

تصميم وتحليل التجارب الزراعية

د. فادي اسماعيل عباس

مصطلحات

- الوحدة التجريبية: **Experimental Unit**: هي أصغر جزء تجرى عليه المعاملة في التجربة.
- المعاملة: **Treatment** هي الطريقة التي ينتج عنها التأثير المراد قياسه.
- التكرار: **Replication** هو تمثيل المعاملة بأكثر من وحدة تجريبية مستقلة بهدف التخفيف من قيمة الخطأ التجريبي.
- الخطأ التجريبي: **Experimental Error** هو مقياس للاختلاف بين الوحدات التجريبية الموضوعة تحت تأثير المعاملة الواحدة.
- تصميم التجربة: **Design** هي طريقه توزيع المعاملات على الوحدات التجريبية.
- درجة الحرية: **degrees of freedom** هي عدد القيم القابلة للتغير في حساب خاصية إحصائية ما. ويساوي عدد القراءات المستقلة ناقص عدد الخصائص الإحصائية المستخدمة في حساب التباين.

أسس تصميم التجارب العلمية:

- التكرار Replication.
- التوزيع العشوائي Randomization.
- السيطرة على الأخطاء التجريبية Local Control.

1. التكرار: Replication

أهمية تكرار المعاملات :

- زيادة عدد التكرارات لكل معاملة يقلل من الخطأ التجريبي لمتوسط المعاملة
- يؤدي تكرار التجربة في أكثر من منطقة أو أكثر من موسم الى تعميم نتائج التجربة.

2. التوزيع العشوائي Randomization

- هو أن كل وحدة تجريبية يتاح لها نفس الفرصة ان تعامل بمعاملة ما .
- يقلل من التحيز لمعاملة ما دون غيرها .
- الحصول على تقدير صحيح للخطأ التجريبي
- شرط أساسي لتطبيق الطرق الاحصائية واختبارات المعنوية.

3. سيطرة الباحث على الخطأ التجريبي Local Control

يتم ذلك من خلال الآتي

- اختيار العدد الامثل من العينات Optimum Sample size
- استخدام العدد الامثل من المكررات Optimum no. of Replicates
- اختيار التصميم المناسب لنوعية وصفات الوحدات التجريبية
- استخدام طرق دقيقة لقياس المتغيرات المدروسة.

مصادر الخطأ التجريبي:

- الاختلاف في تجانس الوحدات التجريبية .
- الاجراءات المتبعة أثناء تنفيذ التجربة وأثناء قياس المتغيرات المدروسة.
- الاختلافات الناشئة عن دقة قياس المتغيرات تحت الدراسة.
- تأثير العامل الشخصي .

كيفية تقليل الخطأ التجريبي

- اختيار وحدات تجريبية متجانسة بقدر الامكان.
- إذا كان من الصعب الحصول على وحدات تجريبية متجانسة للتجربة فيمكن استعمال التصميم الاحصائي المناسب لهذه النوعية من الوحدات التجريبية .
- تحسين الطرق والإجراءات المتبعة اثناء تنفيذ التجربة.
- توخي الدقة في القياسات المختلفة للمتغيرات تحت الدراسة .
- تقليل تأثير العامل الشخصي على النتائج .

أهم التصاميم المستخدمة في التجارب الزراعية

- **التصميم العشوائي الكامل CRD – Completely Randomized Design**
- **تصميم القطاعات العشوائية الكاملة Randomized Completely Block Design – RCBD**
- **التجارب العاملية. Factorial Experiment.**
- **تصميم القطع والقطاعات المنشقة Split-Plot and Split-Block Designs**

التصميم العشوائي الكامل

COMPLETELY RANDOMIZED DESIGN - CRD

- هو أبسط التصميمات الاحصائية وفيه يتم توزيع المعاملات على الوحدات التجريبية المخصصة للتجربة بطريقة عشوائية دون أي تحفظات أو شروط .
- مميزات التصميم :
 - أ- البساطة ب- المرونة ج- الكفاءة العالية
- قصور التصميم: يشترط تجانس جميع الوحدات التجريبية في التجربة لاستعمال التصميم .
- غالباً ما يستخدم هذا التصميم في التجارب المخبرية وتجارب البيوت الزجاجية حيث الشروط متحكم بها من حيث البيئة الزراعية والحرارة والرطوبة.

