

مدخل إلى تصميم التجارب

Introduction to Experimental Design

كما ذكرنا سابقاً فإنّ البيانات **Data**: عبارة عن معلومات تكون مرتبة ومنظمة ومخزنة بطريقة سهلة التداول والفهم والتفسير ومدعمة بالأرقام. وإحدى طرق الحصول على البيانات هي الاختبارات والتجارب المختلفة مثل تجربة كميات مختلفة من السماد أو كميات مختلفة من مياه الري للوصول إلى الكمية المثلى التي تعطي أفضل إنتاج من نوع نباتي معين، وبالتالي فإنّ التجربة هي أساس للحصول على الخبرات والمعارف في كل المجالات والعلوم.

التجربة الزراعية الحقلية: هي عبارة عن تجربة حقلية على نباتات مزروعة. وتتميز عن بقية التجارب العلمية بما يلي:

أ. عدم تجانس المادة التجريبية: المادة التي ندرسها قد يكون لها اختلافات كبيرة أو صغيرة (وراثية، مورفولوجية، عمرية...).

ب. تقلبات الظروف الجوية وعدم ثباتها وكذلك الظروف البيئية المختلفة مما يؤدي إلى زيادة الخطأ التجريبي بشكل كبير.

ج. عدم تجانس خصوبة التربة: واختلافها من مكان لآخر في أرض التجربة. إنّ الاختلافات المذكورة تنعكس على الصفة المدروسة ولتكن صفة الإنتاج مثلاً.

مادة التجربة: قد تكون نباتات أو عينات من التربة أو ما شابه ذلك، والتي سيتم تطبيق المعاملات عليها (المؤثرات في التجربة) وذلك من خلال دراسة تأثير هذه المؤثرات على صفات معينة لهذه المادة التجريبية نسميها الصفات المختبرة. كمثال على الصفات المختبرة لدينا: كمية الإنتاج النباتي والإنتاج الحيواني ومعدل النمو...

العوامل المختبرة: يمكن أن تكون متدرجة في مستويات كمية أو نوعية. إنّ العوامل المتدرجة كميّاً تُستخدم بشكل كميات مختلفة متزايدة كما هو الحال عند استخدام السماد كعامل مختبر في تجارب التسميد، حيث تتم دراسة تأثير هذه الكميات المتدرجة على المادة التجريبية، وهذه الكميات المختلفة نطلق عليها المعاملات. أمّا العوامل المتدرجة نوعياً هي العوامل التي تكون تدرجاتها أو مستوياتها غير واضحة أو محددة تماماً بشكلٍ كميّ مثل استخدام مواد كيميائية مختلفة، أو أصناف نباتية متعددة، ومواعيد البذار وغير ذلك...

يجب أن نراعي قدر الإمكان دراسة تأثير العامل المختبر بعيداً عن التأثيرات الأخرى الخارجية. ينتج عن التجربة نتائج معينة عند دراسة عينة تجريبية، لیتّ بعدها تعميم تلك النتائج على المجتمع. ولكن إذا أردنا القيام بتجربة معينة يجب أن نقوم بالتخطيط لها.

تخطيط التجربة

التصميم Design: هو التخطيط البحثي لإجراء تجربة معينة للحصول على بيانات يمكن تحليلها والتوصل إلى استنتاج معين.

التجربة Experiment: هي وسيلة لاختبار الفرضيات والكشف عن العلاقة بين المتغيرات.

تصميم التجارب Experimental Design: هي الخطة المحددة لتوزيع ووضع الوحدات التجريبية بالنسبة للمعاملات والمؤثرات المختلفة.

العناصر الأساسية للتجربة:

1. القطعة التجريبية أو الوحدة التجريبية Experimental Unit:

هي أصغر جزء تُجرى عليه المعاملة في التجربة، فقد تكون طبق بتري في مخبر أو قطعة من الأرض في حقل ما، تُطبّق عليها كافة العمليات الزراعية والمعاملات بشكلٍ موحدٍ ومتساوي. وهي تؤمّن أربعة مهام:

- أ. تُعتبر ممثلة لكافة النباتات المدروسة.
- ب. تُعتبر ممثلة لكافة شروط مكان التجربة.
- ج. تؤمّن المكان لتطبيق المعاملات التجريبية.
- د. تؤمّن القياس الدقيق للصفة أو الصفات المدروسة.

مواصفات القطعة التجريبية:

تتعلّق مساحة القطعة بشكلٍ أساسي بطبيعة الاختلافات الفردية للنباتات والإمكانية المتاحة من الآلات والأجهزة. ويجب أن تحتوي القطعة التجريبية عدداً من النباتات على الأقل بحيث يكون تأثير الاختلافات الفردية للنباتات متساوياً، وعادةً يكون هناك 80 – 100 نبات في القطعة الواحدة.

حالياً يُستعمل قطع تجريبية ذات مساحة تتراوح بين 10 – 20 م².

أمّا بالنسبة لشكل القطعة يُفضّل عادةً استخدام قطع تجريبية طويلة وضيقة بنسبة 1 عرض: 5 طول، وإذا أردنا تقليل تأثير العوامل المجاورة المؤثرة على التجربة يتم استخدام الشكل المربع.

2. القطاعات Blocks:

مساحة القطاع: كلما كانت التجربة أكثر تجانساً كلما أمكن زيادة مساحة هذا القطاع، وتبلغ المساحة المستخدمة عادةً ما بين 200 – 500 م².

شكل القطاع: هناك أشكال مختلفة يمكن استخدامها، ولكن يُفضل استخدام الشكل المربع لتقليل تأثير تغييرات التربة إلى أدنى حدٍ ممكن.

الممرات بين القطاعات: يُوصى بأن تكون الممرات ذات عرض 2.5 م كحدٍ أدنى، ومن المفيد جداً ترك مسافات فارغة كمرات بين القطاعات للقيام بكافة الأعمال اللازمة لتنفيذ خطوات التجربة، والقيام بأعمال الخدمة الزراعية.

3. المكررات Replicates: هو تكرار المعاملة الواحدة أكثر من مرة في نفس التجربة، وتفيد المكررات فيما يلي:

- أ. رفع الدقة التجريبية.

ب. زيادة حجم التجربة مما يجعل التجربة أكثر تمثيلاً للواقع.

ج. إمكانية حساب المؤشرات الإحصائية اللازمة للتجربة مثل مقاييس النزعة المركزية والتشتت.

لكي تكون التجربة ونتائجها مقبولة لا بد من توفر حد أدنى من الدقة التجريبية. ومن خلال الخبرات العديدة في هذا المجال تمّ التوصل إلى عدد المكررات المناسب في معظم الحالات والذي يتراوح بين 4 - 8 مكررات أما العدد المثالي فهو 4.

المبادئ الأساسية في تخطيط التجارب:

1. استخدام المكررات Replicates: قد تُطبّق تجارب من دون مكررات ولكنها غير علمية، ولا يمكن الاعتماد عليها في البحث العلمي، ولكنها قد تُستخدم في مجال الإرشاد الزراعي مثلاً.

2. استخدام القطاعات Blocks: قد تُطبّق تجارب من دون قطاعات ولكنها قليلة الاستخدام إلا في ظروف خاصة وهي الظروف المخبرية مثلاً.

3. مبدأ وحدة الشروط المتبقية: يجب أن تكون كافة الخدمات الزراعية المُقدّمة للوحدات أو القطع التجريبية موحّدة ومتساوية عدا العامل المدروس، وأن يكون مكان التجربة متماثلاً لأقصى حدٍ ممكن.

4. التوزيع العشوائي للمعاملات أو ما يُسمّى بالتعشيرية Randomization: توزيع المعاملات على الوحدات أو القطع التجريبية بشكلٍ عشوائي، ومن فوائد تطبيق هذا المبدأ:

أ. رفع الدقة التجريبية إلى أكبر قدر ممكن.

ب. توزيع التباينات الناتجة عن اختلاف خصوبة التربة على كافة المعاملات.

ج. التقليل من الخطأ التجريبي إلى أقصى حدٍ ممكن.

التعشية (التوزيع العشوائي للمعاملات) Randomization

التعشية: هي عبارة عن طريقة التوزيع العشوائي للمعاملات على الوحدات التجريبية المدروسة.

تختلف طريقة التعشية حسب التصميم التجريبي المُستخدَم والذي يختلف بدوره حسب ظروف التجربة وخاصةً مدى تجانس أرض التجربة والوحدات التجريبية.

سنوضح فيما يلي طريقة التعشية في كل من تصاميم التجارب البسيطة التي سندرسها لاحقاً مستخدمين المثال الآتي:
إذا أردنا دراسة تأثير الكميات المختلفة من مياه الري على إنتاج نبات القمح في أحد الحقول، وذلك من خلال استخدام 4 مستويات من مياه الري (4 معاملات)، وتكرار كل معاملة 4 مرات (4 مكررات).

أ. **التصميم العشوائي التام:** نستخدم هذا التصميم إذا كانت أرض التربة متجانسة وكذلك الوحدات التجريبية المُستخدَمة (النباتات) ويتم توزيع المعاملات (4) على الوحدات التجريبية (16) عشوائياً دون تحكّم موضعي.

C	B	D	A
B	A	C	D
C	D	B	C
D	A	A	B

ب. **تصميم القطاعات العشوائية الكاملة:** نستخدم هذا التصميم إذا كانت أرض التجربة أو الوحدات التجريبية (النباتات) غير متجانسة في اتجاه واحد فقط، كوجود قناة ري بجانب أرض التجربة تؤثر عليها من حيث سوء صرف المياه مثلاً. في هذه الحالة يتم تقسيم أرض التجربة الى أربعة قطاعات عمودية على اتجاه عدم التجانس ثم تُوزَع المعاملات الأربع عشوائياً داخل كل قطاع بحيث تظهر جميع المعاملات في كل قطاع ولا تُكرّر أي معاملة داخل القطاع الواحد.

