تصميم وتحليل التجارب

المحاضرة الثالثة

أسس التحليل الإحصائي والبيانات والضبط التجريبي

من طبيعة البيانات ومقاييس القياس إلى افتراضات تحليل التباين ومجاميع السيطرة

الأهداف التعليمية

- توضيح موقع التحليل الإحصائي ضمن مراحل تصميم التجربة وتنفيذها.
- التمييز بين البيانات النوعية والكمية، وبين البيانات المتقطعة والمستمرة.
- اختيار الأساليب الوصفية والاستدلالية المناسبة وفق مقياس القياس.
- شرح فكرة تحليل التباين وفرضياته وافتراضاته الأساسية.
- تحديد الحالات المناسبة لتحويل البيانات، مع إدراك حدود التحويل.
- بيان دور حجم العينة والتكرار ومجاميع السيطرة في رفع صدق الاستنتاج التجريبي.

مصطلحات أساسية :البيانات، المتغير، مقياس القياس، الاختبارات المعلمية واللامعلمية، تحليل التباين، البواقي، التكرار، مجموعة السيطرة.

1. التحليل الإحصائي في البحث التجريبي

التحليل الإحصائي هو مجموعة إجراءات منظمة تبدأ بمراجعة البيانات وترميزها وتلخيصها، ثم اختيار نموذج أو اختبار يتفق مع سؤال البحث وتصميم التجربة وطبيعة المتغيرات .ولا يقتصر التحليل على حساب قيمة احتمالية، بل يشمل تقدير حجم التأثير، وفحص عدم اليقين، وتفسير النتائج في ضوء الفرضيات والقيود التجريبية.

1.1 المراحل الرئيسة

1. فحص البيانات :التحقق من الترميز، والوحدات، والقيم المفقودة أو غير المعقولة، وتحديد الوحدة التجريبية الصحيحة.
2. الوصف والاستكشاف :عرض الجداول والرسوم وحساب المقاييس المناسبة للمركز والتشتت.
3. اختيار التحليل :ربط نوع الاستجابة وتصميم التجربة والفرضية بالاختبار أو النموذج الملائم.
4. فحص الافتراضات :دراسة الاستقلال، وبواقي النموذج، وتجانس التباين، ومشكلات القيم المتطرفة.
5. الاستدلال والتفسير :عرض التقديرات وفواصل الثقة وقيم الاختبار، ثم صياغة استنتاج علمي يتجنب المبالغة.

1.2 الاختبارات المعلمية واللامعلمية

وجه المقارنة	الاختبارات المعلمية	الاختبارات اللامعلمية
الفكرة	تفترض نموذجاً احتمالياً ومعلمات محددة، غالباً لمتوسطات البيانات الكمية.	تعتمد غالباً على الرتب أو التكرارات، وتحتاج افتراضات توزيعية أقل.
أمثلة	تحليل التباين، الانحدار الخطي، اختبار t.	مان–ويتني، كروسكال–والس، فريدمان، مربع

الاختبارات اللامعلمية	الاختبارات المعلمية	وجه المقارنة
كاي.		
للبيانات الرتبية أو عند تعذر تبرير نموذج معلمي مناسب.	عندما يلائم النموذجُ نوعَ البيانات وتكون افتراضاته معقولة.	متى تُستخدم؟
ليست خالية من الافتراضات، وقد تختبر اختلافات في التوزيع لا المتوسط وحده.	المعلمية لا تعني دائماً أن البيانات نفسها يجب أن تكون طبيعية؛ الذي يُفحص غالباً هو توزيع بواقي النموذج.	تنبيه

2. طبيعة البيانات

فهي مجموعة المشاهدات .ويتحدد أسلوب التحليل (data) هو مشاهدة واحدة، أما البيانات (datum) البيان وفق نوع المتغير، ومقياسه، وبنية التجربة، وليس وفق شكل الأرقام وحده.

2.1 البيانات النوعية (Qualitative/Categorical)

تُعبّر عن فئات أو صفات، مثل نوع المعاملة أو الصنف أو حالة الإصابة .وقد تكون الفئات اسمية لا ترتيب بينها، أو رتبية ذات ترتيب منطقي .والأرقام المستخدمة لترميز الفئات ليست قيماً حسابية؛ فالرمز 2 لا يعني ضعف الرمز 1.

2.2 البيانات الكمية (Quantitative)

- متقطعة (Discrete): تنتج من العد وتأخذ قيماً منفصلة، مثل عدد البذور النابتة أو عدد الإصابات.
- مستمرة (Continuous): تنتج من القياس ويمكن أن تأخذ أي قيمة ضمن مدى، مثل الوزن والطول والتركيز والزمن.

مثال تطبيقي :في تجربة تسميد، نوع السماد متغير نوعي اسمي، ودرجة شدة الإصابة (منخفضة/متوسطة/مرتفعة) رتبية، وعدد الثمار متغير كمي متقطع، ووزن المحصول متغير كمي مستمر.