توزيع المعاملات عشوائياً:

A3r3	A1r4	A6r2	A2r3	A4r1	A1r1
A3r4	A3r2	A5r2	A6r1	A4r2	A1r2
A6r4	A4r4	A5r3	A2r1	A4r3	A5r1
A6r3	A5r4	A2r2	A3r1	A2r4	A1r3

النموذج الرياضي للتصميم : Mathematical Model

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

- Y_{ij} : قيمة المشاهدة z العائدة للمعاملة i
- μ : المتوسط العام للصفة المدروسة
- T_i : تأثير المعاملة i
- e_{ij} : الخطأ العشوائي

جدول تحليل التباين للتصميم العشوائي الكامل

مصادر التباين S.O.V.	درجات الحرية d.f .	مجموع المربعات S.S.	متوسط المربعات M.S.	قيمة ف المحسوبة F. Value
.Treatment	t-1	$\frac{\sum Y_i^2}{r} - CF$	$\frac{SST}{t-1}$	$F = \frac{MST}{MSE}$
Experimental Error.	t(r-1)	SSE = SSO – SST	$\frac{SSE}{t(r-1)}$	
Total	tr-1	SSO = $\sum xi^2 - CF$	_____	

مثال عن تحليل التباين في التصميم العشوائي الكامل:

في تجربة لدراسة تأثير الطراز الوراثي في نسبة البروتين في حبوب القمح، جربنا ثلاثة طرز A1, A2, A3 في أربعة مكررات وكانت النتائج على الشكل التالي، والمطلوب اختبار معنوية الفروق بين الطرز الوراثية لصفة نسبة البروتين:

Genotype t=3	Replication r=4				\sum_A	\bar{X}_A	
	r1	r2	r3	r4			
A1	9	10	9	10	38	9.50	
A2	9	9	10	9	37	9.25	
A3	11	11	12	11	45	11.25	
G=9+10+9+.....+11=120							

• 1. حساب معامل التصحيح:

$$CF = + \frac{G^2}{N} = \frac{120^2}{12} = 1200$$

• 2. مجموع مربعات الانحرافات للمعاملات SST

$$SST = \frac{\sum ti^2}{r} - CF = \frac{(38)^2 + (37)^2 + (45)^2}{4} - 1200$$
$$= \frac{4838}{4} - 1200 = 9.5$$

• 3. مجموع مربعات الانحرافات الكلية SSO

$$SSO = \sum xi^2 - CF$$
$$= (9^2 + 10^2 + \dots \dots + 11^2) - 1200 = 12$$

- 4. مجموع مربعات الانحرافات للخطأ التجريبي SSE

$$SSE = SSO - SST = 12 - 9.5 = 2.5$$

- 5. حساب متوسط المربعات:

$$MST = \frac{SST}{T - 1} = \frac{9.5}{2} = 4.75$$

$$MSE = \frac{SSE}{T(r-1)} = \frac{2.5}{9} = 0.28$$

$$F_C = \frac{MST}{MSE} = \frac{4.75}{0.28} = 16.96$$

- 6. نقارن FC مع FT فإذا كانت المحسوبة أكبر من الجدولية فالفروق معنوية و عندها نلجأ لاختبار أقل فرق معنوي LSD عند 0.01 و 0.05

- حساب قيمة أقل فرق معنوي :
- نحدد قيمة t الجدولية عند درجة حرية الخطأ التجريبي 9 وعند المستويين

$$2.262 = T_{0.05}$$

$$3.250 = T_{0.01}$$

- نحسب الخطأ المعياري S_d

$$S_d = \sqrt{\frac{2 \cdot MSE}{r}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (0.28)}{4}} = 0.12$$

$$LSD_{0.05} = 0.12 * 2.262 = 0.31$$

$$LSD_{0.01} = 0.12 * 3.250 = 0.39$$

- ثم نقارن الفروق بين متوسطات الطرز كالتالي:

Genotype	differences	LSD	
		0.01	0.05
		0.39	0.31
A1-A2	9.50-9.25=0.25	NS	NS
A1-A3	9.50-11.25=1.75	**	**
A2-A3	9.25-11.25=2.00	**	**

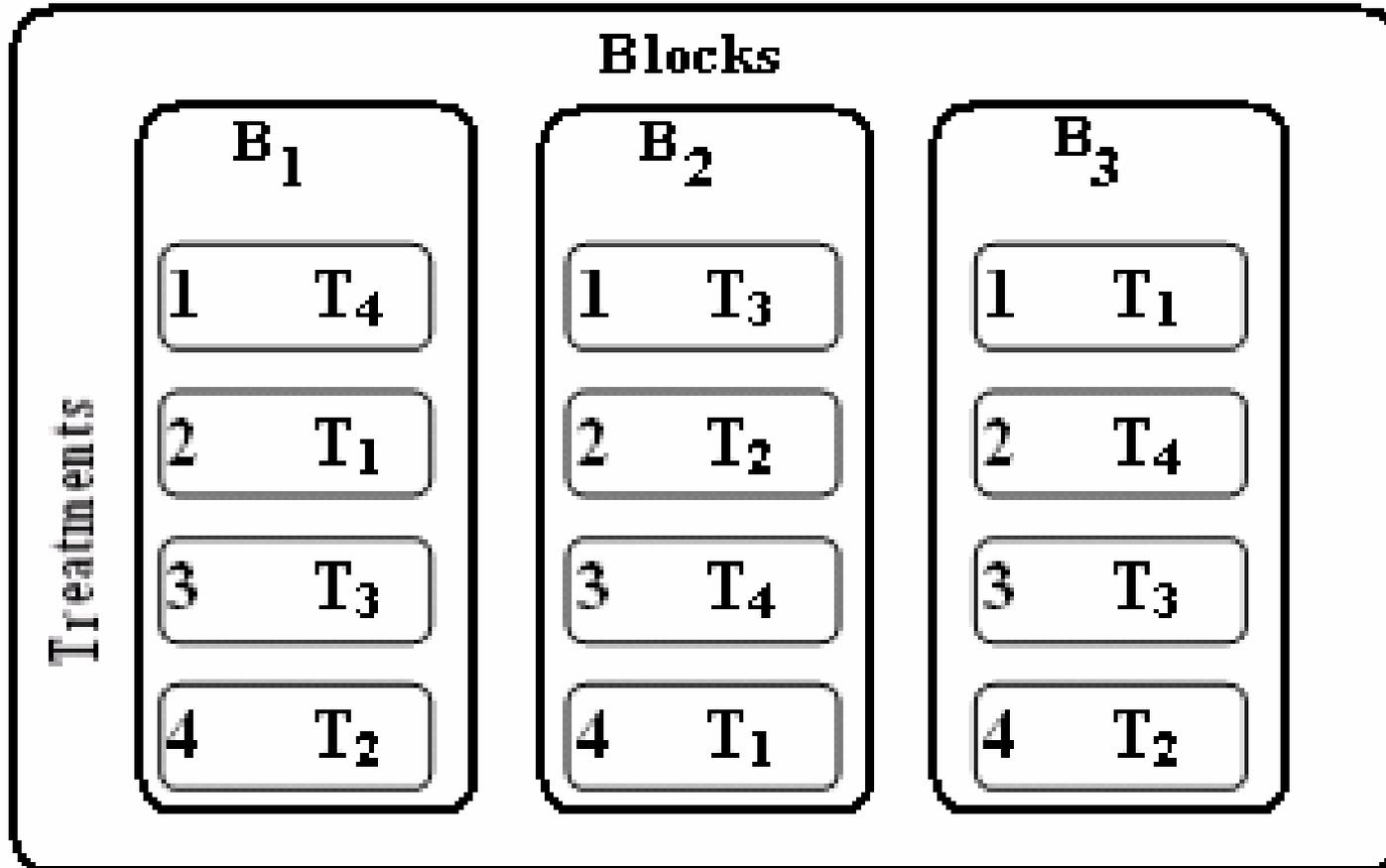
A3	a
A1	b
A2	b

تصميم القطاعات العشوائية الكاملة

RANDOMIZED COMPLETELY BLOCK DESIGN – RCBD

- هو أكثر أنواع التصميمات الاحصائية انتشاراً ويستعمل في حالة وجود اختلاف في تجانس الوحدات التجريبية.
- مميزات التصميم:
- أكثر كفاءة من التصميم العشوائي الكامل عند وجود اختلاف في تجانس الوحدات التجريبية.
- يمكن تحليل نتائج التجربة احصائياً حتى لو فقدت احدى القطع التجريبية أو حتى في حالة فقد قطاعاً كاملاً.
- أوجه القصور في التصميم: في حالة زيادة عدد المعاملات يزداد حجم القطاع نتيجة زيادة عدد الوحدات التجريبية داخله وبالتالي تنخفض درجة التجانس داخل القطاعات وبناء عليه تزداد قيمة الخطأ التجريبي للتجربة وتقل دقة التجربة.
- الكفاءة النسبية لهذا التصميم أكبر بـ ٣٠% مقارنةً بالتصميم العشوائي الكامل.

المخطط التجريبي Layout



النموذج الرياضي للتصميم : Mathematical Model

$$Y_{ij} = \mu + T_i + P_j + e_{ij}$$

- Y_{ij} : قيمة المشاهدات العائدة للمعاملة i .
- μ : المتوسط العام للصفة المدروسة.
- P_j : تأثير القطاع j .
- : تأثير المعاملة j .
- e_{ij} : الخطأ العشوائي

جدول تحليل التباين لتصميم القطاعات العشوائية الكاملة

مصادر التباين S.O.V.	درجات الحرية d.f .	مجموع المربعات S.S.	متوسط المربعات M.S.	قيمة ف المحسوبة F. Value
Blocks	r-1	$SSR = \sum \frac{R^2}{t}$	$MSR = \frac{SSR}{r-1}$	
.Treatment	t-1	$SST = \frac{\sum Y_i^2}{r} - CF$	$MST = \frac{SST}{t-1}$	MST
Experimental Error.	(t-1)(r-1)	$SSE = SSO - SST - SSR$	$MSE = \frac{SSE}{(t-1)(r-1)}$	$F = \frac{MST}{MSE}$
Total	N-1	$SSO = \sum X_i^2 - CF$	_____	