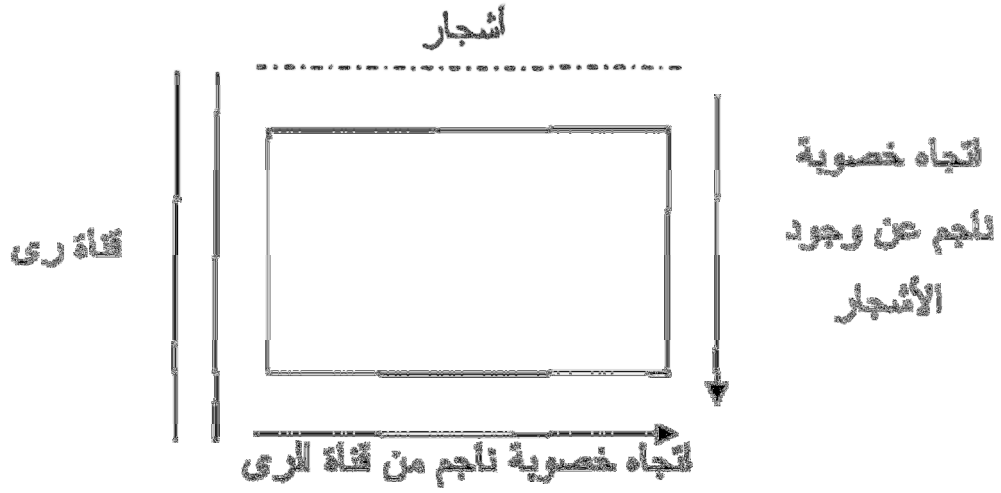
تزداد جودة التربة في هذا الاتجاه



قناة ري	قطاع ١	قطاع ٢	قطاع ٣	قطاع ٤

C	B	D	A
B	A	C	D
D	D	B	C
A	C	A	B

ج. تصميم المربّع اللاتيني: نستخدم هذا التصميم إذا كانت أرض التجربة أو الوحدات التجريبية (النباتات) غير متجانسة في اتجاهين اثنين، كوجود قناة ري بجانب أرض التجربة تؤثر عليها من حيث سوء صرف المياه مثلاً، وكذلك وجود عامل مؤثر ثانٍ في جانب آخر عمودي على قناة الري، وليكن مجموعة من أشجار الصنوبر العالية التي تؤثر على نمو نباتات القمح بحجب ضوء الشمس وامتصاصها للعناصر الغذائية الموجودة في التربة. في هذه الحالة يتم تقسيم أرض التجربة الى أربعة أعمدة وأربعة صفوف حسب عدد المعاملات، ثم توزع المعاملات عشوائياً داخل الأعمدة والصفوف بحيث لا تظهر المعاملة الواحدة أكثر من مرة واحدة داخل كل عمود وكل صف.



D	C	B	A
C	B	A	D
B	A	D	C
A	D	C	B

الخطأ التجريبي Experimental Error: هو الخطأ الذي يحصل نتيجة نتيجة إجراء التجربة بسبب مشكلة في جهاز القياس أو الشخص الذي يأخذ القياس أو نتيجة الظروف المحيطة بالتجربة. ويمكن تقليل هذا الخطأ من خلال زيادة عدد المشاهدات واستعمال طرق حديثة في القياس وأجهزة دقيقة والسيطرة قدر الإمكان على الظروف المحيطة بالتجربة.

مصادر الخطأ التجريبي: يُقسَم الخطأ التجريبي إلى:

1. **أخطاء تجريبية يمكن التحكم بها:** تشمل الأخطاء الناتجة عن الأسباب الآتية:
 - أ. الخدمات الزراعية المختلفة المُقدَّمة للوحدات التجريبية غير متماثلة.
 - ب. عدم توفّر الدقّة في أخذ القراءات أو القياسات نتيجة الإهمال أو السرعة، وهذا عبارة عن خطأ شخصي بحت.
2. **أخطاء تجريبية لا يمكن التحكم بها:** هي الأخطاء الناتجة عمّا يلي:
 - أ. استخدام آليات زراعية أو خدمية غير دقيقة، أو لم يتمّ ضبطها جيّداً.
 - ب. الأخطاء الناتجة عن الاختلافات العائدة للاختلاف في التراكيب الوراثية للمادة التجريبية الحية سواء كانت نباتية أو حيوانية.
 - ج. الأخطاء الناتجة عن الاختلافات العائدة للاختلاف في خصوبة تربة التجربة وعدم تجانسها بشكلٍ جيّد.
 - د. الأخطاء الناتجة عن الإصابة المفاجئة بأحد الأمراض النباتية أو الحيوانية، والذي قد يكون مرضاً ظاهراً أو غير ظاهر.

كما يُقسَم الخطأ التجريبي حسب نوع الخطأ إلى:

1. **أخطاء لا عشوائية (نظامية):**

تشمل هذه الأخطاء التجريبية الأخطاء التي تتكرّر خلال تنفيذ التجربة بشكلٍ نظامي أو على وتيرة ثابتة.
2. **أخطاء عشوائية:**

تشمل الأخطاء التي تتكرّر بشكلٍ عشوائي وترجع إلى الصدفة.

تحليل التباين ANOVA

Variance Analysis

إنَّ الغاية الأساسية من تحليل التباين هي معرفة وتحديد تأثير معاملات العامل المُختَبَر أو العوامل المُختَبَرة على تباين قيم الصفة المُختَبَرة، ومن ثمَّ عزل هذا التأثير عن جملة المؤثرات الخارجية الأخرى مثل تأثير العوامل البيئية والوراثية واختلاف خصوبة التربة وهذا ما يُسمَّى ككل الخطأ التجريبي.

تتلخَّص طريقة تحليل التباين بحساب المجموع الكلي لمرَبَّعات الانحرافات للقيم التجريبية عن المتوسط الحسابي العام، ثمَّ القيام بتجزئة هذا التباين إلى المكوّنات الأساسية تبعاً لمصادر التباين في التجربة، ثمَّ تقسيم هذا المجموع الكلي إلى مكوّناته طبقاً للمصادر المسيّبة له كما تُقسَم درجات الحرية الكلية بموجب المصادر السابقة أيضاً وتُدوّن النتائج في جدول يُسمَّى جدول تحليل التباين تُرتَّب فيه مصادر التباين حسب التصميم المُستعمل.

حيث يُقصد به تحليل الاختلافات بين المعاملات في التجربة إلى مصادرها المختلفة، ثمَّ مقارنة هذه الاختلافات عن طريقة اختبار المعنوية F كما يلي:

F	M.S	S.S	d.f	مصادر التباين S.O.V
$F = MST/MSE$	MST	SST	t - 1	بين المعاملات
	MSE	SSE	N - t	ضمن المعاملات (الخطأ التجريبي)
		SSO	N - 1	المجموع

MST: متوسط مجموع مرَبَّعات الانحرافات بين المعاملات.

MSE: متوسط مجموع مرَبَّعات الانحرافات للخطأ التجريبي.

نقارن قيمة F المحسوبة مع قيمة F الجدولية عند مستوى المعنوية 5% مثلاً ودرجتي حرية المعاملات والخطأ المتبقّي.

إذا كانت F المحسوبة أكبر من قيمة F الجدولية دلّ ذلك على أنّ الفروق بين متوسطات المعاملات أقلّ من متوسط فروق الخطأ التجريبي أي أن الفروق معنوية ولا ترجع للصدفة.

إذا كانت F المحسوبة أصغر أو تساوي قيمة F الجدولية دلّ ذلك على أنّ الفروق بين متوسطات المعاملات أكبر من متوسط فروق الخطأ التجريبي أي أن الفروق غير معنوية و ترجع للصدفة.

مصادر التباين أو الاختلاف **Source of Variance**: هي المصادر أو العوامل التي تؤثر أو تؤدي إلى تباين الصفة المدروسة ويرافقها دائماً خطأ تجريبي.

ويُقصد بالخطأ التجريبي (المعياري): الاختلاف بين الوحدات التجريبية الموضوعة تحت المعاملة الواحدة والنتائج عن: عدم تجانس الوحدات التجريبية وعدم تساوي الإجراءات المُتَّبعة أثناء تنفيذ التجربة.

تزداد كفاءة التجربة كلما كان الخطأ التجريبي قليلاً، وعلى الباحث تقليل قيمة هذا الخطأ قدر المستطاع من خلال:

1. اختيار وحدات تجريبية متجانسة قدر الإمكان.

2. تحسين طرق تنفيذ التجربة.

3. زيادة عدد المكررات حتى لو كان ذلك مكلفاً.

اختبار F (F-test): هو أحد أهم الاختبارات المعنوية التي تُستخدم في التحليل والتقييم الإحصائي، والفكرة من استخدامه هي إرجاع مصادر التباين في التجربة الزراعية إلى مصدرين أساسيين هما:

أ. تباين العامل المدروس.

ب. تباين الخطأ الناتج عن العوامل الخارجية.

تصميم التجارب البسيطة Simple Experiments Design

سنستعرض أهمّ التصاميم وأكثرها استخداماً وشهرة في التجارب الزراعية، والتي تصلح عندما يكون عدد المعاملات محدوداً وأقلّ من 20 معاملة، وهي:

1. تصميم العشوائية التامة (البسيطة).
2. تصميم القطاعات العشوائية الكاملة.
3. تصميم المربع اللاتيني.

سندرس ماهية كل تصميم ومزاياه وخطوات تحليل التباين الخاصة به، ثمّ نورد بعض الأمثلة المدعّمة بالتجارب الحقلية حول تحليل البيانات التجريبية وكيفية تفسيرها وإجراء المقارنات اللازمة إن تطلّب الأمر.

1. التصميم العشوائي التام أو الكامل (CRD) Completely Randomized Design:

أكثر التصاميم التجريبية بساطةً من الناحية التطبيقية وأكثرها استعمالاً في التجارب المخبرية والبيوت الزجاجية. يُستخدَم عندما تكون الوحدات التجريبية متجانسة تماماً. حيث يتمّ في هذا التصميم توزيع مكرّرات كل معاملة من المعاملات المدروسة على الوحدات أو القطع التجريبية بشكلٍ عشوائي، بحيث تكون الفرص متساوية لكل معاملة من المعاملات المدروسة.

من مزايا التصميم:

- أ. يسمح بتطبيق أي عدد من المعاملات وأي عدد من المكررات للمعاملة الواحدة.
- ب. سهولة إجراء التحليل الإحصائي حتى لو فُقدت بعض الوحدات التجريبية أثناء التجربة.
- ج. يسمح باستخدام أعلى رقم من درجات الحرية للخطأ.

