίνακας του F

διὰ P = 1 %

n'_1 / n'_2	1	2	3	4	5	6	8	12	24
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5981	6106	6234
2	98.5	99.0	99.2	99.3	99.3	99.3	99.4	99.4	99.5
3	34.1	30.8	29.5	28.7	28.2	27.6	27.5	27.1	26.6
4	21.2	18.0	16.7	16.0	15.5	15.2	14.8	14.4	13.9
5	16.3	13.3	12.1	11.4	11.0	10.7	10.3	9.89	9.47
6	13.7	10.9	9.78	9.15	8.75	8.47	8.10	7.72	7.31
7	12.2	9.55	8.45	7.75	7.46	7.19	6.84	6.47	6.07
8	11.3	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.03	5.67	5.28
9	10.6	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.47	5.11	4.73
10	10.0	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.06	4.71	4.33
11	9.65	7.20	6.22	5.67	5.32	5.07	4.74	4.40	4.02
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.50	4.16	[illegible]
13	9.07	6.70	5.74	5.20	4.86	4.62	4.30	3.96	[illegible]
14	8.86	6.51	5.56	5.03	4.69	4.46	4.14	3.80	[illegible]
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.00	3.67	[illegible]
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	3.89	3.55	[illegible]
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.79	3.45	[illegible]
18	8.28	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.71	3.37	[illegible]
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.63	3.30	[illegible]
20	3.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.56	3.23	[illegible]
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.51	3.17	2.80
22	7.94	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.45	3.12	2.75
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.41	3.07	[illegible]
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.36	3.03	2.66
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	2.32	2.99	2.62
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.29	2.96	2.58
27	7.68	5.49	4.60	4.11	2.78	3.56	3.26	2.93	2.55
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.23	2.90	2.52
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.20	2.87	2.49
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.17	2.84	2.47
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	2.99	2.66	2.29
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.82	2.50	2.12
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.66	2.34	1.95
∝	6.64	4.66	3.78	3.32	3.02	2.80	2.51	2.18	1.79

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.