التجارب العاملية

FACTORIAL EXPERIMENT.

- أن التجارب العاملية تستعمل عند دراسة تأثير أكثر من عامل واحد في صفة معينة كدراسة تأثير الطراز الوراثي والموسم في صفة معينة، وهذه التجارب تطبق بالتصاميم CRD أو RCBD، وهنا يتم استخراج تأثير كل عامل بمفرده ثم تأثير التداخل بين العوامل المدروسة.
- تحتاج هذه التجارب إلى دقة أكبر في التطبيق كما أن زيادة عدد مستويات العوامل المدروسة يزيد من صعوبة التحليل.
- **أولاً: تجربة عاملية بتأثير عاملين تطبق بتصميم عشوائي كامل CRD**
النموذج الرياضي العام لهذه التجربة:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB(ij) + e_{ijk}$$

- حيث أن:
- μ : المتوسط العام للصفة المدروسة.
- A_i : تأثير العامل الأول.
- B_j : تأثير العامل الثاني.
- AB_{ij} : تأثير التداخل بين العاملين.

جدول تحليل التباين لتجربة عاملية بتأثير عاملين بالتصميم العشوائي الكامل

S.O.V.	d.f.	S.S.	M.S.	F. Value
A factor	(a-1)	SSA	MSA	$FA = \frac{MSA}{MSE}$
B factor	(b-1)	SSB	MSB	$FB = \frac{MSB}{MSE}$
AB interaction	(a-1)(b-1)	SSAB	MSAB	$FAB = \frac{MSAB}{MSE}$
Expe. Error.	ab(r-1)	SSE	MSE	
Total	abr-1	SSO		

• **ثانياً: تجربة عاملية بتأثير عاملين تطبق بتصميم القطاعات العشوائية الكاملة RCBD**

- تستعمل هذه التجربة في حالة عدم تجانس الوحدات التجريبية للعوامل المؤثرة في الصفة المدروسة وامكانية مجانستها بشكل قطاعات كما تم الاشارة لذلك في القطاعات العشوائية الكاملة باتجاه واحد.
- النموذج الرياضي العام لهذه التجربة:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB(ij) + B_k + e_{ijk}$$

- حيث أن:
- μ : المتوسط العام للصفة.
- A_i : تأثير العامل الاول.
- B_j : تأثير العامل الثاني.
- AB_{ij} : تأثير التداخل بين العاملين.
- B_k : تأثير القطاع
- E_{ijk} : الخطأ التجريبي.