من عيوبه: انخفاض كفاءة التصميم في حال عدم تجانس الوحدات التجريبية.

يُمكن وصف هذا التصميم بالنموذج الرياضي الآتي:

$$X_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

X_{ij} : القيمة الإحصائية للوحدة التجريبية في التجربة. T_i : تأثير المعاملات.

μ : المتوسط الحسابي العام للتجربة. ϵ_{ij} : تأثير الخطأ.

مراحل تحليل التباين:

أولاً: حساب معامل التصحيح Correction Factor:

$$CF = \frac{G^2}{N}$$

CF: معامل التصحيح.

G²: مربع المجموع الكلي للقيم الناتجة لكل المفردات في التجربة.

N: عدد القطع التجريبية في التجربة أو عدد القيم الناتجة في التجربة.

$$N = t * r$$

r: عدد المكررات.

t: عدد المعاملات.

ثانياً: حساب مربعات الانحرافات الكلية SSO:

$$SSO = \sum_{i=1}^n X_i^2 - CF = [X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2] - CF$$

X_i²: مربع كل قيمة ظهرت في التجربة.

درجات الحرية:

$$df = N - 1$$

ثالثاً: مجموع مربعات الانحرافات بين المعاملات المدروسة SST:

$$SST = \sum_{i=1}^n \frac{T_i^2}{r_i} - CF$$

$$SST = \left[\frac{T_1^2}{r_1} + \frac{T_2^2}{r_2} + \dots + \frac{T_n^2}{r_n} \right] - CF$$

درجات الحرية:

$$df = t - 1$$

متوسط مربعات الانحرافات بين المعاملات MST:

$$MST = \frac{SST}{t - 1}$$

رابعاً: مجموع مربعات الانحرافات ضمن المعاملات أو ما يُسمى بالخطأ التجريبي SSE:

$$SSE = SSO - SST$$

درجات الحرية:

$$df = (N - 1) - (t - 1) = N - 1 - t + 1 = N - t$$

متوسط مربعات الانحرافات ضمن المعاملات MSE:

$$MSE = \frac{SSE}{N - t}$$

اختبار معنوية المعاملات:

للقيام بهذا الاختبار نقارن قيمة F المحسوبة مع F الجدولية عند درجات حرية t - 1 أفقياً و N - 1 عمودياً باحتمال خطأ مسموح به 5% أو 1%.

فإذا كانت F المحسوبة < F الجدولية يعني هذا وجود فروق معنوية بين معاملات التجربة.

أما إذا كانت F المحسوبة > F الجدولية يعني هذا عدم وجود فروق معنوية بين معاملات التجربة.

نلخص النتائج السابقة في جدول تحليل التباين:

Table of the analysis of variance

النسبة F	متوسط المربعات M.S	مجموع المربعات S.S	درجة الحرية d.f	مصادر التباين S.O.V
F=MST/MSE	MST	SST	t-1	بين المعاملات
	MSE	SSE	N-t	ضمن المعاملات (الخطأ التجريبي)
		SSO	N-1	المجموع

2. تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD):

من أهمّ التصميم لسهولة الاستخدام والتحليل ودقة النتائج وخاصّةً في التجارب الحقلية سواءً في مجال الإنتاج النباتي أو الحيواني. وحيث أنه قلماً تتأمّن الشروط اللازمة لاستخدام التصميم العشوائي التام مثل التجانس التام للمادة التجريبية أو أرض التجربة، فإننا نجد أن تصميم القطاعات الكاملة هو الأفضل والأفضل لإجراء التجارب ضمن الشروط البيئية الطبيعية، ويمكن استخدامه أيضاً في حالة وجود قيم مفقودة (ناتجة عن هلاك نبات أو حيوان مثلاً).

حيث يتمّ تقسيم أرض التجربة إلى قطاعات غير متجانسة كل قطاع يحوي مجموعة من الوحدات التجريبية المتجانسة تماماً، ولكن يجب أن يحتوي كل قطاع على جميع المعاملات، وأن توجد كل معاملة في جميع القطاعات لذلك سُمّيت بالقطاعات الكاملة علماً بأنّ توزّع المعاملات على الوحدات التجريبية داخل كل قطاع يتمّ بشكلٍ عشوائي.

يجدر بالذكر أنّ هذا التصميم أكفأ من التصميم العشوائي التام لأن جزءاً من الخطأ يتمّ سحبه عن طريق إحداث التجانس داخل كل قطاع.

يُمكن وصف هذا التصميم بالنموذج الرياضي الآتي:

$$X_{ij} = \mu + T_i + R_j + \epsilon_{ij}$$

X_{ij} : القيمة الإحصائية للوحدة التجريبية في التجربة.

μ : المتوسط الحسابي العام للتجربة.

T_i : تأثير المعاملات.

R_j : تأثير القطاعات.

ϵ_{ij} : تأثير الخطأ.

مراحل تحليل التباين:

يتشابه تحليل التباين هنا مع مثيله المُستخدَم في التصميم العشوائي الكامل ما عدا بعض التعديلات البسيطة:

أولاً: حساب معامل التصحيح Correction Factor:

$$CF = \frac{G^2}{N}$$

CF: معامل التصحيح.

G^2 : مربع المجموع الكلي للقيم الناتجة لكل المفردات في التجربة.

N : عدد القطع التجريبية في التجربة أو عدد القيم الناتجة في التجربة.

$$N = t * r$$

r : عدد المكررات. t : عدد المعاملات.

ثانياً: حساب مربعات الانحرافات الكلية SSO:

$$SSO = \sum_{i=1}^n X_i^2 - CF = [X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2] - CF$$

X_i^2 : مربع كل قيمة ظهرت في التجربة.

درجات الحرية:

$$df = N - 1$$

ثالثاً: مجموع مربعات الانحرافات بين المعاملات المدروسة SST:

$$SST = \sum_{i=1}^n \frac{T_i^2}{r_i} - CF$$

$$SST = \left[\frac{T_1^2}{r_1} + \frac{T_2^2}{r_2} + \dots + \frac{T_n^2}{r_n} \right] - CF$$

درجات الحرية:

$$df = t - 1$$

متوسط مربعات الانحرافات بين المعاملات MST:

$$MST = \frac{SST}{t - 1}$$

رابعاً: مجموع مربعات الانحرافات للقطاعات SSR:

$$SSR = \sum_{i=1}^n \frac{R_i^2}{t_i} - CF$$

$$SSR = \left[\frac{R_1^2}{t_1} + \frac{R_2^2}{t_2} + \dots + \frac{R_n^2}{t_n} \right] - CF$$

درجات الحرية:

$$df = r - 1$$

متوسط مربعات الانحرافات للقطاعات MSR:

$$MSR = \frac{SSR}{r - 1}$$

خامساً: مجموع مربعات الانحرافات ضمن المعاملات أو ما يُسمَّى بالخطأ التجريبي SSE:

$$SSE = SSO - SST - SSR$$

درجات الحرية:

$$df = (N - 1) - (t - 1) - (r - 1) = N - 1 - t + 1 - r + 1 = (t - 1)(r - 1)$$

متوسط مربعات الانحرافات ضمن المعاملات MSE:

$$MSE = \frac{SSE}{N - t}$$

اختبار معنوية المعاملات:

للقيام بهذا الاختبار نقارن قيمة F المحسوبة مع F الجدولية عند درجات حرية t - 1 أفقياً و N - 1 عمودياً باحتمال خطأ مسموح به 5% أو 1%.

إذا كانت F المحسوبة > F الجدولية عند كلا المستويين دل ذلك على عدم وجود فروق معنوية بين معاملات التجربة.

أما إذا كانت F المحسوبة < F الجدولية عند كلا المستويين دل ذلك على وجود فروق معنوية عالية بين معاملات التجربة.

أما إذا كانت F المحسوبة < F الجدولية عند مستوى المعنوية 5% و F المحسوبة > F الجدولية عند مستوى المعنوية 1% دل ذلك على وجود فروق معنوية فقط بين معاملات التجربة.

وهذا الكلام ينطبق تماماً على اختبار معنوية القطاعات.

نلخص النتائج السابقة في جدول تحليل التباين:

Table of the analysis of variance

النسبة F	متوسط المربعات M.S	مجموع المربعات S.S	درجة الحرية df	مصادر التباين S.O.V
$F=MST/MSE$	MST	SST	t-1	المعاملات
$F=MSR/MSE$	MSR	SSR	r-1	القطاعات
	MSE	SSE	(t-1)(r-1)	ضمن المعاملات (الخطأ التجريبي)
		SSO	N-1	المجموع

3. تصميم المربع اللاتيني (LSD):

أوضحنا سابقاً الدور الهام للقطاعات في التجربة الحقلية حيث أنها ترفع كفاءة التجربة وتؤدي لتقليل الاختلافات الناتجة عن عدم تجانس التربة مثلاً ممّا يؤدي لزيادة دقة التجربة. في هذا التصميم أيضاً يمكن زيادة دقة التجربة من خلال تقسيم الوحدات التجريبية إلى مجموعات في اتجاهين متعامدين أي بعبارة أخرى يتم استعمال نوعين من القطاعات (الصفوف Rows والأعمدة Columns). وبالتالي يتم في هذا التصميم توزيع المعاملات على الوحدات التجريبية بحيث تظهر المعاملة فقط مرة في كل صف ومرة في كل عمود.

سمي هذا التصميم بالمربع لأن عدد الوحدات التجريبية فيه يُحسب بتربيع عدد المعاملات أو المكررات، وسمي باللاتيني من قبل العالم ليونهارت أولير بسبب استخدام الأحرف اللاتينية فيه A, B, C, D....

من مميزاتة:

أ. يُعتبر أكثر كفاءةً من تصميم القطاعات العشوائية للتجارب الحقلية لأنه يعزل تأثير العوامل المرافقة في اتجاهين اثنين.

ب. سهولة التحليل والتقويم.

من الانتقادات الموجهة له: عدم مرونة التصميم التجريبي: لأنه في حال زيادة عدد المكررات عن 10 يتعذر استخدامه لارتفاع عدد الوحدات التجريبية المطلوبة وبالتالي ازدياد احتمال عدم التجانس وظهور اختلافات أكبر بين الوحدات التجريبية.