Τυχαιοποιημένοι διψήφιοι αριθμοί

03 47 43 73 86	36 96 47 36 61	46 98 63 71 62	33 26 16 80 45	60 11 14 10 95
97 74 24 67 62	42 81 14 57 20	42 53 32 37 32	27 07 36 07 51	24 51 79 89 73
16 76 62 27 66	56 50 26 71 07	32 90 79 78 53	13 55 38 58 59	88 97 54 14 10
12 56 85 99 26	96 96 68 27 31	05 03 72 93 15	57 12 10 14 21	88 26 49 81 76
65 59 56 35 64	38 54 82 46 22	31 62 43 09 90	06 18 44 32 53	23 83 01 30 30
16 22 77 94 39	49 54 43 54 82	17 37 93 23 78	87 35 20 96 43	84 26 34 91 64
84 42 17 53 31	57 24 55 06 88	77 04 74 47 67	21 76 33 50 25	83 92 12 06 76
63 01 63 78 59	16 95 55 67 19	98 10 50 71 75	12 86 73 58 07	44 39 52 38 79
33 21 12 34 29	78 64 56 07 82	53 42 07 44 38	15 51 00 13 42	99 66 02 79 54
57 60 86 32 44	09 47 27 96 54	49 17 46 09 62	90 52 84 77 27	08 02 73 43 28
18 18 07 92 46	44 17 16 58 09	79 83 86 19 62	06 76 50 03 10	55 23 64 05 05
26 62 38 97 75	84 16 07 44 99	83 11 46 32 24	20 14 85 88 45	10 93 72 88 71
23 42 40 64 74	82 97 77 77 81	07 45 32 14 08	32 98 94 07 72	93 85 79 10 75
52 36 28 19 95	50 92 26 11 97	00 56 76 31 38	80 22 02 53 53	86 60 42 04 53
87 85 94 35 12	83 39 50 08 30	42 34 07 96 88	54 42 06 87 98	35 85 29 48 39
70 29 17 12 13	40 33 20 38 26	13 89 51 03 74	17 76 37 13 04	07 74 21 19 30
56 62 18 87 35	96 83 50 87 75	97 12 25 93 47	70 33 24 03 54	97 77 46 44 80
99 49 57 22 77	88 42 95 45 72	16 64 36 16 00	04 43 18 66 79	94 77 24 21 90
16 08 15 04 72	33 27 14 34 09	45 59 34 68 49	12 72 07 34 45	99 27 72 95 14
81 16 93 32 43	50 27 89 87 19	20 15 37 00 49	52 85 66 60 44	38 68 88 11 80
68 34 30 13 70	55 74 30 77 40	44 22 78 84 26	04 33 46 09 52	68 07 97 06 57
74 57 25 65 76	59 29 97 68 60	71 91 88 67 54	13 58 18 24 76	15 54 55 95 52
27 42 37 36 53	48 55 90 65 72	96 57 69 36 10	96 46 92 42 45	97 60 49 04 91
00 39 68 29 61	66 37 32 20 30	77 84 57 03 29	10 45 65 04 26	11 04 96 67 24
29 94 98 94 24	68 49 69 10 82	53 75 91 93 30	34 25 20 57 27	40 48 73 51 92
16 90 82 66 59	83 62 64 11 12	67 19 00 71 74	60 47 21 29 68	02 02 37 03 31
11 27 94 75 06	06 09 19 74 66	02 94 37 34 02	76 70 90 30 86	38 45 94 30 38
85 24 10 16 20	33 82 51 26 38	79 78 45 04 91	16 92 53 56 16	02 75 50 95 98
38 23 16 86 38	42 88 97 01 50	87 75 66 81 41	40 01 74 91 62	48 51 84 08 32
81 96 25 91 47	96 44 33 49 13	34 86 82 53 91	00 52 43 48 85	27 55 26 89 62
66 67 40 67 14	64 05 71 95 86	11 05 65 09 68	76 83 20 37 90	57 16 00 11 66
14 90 84 45 11	75 73 88 05 90	52 27 41 14 86	22 98 12 22 08	07 52 74 95 80
68 06 51 18 00	33 96 02 75 19	07 60 62 93 55	59 33 82 43 90	49 37 38 44 59
20 46 78 73 30	97 51 40 14 02	04 02 33 31 08	39 54 16 49 36	47 96 93 13 30
64 19 58 97 79	15 06 15 93 20	01 90 10 75 06	40 78 75 89 62	02 67 74 17 33
05 26 93 70 60	22 35 85 15 13	92 03 51 59 77	59 56 78 06 83	52 91 05 70 74
07 97 10 88 23	09 98 42 99 64	61 71 62 39 15	06 51 29 16 93	58 05 77 09 51
68 71 86 85 85	54 87 66 47 54	73 32 08 11 12	44 95 92 63 16	29 56 24 29 48
26 99 61 65 53	58 37 78 80 70	42 10 50 67 42	32 17 55 85 74	94 44 67 16 94
14 65 52 68 75	87 59 36 22 41	26 78 63 06 55	13 08 27 01 50	15 29 39 39 43
17 53 77 58 71	71 41 61 50 72	12 41 94 96 26	44 95 27 36 99	02 96 74 30 83
90 26 59 21 19	23 52 23 33 12	96 93 02 18 39	07 02 18 36 07	25 99 32 70 23
41 23 52 55 99	31 04 49 69 96	10 47 48 45 88	13 41 43 89 20	97 17 14 49 17
60 20 50 81 69	31 99 73 68 68	35 81 33 03 76	24 30 12 48 60	18 99 10 72 34
91 25 38 05 90	94 58 28 41 36	45 37 69 03 09	90 35 57 29 12	82 62 54 65 60
34 50 57 74 37	98 80 33 00 91	09 77 93 19 82	74 94 80 04 04	45 07 31 66 49
85 22 04 39 43	73 81 53 94 79	33 62 46 86 28	08 31 54 46 31	53 94 13 38 47
09 79 13 77 48	73 82 97 22 21	05 03 27 24 83	72 89 44 05 60	35 80 39 94 88
88 75 80 18 14	22 95 75 42 49	39 32 82 22 49	02 48 07 70 37	16 04 61 67 87
90 96 23 70 00	39 00 03 06 90	55 85 78 38 36	94 37 30 69 32	90 89 00 76 33