جدول تحليل التباين لتجربة عاملية بتأثير عاملين بتصميم القطاعات العشوائية الكاملة

S.O.V.	d.f.	S.S.	M.S.	F. Value
Block	(r-1)	SSR	MSR	
A factor	(a-1)	SSA	MSA	$FA = \frac{MSA}{MSE}$
B factor	(b-1)	SSB	MSB	$FB = \frac{MSB}{MSE}$
AB interaction	(a-1)(b-1)	SSAB	MSAB	$FAB = \frac{MSAB}{MSE}$
Expe. Error.	ab(r-1)	SSE	MSE	
Total	Abr-1	SSO		

• ثالثاً: تجربة عاملية بتأثير ثلاثة عوامل تطبق بالتصميم العشوائي الكاملة
RCBD

النموذج الرياضي العام لهذه التجربة:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB(ij) + AC(ik) + BC(jk) + ABC(ijk) + e_{ijk}$$

- حيث أن:
- μ : قيمة المشاهدة
- A_i : تأثير العامل الاول.
- B_j : تأثير العامل الثاني.
- AB_{ij} : تأثير التداخل بين العاملين.
- BC_{jk} : تأثير التداخل بين العاملين.
- AC_{ik} : تأثير التداخل بين العاملين.
- ABC_{ijk} : تأثير التداخل بين العوامل الثلاثة.
- E_{ijk} الخطأ التجريبي.

جدول تحليل التباين لتجربة عاملية بتأثير ثلاثة عوامل بالتصميم العشوائي الكامل

S.O.V.	d.f.	S.S.	M.S.	F. Value
A factor	(a-1)	SSA	<i>MSA</i>	$FA = \frac{MSA}{MSE}$
B factor	(b-1)	SSB	MSB	$FB = \frac{MSB}{MSE}$
C factor	(c-1)	SSC	MSC	$FC = \frac{MSC}{MSE}$
AB interaction	(a-1)(b-1)	SSAB	MSAB	$FAB = \frac{MSAB}{MSE}$
AC interaction	(a-1)(c-1)	SSAC	MSAC	$FAC = \frac{MSAC}{MSE}$
BC interaction	(b-1)(c-1)	SSBC	MSBC	$FBC = \frac{MSBC}{MSE}$
ABC interaction	(a-1)(b-1)(r-1)	SSABC	MSABC	$FABC = \frac{MSABC}{MSE}$
Expe. Error.	abc(r-1)	SSE	MSE	
Total	Abcr-1	SSO		

الجهد الحلولي B	الطرز الوراثية C			مرحلة الانبات A			متوسط B
	rival	rizor	Dita	4	9	14	
0	80	76	86	35	80	88	84
-2	70	71	74	23	40	44	38
-4	68	65	69	15	26	35	27
-6	56	52	57	10	14	21	15
متوسط C				متوسط A			
	60	58	63	22	38	44	

مرحلة الانبات A	الطرز الوراثية C		
4	24	21	25
9	41	38	45
14	54	48	55

مصدر التباين	A*B*C	B*C	A*C	A*B	C	B	A
LSD. 0.01	7.273	4.199	2.969	1.626	1.714	0.939	0.664
LSD. 0.05	5.529	3.129	2.257	1.236	1.303	0.714	0.505
قيمة F	2.57**	31.78**	9.36**	469**	304**	118.5**	437**

تصميم القطع والقطاعات المنشقة

SPLIT-PLOT AND SPLIT-BLOCK DESIGNS

مفهوم التصاميم المنشقة

■ تشمل التركيبة الأساسية لهذه التصاميم على ألواح أو قطاعات تسمى بالوحدات الأساسية Main plots ثم تشق الى وحدات تجريبية أصغر تسمى بالوحدات الثانوية Subplots أو الألواح المنشقة Split plots.