لاستخدام هذا التصميم يجب توفر الشروط الآتية:

- عدد المعاملات $T = \text{عدد الأسطر } R = \text{عدد الأعمدة } C$.
- يجب أن تظهر كل معاملة من المعاملات مرة واحدة فقط ضمن كل صف وكل عمود في التجربة.
- ويجب توزيع المعاملات بشكل عشوائي ضمن الصفوف والأعمدة في التجربة.

يُمكن وصف هذا التصميم بالنموذج الرياضي الآتي:

$$X_{ij} = \mu + T_i + R_j + C_k + \epsilon_{ij}$$

X_{ij} : القيمة الإحصائية للوحدة التجريبية في التجربة.

μ : المتوسط الحسابي العام للتجربة.

T_i : تأثير المعاملات.

R_j : تأثير الأسطر أو الصفوف.

C_k : تأثير الأعمدة.

ϵ_{ij} : تأثير الخطأ.

مراحل تحليل التباين:

أولاً: حساب معامل التصحيح Correction Factor:

$$CF = \frac{G^2}{N}$$

ثانياً: حساب مربعات الانحرافات الكلية SSO:

$$SSO = \sum_{i=1}^n X_i^2 - CF = [X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2] - CF$$

درجات الحرية:

$$df = N - 1$$

ثالثاً: مجموع مربعات الانحرافات بين المعاملات المدروسة SST:

$$SST = \sum_{i=1}^n \frac{T_i^2}{r_i} - CF$$

$$SST = \left[\frac{T_1^2}{r_1} + \frac{T_2^2}{r_2} + \dots + \frac{T_n^2}{r_n} \right] - CF$$

درجات الحرية:

$$df = t - 1$$

متوسط مربعات الانحرافات بين المعاملات MST:

$$MST = \frac{SST}{t - 1}$$

رابعاً: مجموع مربعات الانحرافات للأسطر أو الصفوف SSR:

$$SSR = \sum_{i=1}^n \frac{R_i^2}{r_i} - CF$$

$$SSR = \left[\frac{R_1^2}{r_1} + \frac{R_2^2}{r_2} + \dots + \frac{R_n^2}{r_n} \right] - CF$$

درجات الحرية:

$$df = r - 1$$

متوسط مربعات الانحرافات للأسطر أو الصفوف MSR:

$$MSR = \frac{SSR}{r - 1}$$

خامساً: مجموع مربعات الانحرافات للأعمدة SSC:

$$SSC = \sum_{i=1}^n \frac{C_i^2}{r_i} - CF$$

$$SSC = \left[\frac{C_1^2}{r_1} + \frac{C_2^2}{r_2} + \dots + \frac{C_n^2}{r_n} \right] - CF$$

درجات الحرية:

$$df = r - 1$$

متوسط مربعات الانحرافات للأعمدة MSC:

$$MSC = \frac{SSR}{r - 1}$$

سادساً: مجموع مربعات الانحرافات ضمن المعاملات أو ما يُسمى بالخطأ التجريبي SSE:

$$SSE = SSO - SST - SSR - SSC$$

درجات الحرية:

$$df = r^2 - 3r + 2$$

متوسط مربعات الانحرافات ضمن المعاملات MSE:

$$MSE = \frac{SSE}{r^2 - 3r + 2}$$

اختبار معنوية المعاملات:

للقيام بهذا الاختبار نقارن قيمة F المحسوبة مع F الجدولية عند درجات حرية $t - 1$ أفقياً و $N - 1$ عمودياً باحتمال خطأ مسموح به 5% أو 1%.

فإذا كانت F المحسوبة $F >$ الجدولية عند كلا المستويين دل ذلك على وجود فروق معنوية بين معاملات التجربة.

أما إذا كانت F المحسوبة $F <$ الجدولية عند كلا المستويين دل ذلك على وجود فروق معنوية عالية بين معاملات التجربة.

أما إذا كانت F المحسوبة $F <$ الجدولية عند مستوى المعنوية 5% و F المحسوبة $F >$ الجدولية عند مستوى المعنوية 1% دل ذلك على وجود فروق معنوية فقط بين معاملات التجربة.

وهذا الكلام ينطبق تماماً على اختبار معنوية الأسطر أو الصفوف.

كما ينطبق تماماً على اختبار معنوية الأعمدة.

نلخص النتائج السابقة في جدول تحليل التباين:

Table of the analysis of variance

النسبة F	متوسط المربعات M.S	مجموع المربعات S.S	درجة الحرية df	مصادر التباين S.O.V
$F=MST/MSE$	MST	SST	t-1	المعاملات
$F=MSR/MSE$	MSR	SSR	r-1	الأسطر أو الصفوف
$F=MSC/MSE$	MSC	SSC	r-1	الأعمدة
	MSE	SSE	$r^2 - 3r + 2$	ضمن المعاملات (الخطأ التجريبي)
		SSO	N-1	المجموع

تمارين ومسائل:

مثال(1): لدى مقارنة إنتاج خمسة أصناف من القمح هي (A-B-C-D-E) زُرِعَ كل منها في خمس قطع تجريبية، ضمن تجربة بتصميم عشوائي تام (بسيط)، حصلنا بعد الحصاد على النتائج التالية:

(58)	E	C	A	B	A
	16	11	9	14	8
(66)	D	B	E	C	A
	13	17	14	12	10
(61)	C	A	A	B	D
	15	12	11	11	12
(68)	B	D	C	D	C
	12	15	13	14	14
(82)	D	E	B	E	E
	16	18	16	16	16
335	72	73	63	67	60

والمطلوب:

- تحليل التجربة باستخدام تحليل التباين.
- اختبار معنوية الفروق بين المعاملات باستخدام اختبار F.
- إذا أثبت اختبار F وجود فروق معنوية بين المعاملات المطلوب إجراء اختبارات مقارنة المتوسطات.
- تفسير النتائج.

الحل:

تحليل التباين:

أ. حساب معامل التصحيح:

$$CF = \frac{G^2}{N} = \frac{(335)^2}{25} = 4489$$

ب. حساب مجموع مربعات الانحرافات الكلية:

$$SSO = \sum_{i=1}^n X_i^2 - CF = 4649 - 4489 = 160$$

ج. حساب مجموع مربعات الانحرافات بين المعاملات (الأصناف):

$$SST = \sum_{i=1}^n \frac{T_i^2}{r_i} - CF = 4585 - 4489 = 96$$

د. حساب مجموع مربعات الانحرافات للخطأ التجريبي:

$$SSE = SSO - SST = 160 - 90 = 64$$

هـ. حساب متوسطات مربعات الانحرافات لمصادر التباين السابقة: وذلك بقسمة مجموع مربعات الانحرافات لكل

مصدر من مصادر التباين السابقة الذكر على درجة حريته.

- نقوم بعد ذلك بعمل جدول تحليل التباين على الشكل التالي:

F _{tab}	F _{cal}		M.S	S.S	d.f	مصادر التباين
	1%	5%				
4.43	2.87	7.5	24	96	4	بين المعاملات (الأصناف)
			3.2	64	20	الخطأ التجريبي (المتبقي)
				160	24	التباين الكلي

من الجدول السابق نلاحظ أن قيمة F_{cal} أي المحسوبة أكبر من قيمتي F_{tab} الجدولية عند مستويي المعنوية 1% و5%، وهذه النتيجة تدلّ على أنه يوجد فروق معنوية بين المعاملات أي الأصناف. في مثل هذه الحالة يمكن إجراء اختبارات مقارنة المتوسطات إذا كنا نريد مقارنة المعاملات مع الشاهد أو مع بعضها البعض. لذا يمكن الاطلاع على الجلسات العملية القادمة للتعرف على كيفية إجراء اختبارات مقارنة المتوسطات.

مثال(2): أُجريت تجربة حقلية لدراسة إنتاج خمسة أصناف من الكرز بتصميم القطاعات العشوائية الكاملة استخدمت في هذه التجربة أربع مكررات. الجدول التالي يبيّن البيانات الأولية للتجربة:

R1= 60	A 8	B 11	C 13	D 14	E 14
R2 = 70	A 10	C 14	D 15	B 16	E 15
R3 = 75	E 17	A 12	B 15	C 16	D 15
R4 = 75	A 10	C 17	B 15	D 16	E 17
$\Sigma Ri = 280$					

والمطلوب:

- تحليل التجربة باستخدام تحليل التباين.
- اختبار معنوية الفروق بين المعاملات باستخدام اختبار F.
- إذا أثبت اختبار F وجود فروق معنوية بين المعاملات المطلوب إجراء اختبارات مقارنة المتوسطات.
- تفسير النتائج.

الحل:

تحليل التباين:

أ. حساب معامل التصحيح:

$$CF = \frac{G^2}{N} = \frac{(280)^2}{20} = 3920$$

ب. حساب مجموع مربعات الانحرافات الكلية:

$$SSO = \sum_{i=1}^n X_i^2 - CF = 4046 - 3920 = 126$$

ج. حساب مجموع مربعات الانحرافات بين المعاملات (الأصناف):

A	B	C	D	E
8	11	13	14	14
10	16	14	15	15
12	15	16	15	17
10	15	17	16	17
$\Sigma = 40$	$\Sigma = 57$	$\Sigma = 60$	$\Sigma = 60$	$\Sigma = 63$

$$SST = \sum_{i=1}^n \frac{T_i^2}{r_i} - CF = 4004.5 - 3969 = 84.5$$

د. حساب مجموع مربعات الانحرافات للقطاعات:

$$SSR = \sum_{i=1}^n \frac{R_i^2}{t_i} - CF = 3950 - 3920 = 30$$

هـ. حساب مجموع مربعات الانحرافات للخطأ التجريبي:

$$SSE = SSO - SST - SSR = 126 - 84.5 - 30 = 11.5$$

و. حساب متوسطات مربعات الانحرافات لمصادر التباين السابقة: وذلك بقسمة مجموع مربعات الانحرافات لكل مصدر من مصادر التباين السابقة الذكر على درجة حريته. نقوم بعد ذلك بعمل جدول تحليل التباين على الشكل التالي:

F _{tab}		F _{cct}	M.S	S.S	d.f	مصادر التباين
1%	5%					
5.41	3.26	21.98	21.1	84.5	4	المعاملات (الأصناف)
5.95	3.49	10.42	10	30	3	القطاعات
			0.96	11.5	12	الخطأ التجريبي (المتبقي)
				126	19	TOTAL الكلي

من الجدول السابق نلاحظ أن قيمة F_{cal} أي المحسوبة أكبر من قيمتي F_{tab} الجدولية عند مستويي المعنوية 1% و5%، وهذه النتيجة تدلّ على أنه يوجد فروق معنوية عالية بين المعاملات أي الأصناف. في مثل هذه الحالة يمكن إجراء اختبارات مقارنة المتوسطات إذا كنا نريد مقارنة المعاملات مع الشاهد أو مع بعضها البعض. لذا يمكن الاطلاع على الجلسات القادمة للتعرف على كيفية إجراء اختبارات مقارنة المتوسطات. كما نلاحظ أيضاً أن قيمة F_{cal} أي المحسوبة أكبر من قيمتي F_{tab} الجدولية عند مستويي المعنوية 1% و5% بالنسبة للقطاعات، وهذه النتيجة تدلّ على أنه يوجد فروق معنوية عالية بين القطاعات أي أن تأثير القطاعات كان معنوياً جداً في هذه التجربة.