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III

Τιμές ε για τη δοκιμή Duncan

P = 5%

β. ελ. σφάλμ.	’Αριθμὸς σειρᾶς μέσων όρων 2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	20	50
4	3.93	4.01	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03
5	3.64	3.75	3.80	3.81	3.81	3.81	3.81	3.81	3.81	3.81	3.81	3.81
6	3.46	3.59	3.65	3.68	3.69	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70
7	3.34	3.48	3.55	3.59	3.61	3.62	3.63	3.63	3.63	3.63	3.63	3.63
8	3.26	3.40	3.48	3.52	3.55	3.57	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58
9	3.20	3.34	3.42	3.47	3.50	3.52	3.54	3.54	3.55	3.55	3.55	3.55
10	3.15	3.29	3.38	3.43	3.46	3.49	3.51	3.52	3.52	3.53	3.53	3.53
12	3.08	3.23	3.31	3.37	3.41	3.44	3.46	3.47	3.48	3.49	3.50	3.50
14	3.03	3.18	3.27	3.33	3.37	3.40	3.43	3.44	3.46	3.47	3.49	3.49
16	3.00	3.14	3.24	3.30	3.34	3.38	3.40	3.42	3.44	3.46	3.48	3.48
18	2.97	3.12	3.21	3.27	3.32	3.36	3.38	3.40	3.42	3.44	3.47	3.47
20	2.95	3.10	3.19	3.25	3.30	3.34	3.37	3.39	3.41	3.44	3.47	3.47
22	2.93	3.08	3.17	3.24	3.29	3.32	3.36	3.38	3.39	3.42	3.47	3.47
24	2.92	3.07	3.16	3.23	3.28	3.32	3.35	3.37	3.39	3.42	3.47	3.48
26	2.91	3 06	3.15	3.21	3.27	3.30	3.34	3.36	3.38	3.41	3.47	3.48
28	2.90	3 04	3.14	3.20	3.26	3.30	3.33	3.35	3.37	3.40	3.47	3.48
30	2.89	3.04	3.13	3.20	3.25	3.29	3.32	3.35	3.37	3.40	3.47	3.49
40	2.86	3.01	3.10	3.17	3.22	3.27	3.30	3.33	3.35	3.39	3.47	3.50
60	2.83	2.98	3.07	3.14	3.20	3.24	3.28	3.31	3.33	3.39	3.47	3.54
100	2.80	2.95	3.05	3.12	3.18	3.22	3.25	3.29	3.32	3.36	3.47	3.60
∞	2.77	2.92	3.02	3.09	3.15	3.19	3.23	3.26	3.29	3.34	3.47	3.74

πόσο απέχουν
οι μ.ο.

P = 1%

β. ελ. σφάλμ.	’Αριθμὸς σειρᾶς μέσων όρων 2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	28	50
4	6.51	6.58	6.74	6.76	6.76	6.76	6.76	6,76	6.76	6.76	6.76	6.76
5	5.70	5.89	5.99	6.04	6.07	6.07	6.07	6.07	6.07	6.07	6.07	6.07
6	5.24	5.44	5.55	5.61	5.66	5.68	5.69	5.70	5.70	5.70	5.70	5.70
7	4.95	5.15	5.26	5.33	5.38	5.42	5.44	5.45	6.46	5.47	5.47	5.47
8	4.74	4.93	5.06	5.14	5.19	5.23	5.26	5.28	5.29	5.31	5.32	5.32
9	4.60	4.79	4.91	4.99	5.04	5.09	5.12	5.14	5.16	5.19	5.21	5.21
10	4.48	4.67	4.89	4.67	4.93	4.98	5.01	5.04	5.06	5.09	5.12	5.12
12	4.32	4.59	4.62	4.71	4.77	4 92	4.85	4.88	4.91	4.94	5.01	5.01
14	4.21	4.39	4.51	4.59	4.64	4.70	4.74	4.78	4.80	4.84	4.92	4.94
16	4,13	4.31	4.43	4.51	4.57	4.62	4.66	4.70	4.72	4.77	4.86	4.89
18	4.07	4.25	4.36	4.45	4.51	4.56	4.60	4.64	4.66	4.71	4.81	4.86
20	4.02	4.20	4.31	4.40	4.46	4.51	4.55	4.59	4.62	4.66	4.77	4.83
22	3.99	4.17	4.28	4.36	4.42	4.48	4.53	4.56	4.59	4.63	4.74	4.81
24	3.96	4.13	4.24	4.32	4.39	4.44	4.49	4.52	4.55	4.60	4.71	4.80
26	3.93	4.11	4.21	4.30	4.36	4.41	4.46	4.49	4.53	4.58	4.69	4.79
28	3.91	4.08	4.18	4.28	4.34	4.39	4.43	4.47	4.51	4.56	4.67	4.78
30	3.89	4.06	4.17	4.25	4.31	4.37	4.41	4.45	4.48	4.53	4.65	4.77
40	3.82	3.99	4.10	4.18	4.24	4.30	4.34	4.37	4.41	4.46	4.59	4.74
60	3.76	3.92	4.03	4.11	4.17	4.23	4.27	4.31	4.34	4.39	4.53	4.71
100	3.71	3.86	3.98	4.04	4.11	4.17	4.21	4.25	4.29	4.35	4.48	4.68
∞	3.64	3.80	3.90	3.98	4.04	4.09	4.14	4.17	4.21	4.26	4.41	4.64

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV.