■ تهتم هذه التصاميم بعاملين لغرض تحقيق مستوى أعلى من الدقة لعامل دون آخر أي أن العاملين على مستويين مختلفين من الأهمية بالنسبة للباحث فأحدهما يكون مهم والآخر أكبر أهمية ولذلك يحتوي جدول تحليل التباين لهذه التصاميم خطأين تجريبيين الخطأ التجريبي الأول (a) Error لإختبار تأثير معاملات العامل A والخطأ التجريبي الثاني (b) Error لإختبار تأثير معاملات العامل B والتداخل AB ودائماً تكون قيمة الخطأ التجريبي الثاني أكبر من الأول وذلك لأن عدد تكرارات الوحدات الثانوية يفوق عدد تكرارات الوحدات الكاملة مما ينتج عنه كبر الخطأ التجريبي الخاص بالوحدات الثانوية عن الخطأ التجريبي الخاص بالوحدات الكاملة.

■ فمثلاً لو كان لدينا عاملين A و B وكانت الرغبة في دراسة العامل B بدقة أكبر، والحالة هذه يجب توزيع مستويات العامل A في الألواح أو القطاعات الرئيسية (حسب ظروف تنفيذ التجربة فإذا كانت تنفذ في ظروف مسيطر عليها ستكون بتصميم عشوائي كامل CRD وإذا نفذت التجربة في ظروف غير مسيطر عليها فستكون بتصميم RCBD) ثم يشق كل جزء من اللوح أو القطاع الذي يحتوي على مستوى من مستويات العامل A الى ألواح ثانوية بعدد مستويات العامل B، وبسبب تلك الألواح الثانوية