مثال (3): أُجريت تجربة بتصميم المربع اللاتيني على محصول البطاطا لمقارنة خمسة أصناف من حيث الغلة باستخدام خمس مكررات وحصلنا على النتائج الأولية التالية:

الأعمدة					الأسطر
V	IV	III	II	I	
A 166	B 160	C 133	D 126	E 188	1
D 117	E 185	A 169	C 177	B 151	2
B 164	C 177	D 118	E 204	A 140	3
E 189	D 129	B 126	A 166	C 106	4
C 126	A 141	E 166	B 142	D 138	5
756	782	712	815	723	المجموع

يُمكن الاستعانة بالجدول التالي لإتمام التحليل:

713	716	803	799	757	مجموع الأسطر
E = 932	D = 628	C = 719	B = 733	A = 776	مجموع المعاملات

والمطلوب:

- تحليل التجربة المذكورة أعلاه باستخدام تصميم المربع اللاتيني.
- سرد النتائج في جدول تحليل التباين.
- حساب قيمة F ومناقشة النتيجة.

الحل:

يتم تحليل التباين للتجربة بتصميم المربع اللاتيني باتّباع الخطوات التالية:

أ. معامل التصحيح **Correction Factor**:

$$CF = \frac{G^2}{N} = \frac{(280)^2}{20} = \frac{(3788^2)}{25} = 52$$

ب. حساب مجموع مربعات الانحرافات الكلية:

$$SSO = \sum_{i=1}^n X_i^2 - CF = (188)^2 + \dots + (126)^2 = 16430$$

ج. مجموع مربعات الانحرافات بين المعاملات المدروسة:

$$SST = \sum_{i=1}^n \frac{T_i^2}{r_i} - CF = \left(\frac{(776)^2}{5} + \dots + \frac{(932)^2}{5} \right) - 16430 = 9797$$

د. مجموع مربعات الانحرافات للأسطر:

$$SSR = \sum_{i=1}^n \frac{R_i^2}{t_i} - CF = \left[\frac{(757)^2}{5} + \dots + \frac{(767)^2}{5} \right] - 52 = 150$$

هـ. مجموع مربعات الانحرافات للأعمدة:

$$SSC = \sum_{i=1}^n \frac{C_i^2}{r_i} - CF = \left(\frac{(723)^2}{5} + \dots + \frac{(756)^2}{5} \right) - 52 = 1463$$

و. مجموع مربعات الانحرافات ضمن المعاملات، أو ما يُسمى بالخطأ التجريبي:

$$SSE = SSO - SST - SSR - SSC = 16430 - 1550 - 1463 - 9767 = 670$$

تُلخَّص النتائج السابقة في جدول تحليل التباين:

جدول تحليل التباين Table Of The Analysis Of Variance

F _{ca}	F _{tab}		M.S	S.S	d.f	مصادر التباين S.O.V
	5%	1%				
8.01	3.25	5.41	2449.25	9797	4	بين المعاملات
			37.5	150	4	الأعمدة
			365.75	1463	4	الأسطر
			305.83	3670	12	خطأ تجريبي
				16340	24	المجموع

نلاحظ من الجدول المذكور أعلاه أن قيمة F_{cal} المحسوبة أكبر من كلا قيمتي F_{tab} الجدولية عند مستويي المعنوية 1% و 5%، أي أنه يوجد فروق معنوية عالية مؤكدة إحصائياً. وهنا يمكن أن نقوم باختبار الفروق ما بين متوسطات المعاملات (الأصناف) باستخدام اختبارات مقارنة المتوسطات الواردة في الجلسات العملية القادمة.

مثال (4): أُجريت تجربة بتصميم المربع اللاتيني لدراسة تأثير الغلوكوز على إفراز الأنسولين في دم الأرانب، حيث تم اختيار أربعة أرانب (الأعمدة أو القطاعات)، وتم اختبار أربع جرعات مختلفة من الغلوكوز (المعاملات) لمدة أربعة أيام (الأسطر) وكانت النتائج الأولية كما يلي:

المجموع	الأرانب				الأيام
	IV	III	II	I	
266	D 50	C 79	A 90	B 47	1
252	A 69	B 63	C 74	D 46	2
247	C 66	D 58	B 61	A 62	3
285	B 59	A 87	D 63	C 76	4
1050	244	277	288	231	المجموع

والمطلوب:

- تحليل التجربة المذكورة أعلاه باستخدام تصميم المربع اللاتيني.
- سرد النتائج في جدول تحليل التباين.

الحل: تم تحليل التجربة كما في المثال السابق وحصلنا على جدول تحليل التباين التالي الذي يلخص النتائج التي تم الحصول عليها:

F _{cal}	F _{tab}		M.S	S.S	d.f	مصادر التباين S.O.V
	1%	5%				
26.27	9.78	4.76	521.1	1563.2	3	بين المعاملات
			215.4	646.25	3	الأعمدة
			72.4	217.25	3	الأسطر
			19.83	119	6	ضمن المعاملات (خطأ تجريبي)
				2545.7	15	المجموع

كما في المثال السابق نلاحظ أيضاً من الجدول المذكور أعلاه أن قيمة F_{cal} المحسوبة أكبر كلا قيمتي F_{tab} عند مستويي المعنوية 1% و 5%، أي أنه يوجد فروق معنوية عالية مؤكدة إحصائياً. وهنا يمكن أن نقوم باختبار الفروق ما بين متوسطات المعاملات (الأصناف) باستخدام اختبارات مقارنة المتوسطات الواردة في الجلسات العملية القادمة.

تمارين ومسائل غير محلولة:

1. لدينا البيانات التالية التي تبين تطور الإنتاج من أحد المحاصيل الزراعية وهو القمح في أحد حقول محافظة حماه، وذلك خلال الفترة 2015 - 2018:

الصنف / المكررات	a	b	c	d
I	400	456	500	680
II	300	555	258	536
III	584	965	896	895

والمطلوب:

- ارسم المخطط البياني للبيانات السابقة باستخدام الرسوم البيانية من نوع الأعمدة.
- احسب معدّل الإنتاج من محصول القمح خلال الفترة المحددة من عام 2015 حتى عام 2018.
- احسب المؤشرات الإحصائية اللازمة التي تمّ شرحها في الفصول السابقة.
- طبّق تحليل التباين البسيط على البيانات الواردة في الجدول السابق.
- طبّق اختبار f-test للبيانات السابقة وفسّر النتيجة.

2. لدينا البيانات التالية التي تبين تطور عدد الطلاب في إحدى الجامعات السورية خلال الفترة 2010 - 2013:

السنة / عدد الطلاب	2010	2011	2012	2013
I	50000	60000	50000	30000
II	20000	27000	22000	21000
III	45000	67000	50000	4000
IV	30000	27000	25555	19000
V	90000	89660	58990	80000

والمطلوب:

- مثلّ البيانات السابقة في الجدول أعلاه بالطريقة البيانية المناسبة.
- احسب المؤشرات الإحصائية اللازمة لعدد الطلاب التي تمّ شرحها في الفصول السابقة.
- طبّق تحليل التباين البسيط باستخدام تصميم القطاعات الكاملة على البيانات الواردة في الجدول السابق.
- طبّق اختبار f-test للبيانات السابقة وفسّر النتيجة.
- لو طبّقنا تحليل التباين البسيط باستخدام تصميم العشوائي الكامل ماذا يترتّب عن ذلك؟

اختبارات مقارنة المتوسطات Multiple Means Comparison Tests

1. مقدمة:

في تحليل التباين ومن خلال مقارنة التباين MST أي تباين المعاملات مع تباين الخطأ المتبقي MSE يمكن الاستنتاج فيما إذا كان هناك تأثير عاملي (رئيسي أو متبادل) بما يتعلّق بالصفة المختبرة أم لا. وعندما يؤكّد اختبار F معنوية الفروق بين المعاملات فهذا يدلّ على أنه توجد فروق مؤكّدة إحصائياً بين متوسطات المعاملات وذلك باستخدام اختبارات مقارنة المتوسطات المتعددة.

تعتبر هذه الاختبارات ضرورية في كثير من الحالات منها الحالات التالية:

- مقارنة مجموعة من المتوسطات مع بعضها البعض.
- مقارنة مجموعة من المتوسطات مع متوسط مُحدّد مُختار على أساس أنه المتوسط للصنف الشاهد.
- مقارنة مجموعة من المتوسطات مع المتوسط العام للتجربة.

بما أنه يمكن مقارنة متوسطين (لمعاملتين من تجربة معينة) من خلال اختبار T t-test أو من خلال اختبار LSD كما سنرى بعد قليل (علماً بأنّ المتوسطات يجب أن تكون مأخوذة من مجتمع مُوزّع توزيعاً طبيعياً) فإنّه يمكن استخدام اختبار Multiple t- Test.