Μερικά λατινικά τετράγωνα

4 × 4

ΑΒΓΔ	ΑΒΓΔ	ΑΒΓΔ	ΑΒΓΔ
ΒΑΔΓ	ΒΓΔΑ	ΒΔΑΓ	ΒΑΔΓ
ΓΔΒΑ	ΓΔΑΒ	ΓΑΔΒ	ΓΔΑΒ
ΔΓΑΒ	ΔΑΒΓ	ΔΓΒΑ	ΔΓΒΑ

5 × 5

ΑΒΓΔΕ	ΑΒΓΔΕ	ΑΒΓΔΕ
ΒΑΕΓΔ	ΒΓΔΕΑ	ΒΓΑΕΔ
ΓΔΑΕΒ	ΓΕΑΒΔ	ΓΔΕΒΑ
ΔΕΒΑΓ	ΔΑΕΓΒ	ΔΕΒΑΓ
ΕΓΔΒΑ	ΕΔΒΑΓ	ΕΑΔΓΒ

ΑΒΓΔΕ	ΑΒΓΔΕ	ΑΒΓΔΕ
ΒΔΕΑΓ	ΒΕΑΓΔ	ΒΕΔΑΓ
ΓΕΔΒΑ	ΓΔΕΒΑ	ΓΔΑΕΒ
ΔΓΑΕΒ	ΔΑΒΕΓ	ΔΓΕΒΑ
ΕΑΒΓΔ	ΕΓΔΑΒ	ΕΑΒΓΔ

6 × 6

ΑΒΓΔΕΖ	ΑΒΓΔΕΖ
ΒΓΖΑΔΕ	ΒΑΕΓΖΔ
ΓΖΒΕΑΔ	ΓΖΒΑΔΕ
ΔΕΑΒΖΓ	ΔΕΖΒΓΑ
ΕΑΔΖΓΒ	ΕΔΑΖΒΓ
ΖΔΕΓΒΑ	ΖΓΔΕΑΒ

ΑΒΓΔΕΖ	ΑΒΓΔΕΖ
ΒΓΑΕΖΔ	ΒΑΖΕΔΓ
ΓΑΒΖΔΕ	ΓΔΑΒΖΕ
ΔΖΕΒΑΓ	ΔΖΕΑΓΒ
ΕΔΖΓΒΑ	ΕΓΒΖΑΔ
ΖΕΔΑΓΒ	ΖΕΔΓΒΑ

7 × 7

ΑΒΓΔΕΖΗ	ΑΒΓΔΕΖΗ
ΒΕΑΗΖΔΓ	ΒΕΑΗΖΔΓ
ΓΖΗΒΔΑΕ	ΓΖΗΒΔΑΕ
ΔΗΕΖΓΒΑ	ΔΗΕΖΒΓΑ
ΕΔΒΓΑΗΖ	ΕΔΒΓΑΗΖ
ΖΓΔΑΗΕΒ	ΖΓΔΑΗΕΒ
ΗΑΖΕΒΓΔ	ΗΑΖΕΓΒΔ

8 × 8

ΑΒΓΔΕΖΗΘ
ΒΓΑΕΖΔΘΗ
ΓΑΔΗΘΕΖΒ
ΔΖΗΓΑΘΒΕ
ΕΘΒΖΗΓΑΔ
ΖΔΘΑΒΗΕΓ
ΗΕΖΘΓΒΔΑ
ΘΗΕΒΔΑΓΖ

9 × 9

ΑΒΓΔΕΖΗΘΙ
ΒΓΕΗΔΙΖΑΘ
ΓΔΖΑΘΗΙΕΒ
ΔΘΑΒΖΕΓΙΗ
ΕΗΒΙΓΘΔΖΑ
ΖΙΘΕΒΔΑΗΓ
ΗΖΙΓΑΒΘΔΕ
ΘΕΗΖΙΑΒΓΔ
ΙΑΔΘΗΓΕΒΖ

10 × 10

ΑΒΓΔΕΖΠΘΙΚ
ΒΗΑΕΘΓΖΙΚΔ
ΓΘΚΗΖΒΕΑΔΙ
ΔΑΗΙΚΕΓΒΖΘ
ΕΖΘΚΙΗΑΔΒΓ
ΖΕΒΓΔΙΚΗΘΑ
ΗΙΖΒΑΔΘΚΓΕ
ΘΓΙΖΗΚΔΕΑΒ
ΙΚΔΑΓΘΒΖΕΗ
ΚΔΕΘΒΑΙΓΗΖ