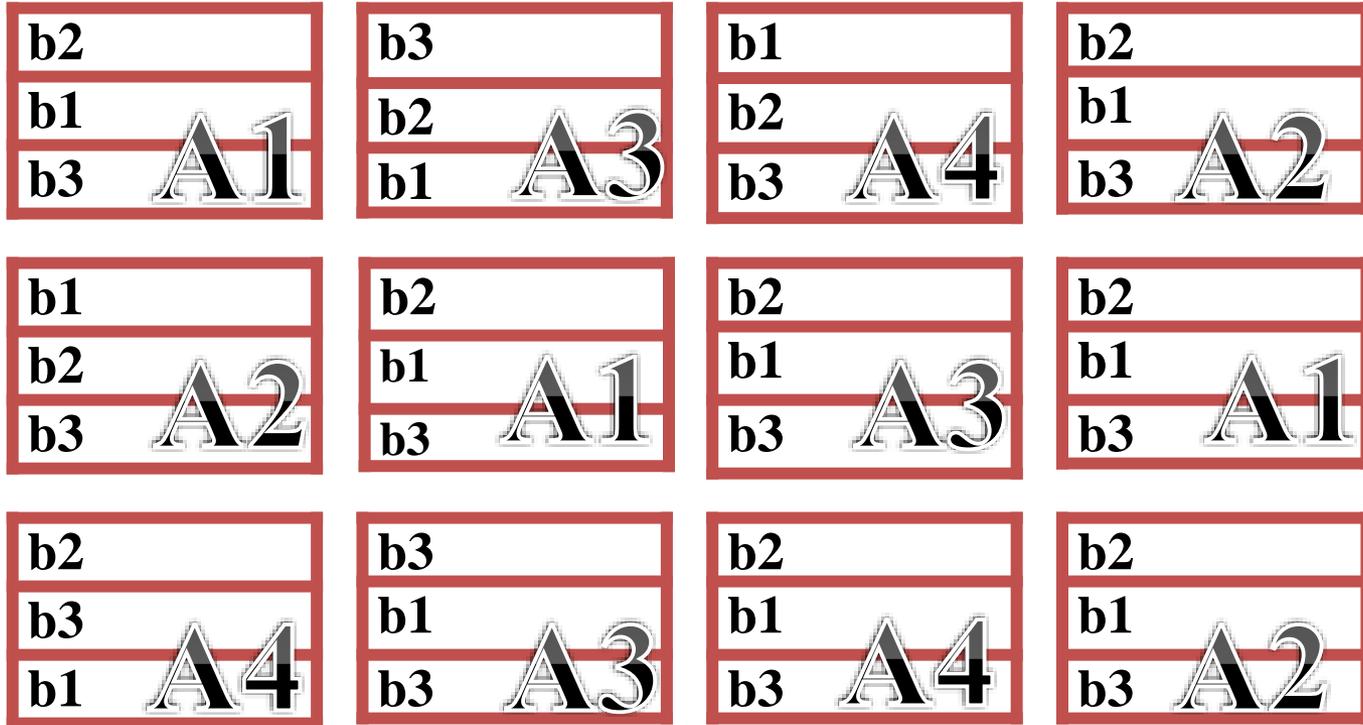
• ميزات وعيوب التصاميم المنشقة

- توفير درجة أعلى من الدقة في إختبار المعاملات التي تنفذ في الوحدات الثانوية (العامل الثاني B والتداخل AB) على حساب دقة المعاملات التي تنفذ في الوحدات الرئيسية (العامل الأول A).
- تعد هذه التصاميم ملائمة لطبيعة بعض العوامل التجريبية وطريقة تطبيقها على المادة التجريبية سيما في ميدان العلوم الزراعية.
ومن أهم عيوب هذه التصاميم:
- يزداد تعقيد تحليل بيانات هذه التصاميم عند وجود قيمة مفقودة لبعض المشاهدات.
- يختبر هذا التصميم درجة دقة أعلى للعامل المنفذ في الوحدات الثانوية المتضمنة لمستويات العامل B والتداخل AB على حساب درجة دقة العامل المنفذ في الوحدات الرئيسية المتضمنة لمستويات العامل A ويذكر هذا المؤشر كميزة وعيب في الوقت نفسه وذلك حسب طبيعة التجربة.

تصميم القطع المنشقة Split Plots Design

عند تنفيذ تجربة في ظروف مسيطر عليها يوزع العامل A المتضمن أربعة مستويات

والعامل B ثلاث مستويات وبثلاث تكرارات كما يلي:

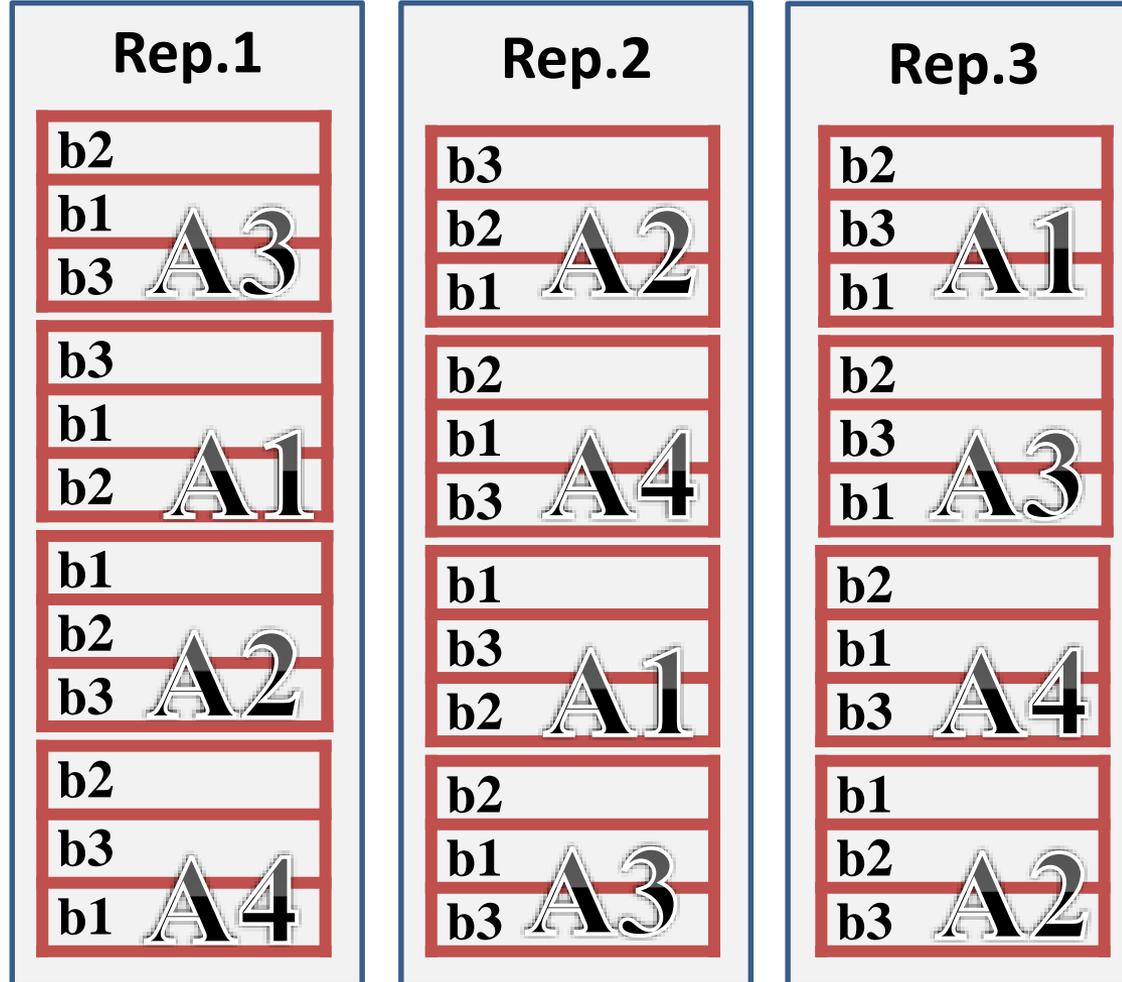


ويكون جدول تحليل التباين لتجربة ذات عاملين بتصميم القطع المنشقة بتصميم CRD كمايلي:

S.O.V	df	SS	MS	F cal.
A	a-1	$SSA = \frac{\sum ai^2}{br} - CF$	$MSA = \frac{SSA}{dfa}$	$FA = \frac{MSa}{MSe(a)}$
Error(a)	a(r-1)	$SSRA = \frac{\sum ra^2}{b} - SSA$	$MSea = \frac{SSRA}{dfe}$	
B	b-1	B-cf	$MSB = \frac{SSB}{dfb}$	$FB = \frac{MSb}{MSe(b)}$
AB	(a-1)(b-1)	AB-A-B+CF	$MSAB = \frac{SSab}{dfab}$	$FAB = \frac{MSab}{MSe(b)}$
Error(b)	a(b-1)(r-1)	RAB-AB-RA-A	$MSeb = \frac{SSe(b)}{dfe(b)}$	
Total	Rab-1	RAB-CF		

Split Blocks Design تصميم القطاعات المنشقة

عند تنفيذ التجربة في ظروف غير مسيطر عليها يوزع العاملان وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة RCBD بثلاث تكرارات كما يلي:



يحدد طريقة التوزيع
أهمية العامل
المدرّوس وطبيعته

ويكون جدول تحليل التباين لتجربة ذات عاملين بتصميم القطاعات المنشقة بتصميم RCBD كمايلي:

S.O.V	df	SS	MS	F cal.
R	r-1	$SSR = \frac{\sum ri^2}{ab} - CF$	
A	a-1	$SSA = \frac{\sum ai^2}{br} - CF$	$MSA = \frac{SSa}{dfa}$	$FA = \frac{MSA}{MSe(a)}$
Error(a)	a(r-1)	$SSRA = \frac{\sum ra^2}{b} - SSA$	$MSea = \frac{SSRA}{dfe(a)}$	
B	b-1	B-cf	$MSB = \frac{SSB}{dfb}$	$FB = \frac{MSb}{MSe(b)}$
AB	(a-1)(b-1)	AB-A-B+CF	$MSAB = \frac{SSab}{dfab}$	$FAB = \frac{MSab}{MSe(b)}$
Error(b)	a(b-1)(r-1)	RAB-AB-RA+A	$MSeb = \frac{SSe(b)}{dfe(b)}$	
Total	Rab-1	RAB-CF		

شكراً لحسن الإصغاء