من خلال الآتي سنقوم باستعراض أهمّ اختبارين متّبعين في مقارنة المتوسطات مع ذكر الأسباب التي تؤدّي إلى تفضيل استخدام أحدهما على الآخر:

أولاً: اختبار L.S.D أو أقل فرق معنوي Least Significant Difference:

إذا كانت قيمة F المحسوبة أكبر من قيمتي F الجدولية عند مستويي المعنوية 1% و 5% دلّ ذلك على وجود فروق معنوية بين المعاملات المدروسة ولا بدّ من مقارنة متوسطات هذه المعاملات بعضها مع بعض من أجل تحديد المتفوق منها. ويتمّ ذلك من خلال اختبار L.S.D:

$$L.S.D = t(5\%) * sd^{\wedge}$$

$$L.S.D = t(1\%) * sd^{\wedge}$$

تُحسب t بدرجة حرية الخطأ التجريبي.

حيث sd' : الخطأ القياسي (المعياري) للفرق بين متوسطين ويُحسب كما يلي:

1. في حالة تساوي الوحدات التجريبية لمعاملتين: $r_1 = r_2$.

$$sd' = \sqrt{\frac{2MSE}{r}}$$

2. في حالة عدم تساوي الوحدات التجريبية للمعاملتين: $r_1 < r_2$.

$$sd' = \sqrt{\frac{MSE}{r_1} + \frac{MSE}{r_2}}$$

حيث r : عدد المكررات (الوحدات التجريبية) في المعاملة المراد اختبارها.

MSE: متوسط مربع الانحراف للخطأ التجريبي.

لا يُجرى اختبار أقل فرق معنوي إلا بعد الانتهاء من عملية تحليل التباين وعمل اختبار (F) معنوية. كذلك لا يُجرى اختبار أقل فرق معنوي إلا لمقارنة متوسطات المعاملات بمتوسط معاملة الشاهد. مثال ذلك مقارنة متوسطات أصناف جديدة بمتوسط الصنف المحلي السائد في المنطقة، خصوصاً في الحالات التي لا يزيد فيها عدد المعاملات على الخمس.

يجدر بالذكر هنا أنّ استخدام اختبار أقل فرق معنوي L.S.D غير صحيح عند إجراء المقارنة بين عدد كبير من المعاملات. ولقد أثبت كل من Person & Hartley أنّ احتمال أن تكون نتائج المقارنة غير صحيحة باستعمال اختبار LSD يزداد بازدياد عدد المعاملات، والجدول التالي يبيّن العلاقة ما بين عدد المعاملات واحتمال الخطأ في المقارنة ما بين المتوسطات:

احتمال الخطأ باستخدام LSD	عدد المعاملات (t)
5%	$5 > t > 2$
27%	$10 > t > 5$
59%	$20 > t > 10$
86%	$t > 20$

لذلك يُفضّل عدم استعمال اختبار L.S.D إذا زاد عدد المتوسطات عن اثنين وألاً تظهر المعاملة في المقارنة أكثر من مرة. في مثل هذه الحالات يتم استخدام اختبار دنكان (عندما يزداد عدد المتوسطات عن اثنين) بشكل أفضل وأدقّ كما سنرى فيما يلي:

مثال (1): يمكننا أن نستخدم المثال الذي ورد في الجلسات العملية السابقة (التصاميم البسيطة والكاملة) والذي كان على الشكل التالي: لدى مقارنة إنتاج خمسة أصناف من القمح (A-B-C-D- E) زُرِعَ كل منها في خمس قطع تجريبية، ضمن تجربة بتصميم عشوائي كامل. حصلنا بعد الحصاد على النتائج التالية:

(58)	E	C	A	B	A
	16	11	9	14	8
(66)	D	B	E	C	A
	13	17	14	12	10
(61)	C	A	A	B	D
	15	12	11	11	12
(68)	B	D	C	D	C
	12	15	13	14	14
(82)	D	E	B	E	E
	16	18	16	16	16
335	72	73	63	67	60

وبعد ذلك قمنا بتحليل التجربة في المثال المذكور باستخدام تحليل التباين فحصلنا على جدول تحليل التباين على الشكل التالي:

F_{tab}		F_{cal}	M.S	S.S	d.f	مصادر التباين
1%	5%					
4.43	2.87	7.5	24	96	4	بين المعاملات (الأصناف)
			3.2	64	20	الخطأ التجريبي (المتبقي)
				160	24	التباين الكلي

من الجدول السابق نلاحظ أن قيمة F_{cal} أي المحسوبة أكبر من قيمتي F_{tab} الجدولية عند مستويي المعنوية 1% و5%. هذه النتيجة تدلّ على أنه يوجد فروق معنوية بين المعاملات أي الأصناف. في مثل هذه الحالة يمكن إجراء اختبارات مقارنة المتوسطات إذا كنا نريد مقارنة المعاملات مع الشاهد أو مع بعضها البعض.

سنطبّق الآن اختبار أقل فرق معنوي LSD الذي يُعطى بالعلاقة التالية:

$$\text{LSD} = t_{\text{tab}} * \text{sd}^{\wedge}$$

وفق الخطوات الآتية:

- نحدد قيمة t الجدولية عند درجة حرية (N-1) أي 20 وعند مستوى المعنوية (1% و 5%) أي:

$$t_{5\%} = 2.08$$

$$t_{1\%} = 2.845$$

- نحسب الخطأ المعياري (القياسي):

$$\text{sd}^{\wedge} = \sqrt{\frac{2\text{MSE}}{R}}$$

$$\text{sd}^{\wedge} = \sqrt{\frac{2 * 3.2}{R}} = 1.13$$

- نحسب قيم LSD:

$$\text{L.S.D}_{1\%} = 2.845 * 1.13 = 3.215$$

$$\text{L.S.D}_{5\%} = 2.086 * 1.13 = 2.36$$

- نحسب المتوسط الحسابي لكل معاملة من معاملات (الأصناف) التجربة:

$$\bar{X}_A = 50/5 = 10$$

$$\bar{X}_B = 70/5 = 14$$

$$\bar{X}_C = 65/5 = 13$$

$$\bar{X}_D = 70/5 = 14$$

$$\bar{X}_E = 80/5 = 16$$

• مقارنة متوسطات المعاملات (الأصناف) مع بعضها البعض كل زوج على حدة:

متوسطات المعاملات	الفروقات	LSD _{1%} 3.215	LSD _{5%} 2.36
A-B	10 - 14 = -4	**	**
A-C	10 - 13 = -3	-	*
A-D	10 - 14 = -4	**	**
A-E	10 - 16 = -6	**	**
B-C	14 - 13 = 1	-	-
B-D	14 - 14 = 0	-	-
B-D	14 - 16 = -2	-	-
B-E	14 - 16 = -2	-	-
C-D	13 - 14 = -1	-	-
C-E	13 - 16 = -3	-	*
D-E	14 - 16 = -2	-	-

ملاحظات:

- يشير الرمز ** إلى وجود فروق معنوية عالية مؤكدة إحصائياً بين متوسطي المعاملتين أو الصنفين قيد المقارنة.
- يشير الرمز * إلى وجود فروق معنوية مؤكدة إحصائياً بين متوسطي المعاملتين أو الصنفين قيد المقارنة.
- يشير الرمز - إلى عدم وجود أية فروق معنوية بين متوسطي المعاملتين أو الصنفين قيد المقارنة.
- يمكن أن نستنتج حسب نتيجة المقارنة المذكورة في الجدول السابق أعلاه ما هي الأصناف المتفوقة على الصنف المختار كشاهد في المقارنة.

- في المثال المعتمد أعلاه يمكن القول كنتيجة المقارنة أن:

1. الأصناف B, D, E تفوقت على الصنف A.
2. لا يوجد فروق معنوية بين الأصناف B وبقية الأصناف C, D, E سوى أن الفروق عادية بين كل من الصنفين C وE وبين الصنفين A وC.

ثانياً: اختبار دنكان Duncan أو اختبار L.S.R:

كما هو الحال بالنسبة للاختبار السابق فإننا نجري هذه الاختبارات عادة إذا أكد اختبار F وجود فروق معنوية بين المتوسطات للمعاملات أو الأصناف وذلك لمقارنة متوسطات المعاملات مع بعضها البعض.

ويجدر بالذكر إلى أنه يُفضّل استخدام اختبار دنكان أو L.S.R (بدلاً من اختبار L.S.D) في الحالات التالية:

- عندما يزيد عدد متوسطات المعاملات عن اثنين نظراً لزيادة احتمال الخطأ الناتج عن استخدام اختبار L.S.D.
- عندما تكون الغاية هي مقارنة متوسطات المعاملات مع بعضها البعض (دون اعتبار أحد المتوسطات هو الشاهد) ومن ثم ترتيب المتوسطات حسب الأفضلية.
- أما خطوات إجراء اختبار دنكان فهي التالية:
- نحسب قيمة الخطأ القياسي كما يلي:

$$S_x = \sqrt{\frac{MSE}{r}}$$

- نستخرج قيم المعامل SSR_n (حيث $n=1..K$ و K هي عدد المتوسطات في التجربة والتي سيتم المقارنة فيما بينها) من جدول دنكان عند مستوى المعنوية المحدد: 1% و 5% وذلك عند درجة حرية الخطأ التجريبي (حسب التصميم المستخدم) فنحصل على جدول مماثل للآتي:

K	2	3 n
$SSR_{5\%}$	xxx	xxx	xxx
$SSR_{1\%}$	xxx	xxx	xxx

- نضرب قيم SSR_n (المستخرجة من الجدول من الفقرة السابقة أعلاه) بقيمة الخطأ القياسي (من الفقرة الأولى) فنحصل على قيم أقل فرق معنوي $L.S.R_n$.

$$L.S.R_{5\%} = SSR_{5\%} * S_x$$

$$L.S.R_{1\%} = SSR_{1\%} * S_x$$

ثم ننشئ الجدول المتمم التالي:

$L.S.R_{5\%}$	$L.S.R_1=...$	$L.S.R_2=...$	$L.S.R_n=...$
$L.S.R_{1\%}$	yyy	yyy	yyy

حيث أن: yyy هي قيم $L.S.R_n$ الموافقة لكل عدد من المتوسطات من 2 إلى k متوسط. $n = 2, \dots, K$ و عدد المتوسطات في التجربة.

- ترتب المتوسطات في التجربة تنازلياً أو تصاعدياً.
- ترتب المتوسطات مع قيم $L.S.R_n$ المناسبة ثم يتم مقارنة الفروق ما بين المتوسطات مع قيم $L.S.R_n$ عند مستويي المعنوية 1% و 5% وذلك كما في الجدول التالي:

K	المقارنة	الفرق	$L.S.R_{1\%}$	$L.S.R_{5\%}$
n	$\bar{X}_n - \bar{X}_{n-1}$	D_i	xxx	yyy
n-1	$\bar{X}_n - \bar{X}_{n-2}$ $\bar{X}_n - \bar{X}_{n-3}$	D_{i-1}	:	:
n-2	:	:	:	:
:	$\bar{X}_n - \bar{X}_2$:	:	:
2		D_2	:	:
n-1	$\bar{X}_{n-1} - \bar{X}_{n-2}$	D_{i-1}	:	:
n-2	$\bar{X}_{n-1} - \bar{X}_{n-3}$	D_{i-2}	:	:
:	:	:	:	:
2	$\bar{X}_{n-1} - \bar{X}_2$	D_2	:	:
n-2	$\bar{X}_{n-2} - \bar{X}_{n-3}$	D_{i-2}	:	:
:	:	:	:	:
2	$\bar{X}_{n-2} - \bar{X}_2$	D_2	:	:
2	$\bar{X}_{n-3} - \bar{X}_2$	D_2	xxx	yyy

حيث أن: الرمز \bar{X}_n يدلّ على المتوسط ذو القيمة العظمى الذي يقع في الترتيب الأول عند ترتيب المتوسطات تنازلياً (أو الترتيب الأخير عند ترتيب المتوسطات تصاعدياً).

الرمز \bar{X}_2 يدلّ على المتوسط ذو القيمة الدنيا الذي يقع في الترتيب الأخير عند ترتيب المتوسطات تنازلياً (أو الترتيب الأول عند ترتيب المتوسطات تصاعدياً).

الرمز n يدلّ على ترتيب المتوسط في مجموعة المتوسطات (بعد ترتيب المتوسطات تنازلياً أو تصاعدياً).

الرمز D_i يدلّ على الفرق ما بين أكبر متوسط والمتوسط الذي يليه.

الرمز D_2 يدلّ على الفرق ما بين المتوسط قبل الأخير والمتوسط الأخير.

لا شكّ أنّ الجدول السابق كما يبدو فيه بعض الصعوبة ولكن لا داعي للقلق فقد تمّ إعداد الجدول السابق بشكل يمكن من ترجمته بسهولة إلى برنامج بإحدى لغات البرمجة كالبيسك أو الباسكال وغيرها. ولزيادة التوضيح نأخذ المثال التالي حول استخدام اختبار دنكان:

مثال(2): أُجريت تجربة لمقارنة (4) علائق تسمين على أربعين حيواناً متجانساً قُسموا عشوائياً إلى (4) مجموعات وكانت الزيادة في الوزن (كغ) هي الصفة المختارة. في نهاية التجربة أمكن الحصول على البيانات التجريبية الواردة في الجدول التالي:

المعاملات				المكررات
D	C	B	A	
7	6	7	6	1
4	12	9	5	2
5	9	6	5	3
3	12	8	2	4
2	11	4	1	5
2	11	7	5	6
2	7	11	4	7
7	8	8	2	8
6	11	7	4	9
7	10	3	6	10
45	97	70	40	المجموع
5	10	7	4	المتوسط

بعد ذلك أُجري تحليل التباين العادي باستخدام التصميم العشوائي الكامل، وحصلنا على جدول تحليل التباين التالي:

F_{cal}	M.S	d.f	S.S	مصادر التباين
71.03*	70	3	210	المعاملات
	148	36	36	الخطأ التجريبي
		358	39	التباين الكلي

لإجراء اختبار دنكان نقوم بالخطوات التالية:

• نحسب قيمة الخطأ القياسي كما يلي :

$$S_x = \sqrt{\frac{MSE}{r}}$$

$$S_x = \sqrt{\frac{4.11}{10}} = 0.641$$

• نستخرج قيم المعامل SSR_n (حيث $n = 1 \dots K$ و K هي عدد المتوسطات في التجربة والتي سيتم المقارنة فيما بينها) من جدول دنكان عند مستوى المعنوية المحدد: 1% و 5% وذلك عند درجة حرية الخطأ التجريبي (حسب التصميم المستخدم). فنحصل على جدول مماثل للآتي:

K	2	3	n
$SSR_{5\%}$	2.87	3.018	3.114
$SSR_{1\%}$	3.86	4.015	4.126

• نضرب قيم SSR_n (المستخرجة من الجدول من الفقرة السابقة أعلاه) بقيمة الخطأ القياسي (من الفقرة الأولى) فنحصل على قيم أقل فرق معنوي $L.S.R_n$.

$$L.S.R_{5\%} = SSR_{5\%} * S_x$$

$$L.S.R_{1\%} = SSR_{1\%} * S_x$$

ثم ننشئ الجدول المُتمم التالي:

$L.S.R_{5\%}$	1.782	1.935	1.996
$L.S.R_{1\%}$	2.475	2.574	2.645

$$n = 2 \dots K$$

K عدد المتوسطات في التجربة.

- ترتب المتوسطات في التجربة تنازلياً أو تصاعدياً .
- ترتب المتوسطات مع قيم $L.S.R_n$ المناسبة ثم يتم مقارنة الفروق ما بين المتوسطات مع قيم $L.S.R_n$ عند مستويي المعنوية 1% و 5% وذلك كما في الجدول التالي:

K	المقارنة	الفرق	$L.S.R_{1\%}$	$L.S.R_{5\%}$
4	C - A	6 **	1.996	2.645
3	C - D	5 **	1.935	2.574
2	C- B	3 **	1.782	2.475
3	B -A	3 **	1.935	2.574
2	B -D	2 *	1.782	2.475
2	D -A	1 *	1.782	2.475

يُمكن تبسيط الجدول السابق أعلاه حتى يتسنى نشره في الدوريات العلمية وفي الكتب على أن يُؤخذ بعين الاعتبار أنّ كل متوسطين يشتركان في حرف معين أو عدّة حروف ليس بينهما فرق معنوي. وعادةً يُعطى الحرف a للمتوسط الأكبر ثم الأحرف الأبجدية الإنكليزية التالية للمتوسطات الأقل كما في الجدول التالي:

متوسطات المعاملات				مستوى المعنوية
D	C	B	A	
5	10	7	4	5%
c	a	b	c	1%
bc	a	ab	c	

من الجدير بالذكر أنّ كل معاملتين تشتركان بنفس الحرف أو أكثر من حرف ليس بينهما فرق معنوي.

التجارب العاملية Factorial Experiments

- في التجارب العاملية يتم اختبار تأثير توافق عاملين أو أكثر (معاملات مركبة) على الصفة المختبرة، أي أن التجربة العاملية تحتوي على عاملين مختبرين أو أكثر.
- في التجارب العاملية يتم تحديد التأثير المركب من عاملين أو أكثر في التجربة، وهذا التأثير يمكن تجزئته إلى مصدرين اثنين:

1. التأثير الرئيسي للعوامل المختبرة لكل عامل على حدا أي التأثير الفردي لكل منها.

2. التأثير المتبادل ما بين العوامل أو ما يُسمى "الفعل المتبادل".

- تتميز التجارب العاملية بمميزات فريدة وهي:

1. ذات فعالية عالية، لأنه يتم في مثل هذه التجارب اختبار الفصل المتبادل ما بين كل مستوى من المستويات للعوامل الأخرى في نفس التجربة.

2. ذات كفاءة تمثيل عالية للواقع أو الشروط الطبيعية وذلك لأنه من خلال اختبار توافق العوامل ضمن

مجال واسع ومتعدد لكلٍ منها وبالتالي التجريب في عدة مجالات تجريبية ضمن مستويات متعددة مما يجعل التجارب العاملية أقرب ما يمكن إلى الظروف الطبيعية حيث أن كل ظاهرة في الطبيعة ناتجة عن تأثير مجموعة من العوامل المتداخلة مع بعضها البعض.

3. توفير الوقت والجهد حيث يمكن تطبيق عدد كبير من المعاملات والاختبارات في تجربة واحدة وبالتالي الحصول على معلومات مهمة ومتنوعة وبنفس الدقة التجريبية تقريباً.

- توجه بعض الانتقادات للتجارب العاملية نذكر منها:

1. تتطلب خبرة في تصميمها وتنفيذها، حيث أن أي خطأ في خطة التجربة سيؤدي إلى خلل محتمل في

النتائج ويصعب جداً إعادة مثل هذه التجارب نظراً لأنها مكلفة وتحتاج إلى وقت طويل لتكرارها.

2. التحليل الإحصائي لهذه التجارب معقد نسبياً، كما أنه يتم في بعض الأحيان اختبار تصميم معقد أيضاً لتحقيق مثل هذه التجارب.

3. قد نضطر لإدراج بعض المعاملات أو الوحدات التجريبية رغم عدم الحاجة إليها.

- أن التجارب العاملية ليست إلا طريقة تجريبية ولا يمكن اعتبارها تصميمياً خاصاً. ويمكن أن نقول بكل وضوح أن التجارب العاملية ليست إلا عدة تجارب بسيطة (تجربتين أو أكثر) تُنفذ مع بعضها البعض في آن واحد.

تحليل التجارب العاملية:

تختلف مصادر التباين لأية تجربة باختلاف التصميم التجريبي المتَّبَع. وبما أن التجارب العاملية ليست تصاميماً بل هي عبارة عن تجارب تحتوي أكثر من عامل مختبر وبالتالي يمكن استخدام التصاميم المذكورة في الجلسات العملية السابقة والمتَّبَعَة مع التجارب البسيطة مع بعض التعديل نتيجة لوجود أفعال متبادلة بالإضافة للأفعال الرئيسية. إذا كانت لدينا تجربة من الدرجة الأولى، أي تحتوي عاملين اثنين، فإنّ مصادر التباين يمكن التعبير عنها بالنموذج الرياضي التالي وذلك عند استخدام تصميم القطاعات العشوائية الكاملة.

$$X_{ijk} = \mu + R_k + A_i + B_j + Ab_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

حيث أن: μ : المتوسط العام للتجربة.

R_k : تأثير القطاعات.

A_i : تأثير المعاملات للعامل A.

B_j : تأثير المعاملات للعامل B.

Ab_{ij} : تأثير الفعل المتبادل للعاملين A و B.

- يمكن التعرف على مصادر التباين في التجربة، من خلال القيام بالخطوات التالية:
 1. ترتيب المعطيات التجريبية (القيم الإحصائية التجريبية) في جدول كما هو الحال عند تصميم التجربة بالقطاعات العشوائية الكاملة.
 2. حساب كل من المتوسط الحسابي والمجموع لكل من البيانات التجريبية الكلية والمعاملات والمكررات والفعل المتبادل.
 3. حسب التباينات الكلية للتجربة كما هو الحال في التصاميم لدى التجارب البسيطة.
 4. تجزئة التباين الكلي إلى مصادر التباين الفرعية وهي تتشكل من مجموعتين:
 - التباينات لأفعال المباشرة للعوامل A و B.
 - التباينات لأفعال المتبادلة AB.

يتمّ حساب التباينات للأفعال الفردية والمتبادلة من خلال العلاقات التالية:

$$SSO = SS(A + B) + SSR + SSE$$

$$SS(A + B) = SSA + SSB + SS(A * B)$$

$$abr - 1 = (ab - 1) * (r - 1)$$

$$ab - 1 = (a - 1) * (b - 1)$$

$$SSE = SSO - SST - SSR$$

ويمكن ذكر الصيغ اللازمة لحساب التباينات المختلفة من خلال الجدول التالي:

S.S	d.f	مصادر التباين S.O.V
$\sum_{i=1}^n \frac{T_{ab}^2}{r} - CF$	$ab - 1$ $(t - 1)$	المعاملات SST
$\sum_{i=1}^n \frac{R_k^2}{ab} - CF$	$r - 1$	القطاعات SSR
$\sum_{i=1}^n \frac{X_i^2}{n} - CF$	$abr - 1$ $(N - 1)$	الكلية SSO
$\sum_{i=1}^n \frac{T_a^2}{b \cdot r} - CF$	$a - 1$	العامل A
$\sum_{i=1}^n \frac{T_b^2}{a \cdot r} - CF$	$b - 1$	العامل B
$\sum_{i=1}^n \frac{T_{ab}^2}{r} - CF - SSA - SSB$ $= SST - SSA - SSB$	$(a - 1) * (b - 1)$	الفعل المتبادل AB

ثم يتم ترتيب النتائج في جدول تحليل التباين الذي يكون على الشكل التالي:

F	M.S	S.S	d.f	مصادر التباين S.O.V
$F = MST / MSE$	MST	SST	$t - 1$	المعاملات
$F = MSR / MSE$	MSR	SSR	$r - 1$	القطاعات
	MSE	SSE	$(t - 1) * (r - 1)$	الخطأ التجريبي
$F = MSA / MSE$	MSA	SSA	$a - 1$	العامل A
$F = MSB / MSE$	MSB	SSB	$b - 1$	العامل B
$F = MSAB / MSE$	MSAB	SSAB	$(a - 1) * (b - 1)$	الفعل المتبادل AB
		SS0	$N - 1$	المجموع

فيما يلي سيتم شرح كيفية تحليل التجارب العاملية سواءً أكانت من الدرجة الأولى أم من الدرجة الثانية، وذلك من خلال المثال التطبيقي الآتي:

مثال(1): أُجريت تجربة عاملية من الدرجة الأولى باستخدام التصميم العشوائي التام لدراسة تأثير خلطتين من الأسمدة المعدنية (العامل A) على غلة ثلاثة أصناف من الشعير المحلي (العامل B) وكانت النتائج التالية علماً أنه تم استخدام 4 مكررات:

جدول محصول تجربة الشعير (الإنتاج 100 كغ/ها)

المجموع	المكررات				العامل B	العامل A
66	17	16	16	17	b₀	a₀
79	19	21	21	19	b₁	
14	14	13	15	14	b₂	
104	26	25	26	27	b₀	a₁
114	30	29	27	28	b₁	
122	31	30	31	30	b₂	
541						المجموع

أما تحليل مثل هذه التجارب فيتم على الشكل التالي:

المرحلة الأولى: يتم فيها حساب مصادر التباين الرئيسية، وهي التالية:

- معامل التصحيح (C.F): ويُحسب من العلاقة:

$$CF = \frac{G^2}{N} = \frac{(541)^2}{24} = 12195.04$$

- مجموع المربعات الكلية (SSO):

$$SSO = \sum_{i=1}^n X_i^2 - CF = [(31) + (30) \dots (17)] - 12195.04 = 925.96$$

- مجموع مربعات المعاملات (SST):

$$SST = \sum_{i=1}^n \frac{T_i^2}{r_i} - CF = \left[\frac{(66)^2 + (79)^2 + \dots + (122)^2}{4} \right] - 12195.041 = 912.209$$

- مجموع المربعات للخطأ (SSE):

$$SSE = SSO - SST = 912.209 - 925.96 = 13.751$$

المرحلة الثانية: تتلخص هذه المرحلة بتجزئة التأثير الكلي للمعاملات إلى التأثير الفردي لكل من العامل A والعامل B ثم الفعل المتبادل للعاملين معاً AB:

- مجموع المربعات للعامل A (SSA):

$$\sum_{i=1}^n \frac{T_A^2}{b \cdot r} - CF = \left[\frac{(201)^2 + (340)^2}{3 * 4} \right] - 12195.041 = 805.042$$

- مجموع المربعات للعامل B (SSB):

$$\sum_{i=1}^n \frac{T_B^2}{a \cdot r} - CF = \left[\frac{(170)^2 + (163)^2 + (178)^2}{(2 * 4)} \right] - 12195.041 = 34.084$$

- مجموع المربعات للفعل المتبادل AB (SSAB):

$$SSAB = SST - SSA - SSB$$

$$SSAB = 912.209 - 805.042 - 34.084 = 73.083$$

هذا ويمكن تكوين جدول مساعد لتسهيل حساب الأفعال الرئيسية والمتبادلة بدلاً من الاعتماد على الجدول الأساسي السابق، حيث يأخذ الجدول المساعد الشكل التالي:

جدول الفعل المتبادل A x B

المجموع	b ₁	b	b ₀	
201	56	79	66	a ₀
340	122	114	104	a ₁
	178	193	170	المجموع

بعد ذلك يمكننا من ترتيب النتائج النهائية في جدول تحليل التباين كما يلي:

جدول تحليل التباين

F	متوسط المربعات	درجات الحرية d.f	مجموع المربعات	مصادر التباين
<u>الجدولية</u>	<u>المحسوبة</u>			
	182.44	5	912.209	المعاملات
	0.92	15	13.751	الخطأ
8.68	875.1	1	805.042	العامل A
6.36	18.5	2	34.084	العامل B
6.36	39.72	2	73.083	الفعل المتبادل AB
		25	1838.179	الكلي

مناقشة النتائج:

بعد مقارنة قيمة F المحسوبة مع نظيرتها الجدولية نجد أنه هناك فروق معنوية عالية عند مستوى المعنوية 1% و 5%، وفي هذه الحالة يمكن إجراء اختبارات مقارنة المتوسطات (L.S.D أو دنكان) لاختيار المعاملات المرغوبة وترتيبها حسب الأفضلية. أمّا كيفية إجراء ذلك فهي مشابهة تماماً لما ذُكر في تصاميم التجارب البسيطة (راجع الجلسة العملية السابقة حول استخدام اختبارات المتوسطات أو المقارنات الفردية).

تمارين ومسائل:

1. أُجريت تجربة حقلية لدراسة تطور الإنتاج من أحد المحاصيل الزراعية في إحدى مزارع محافظة حماه وهو الذرة باستخدام صنفين A و B وطريقتين للري (عمر، وتقطيع) فنتجت لدينا البيانات التالية:

B		A		الصنف
b_0	b_1	a_0	a_1	المكررات
7	7	4	6	I
3	5	9	7	II
9	6	6	8	III
1	2	1	3	IV

والمطلوب:

- ارسم المخطط البياني للبيانات السابقة باستخدام الرسوم البيانية من نوع الخطوط البيانية.
 - احسب المؤشرات الإحصائية اللازمة التي تم شرحها في الجلسات العملية السابقة.
 - طبق تحليل التباين باستخدام تصميم المربع اللاتيني للبيانات الواردة في الجدول السابق.
 - طبق اختبار f-test واختبر الفروق بين المعاملات وفسر النتيجة.
 - طبق اختبار f-test واختبر تأثير الأفعال الرئيسية والمتبادلة وفسر النتيجة.
 - هل نحتاج لاختبارات مقارنة المتوسطات؟ وما هو هذا الاختبار إن كنا بحاجة إليه؟
 - طبق اختبار f-test واختبر تأثير القطاعات والأسطر وفسر النتيجة.
2. تم إجراء تجربة مخبرية لدراسة تطور عدد من سلالات البكتريا في أوساط نمو مختلفة، ونتجت لدينا البيانات التالية:

B		A		السلالات
b_0	b_1	a_0	a_1	المكررات
500	300	600	450	I
768	210	234	787	II
458	400	670	450	III
111	190	270	390	IV
589	800	896	900	V
783	678	866	567	VI

والمطلوب:

- مثل البيانات السابقة في الجدول أعلاه بالطريقة البيانية المناسبة.
- احسب المؤشرات الإحصائية اللازمة لعدد الطلاب التي تم شرحها في الفصول السابقة.
- طبق تحليل التباين باستخدام تصميم العشوائي الكامل على البيانات الواردة في الجدول المذكور.
- طبق اختبار f-test واختبر الفروق بين المعاملات وفسر النتيجة.
- طبق اختبار f-test واختبر تأثير الأفعال الرئيسية والمتبادلة وفسر النتيجة.
- هل نحتاج لاختبارات مقارنة المتوسطات؟ وما هو هذا الاختبار إن كنا بحاجة إليه؟