3. مقاييس القياس

المقياس	الخصائص	أمثلة	تلخيص وتحليل مناسب
Nominal اسمي	فئات بلا ترتيب كمي.	الصنف، الجنس، لون البذرة.	التكرارات والنسب والمنوال؛ جداول التقاطع ومربع كاي.
Ordinal رتبي	فئات مرتبة، لكن الفروق بين الرتب غير	شدة الإصابة، درجات التقدير.	الوسيط والمدى الربيعي؛ طرائق

تلخيص وتحليل مناسب	أمثلة	الخصائص	المقياس
الرتب أو نماذج رتبية.		معروفة أو غير متساوية.	
المتوسط والانحراف المعياري وطرائق تعتمد على الفروق إذا لائمت الافتراضات.	درجة الحرارة المئوية، التواريخ.	فروق متساوية مع صفر اعتباطي؛ الفروق ذات معنى، أما النِّسب فلا.	Interval فترات
جميع العمليات الحسابية الملائمة والنماذج الكمية المناسبة.	الوزن والطول والزمن والتركيز.	فروق متساوية وصفر حقيقي؛ الفروق والنِّسب ذات معنى.	Ratio نسبي

تصحيح علمي مهم: في مقياس الفترات لا تكون النِّسب ذات معنى؛ فدرجة 20°م ليست ضعف 10°م . لذلك لا يصح القول إن الضرب والقسمة صالحان تفسيرياً لهذا المقياس كما هما في المقياس النسبي.

4. تحليل التباين (ANOVA)

تحليل التباين إطار إحصائي لمقارنة متوسطات معاملتين أو أكثر من خلال تقسيم التباين الكلي إلى جزء يُعزى إلى المعاملات وجزء متبقٍّ يُعزى إلى الخطأ التجريبي. وعلى الرغم من اسمه، فإن الغاية الأساسية في التحليل الأحادي هي اختبار تساوي متوسطات المعاملات.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \ldots = \mu_t$$

H_1: ليست جميع المتوسطات متساوية

تُحسب إحصائية F بوصفها نسبة متوسط مربعات المعاملات إلى متوسط مربعات الخطأ. إذا كانت النسبة F كبيرة على نحو لا ينسجم مع الفرضية الصفرية، تُرفض فرضية تساوي المتوسطات. ولا يحدد اختبار وحده أي المتوسطات تختلف؛ لذلك تُستخدم مقارنات لاحقة مناسبة عند الحاجة.

5. افتراضات تحليل التباين

1. استقلال المشاهدات: يتحقق أساساً من خلال تصميم صحيح وعشوائية التخصيص. وهو أهم افتراض، ولا يمكن إصلاح انتهاكه بمجرد تحويل البيانات.
2. طبيعية البواقي: يُفترض أن أخطاء النموذج داخل المعاملات تتبع توزيعاً قريباً من الطبيعي، ولا يُشترط أن تكون القيم الخام كلها طبيعية تماماً.
3. تجانس التباين: يُفترض تقارب تباينات الأخطاء بين المعاملات. ويمكن فحص ذلك برسوم البواقي واختبارات مثل Levene أو Brown–Forsythe مع مراعاة حجم العينة.
4. سلامة صياغة النموذج: يجب أن يمثل النموذج مصادر التباين التي يقتضيها التصميم، وألا تُعامل القياسات المكررة على الوحدة نفسها كمشاهدات مستقلة.

تصحيح مفاهيمي :«عدم الارتباط بين المتوسطات والتباينات «ليس افتراضاً معيارياً مستقلاً لتحليل التباين .الارتباط بين متوسط المجموعة وتباينها قد يكون إشارة إلى عدم تجانس التباين أو إلى الحاجة لنموذج يوافق طبيعة الاستجابة، لكنه ليس بديلاً عن فحص الاستقلال والبواقي.

5.1 فحص الافتراضات والاستجابة للمشكلات

خيارات المعالجة	وسائل التشخيص	المشكلة
استخدام تصميم أو نموذج مختلط/متكرر مناسب؛ لا يكفي التحويل.	مراجعة وحدة التجربة، ترتيب القياسات، وجود تكتل أو تكرار زمني.	عدم الاستقلال
تحويل مبرر، نموذج توزيعي مناسب، أو طريقة قوية/لامعلمية.	المدرج التكراري للبواقي، القيم Q–Q، مخطط المؤثرة.	عدم طبيعية البواقي
أو نموذج Welch، تحويل بتباينات غير متساوية.	Levene/Brown–Forsythe، البواقي مقابل القيم الملائمة.	عدم تجانس التباين
تصحيح خطأ الإدخال إن ثبت؛ وإلا تُحلل بشفافية مع تحليل حساسية.	رسوم البواقي والتحقق من سجل القياس.	قيم متطرفة

6. تحويل البيانات

يُستخدم التحويل عندما يكون له مبرر علمي وإحصائي، مثل تثبيت التباين أو تحسين ملاءمة البواقي أو تحويل علاقة تضاعفية إلى علاقة جمعيّة .ويجب فحص الافتراضات بعد التحويل، مع توضيح مقياس التحليل وكيفية عرض النتائج .التحويل ليس خطوة آلية ولا يضمن صحة الاستدلال.

ملاحظات	حالة الاستخدام المحتملة	صيغة شائعة	التحويل
مع وجود أصفار يلزم مبرر واضح لإضافة ثابت؛ وقد يكون نموذج Gamma أو lognormal أفضل.	بيانات موجبة ملتوية، أو تزايد التشتت مع المتوسط، أو تأثيرات تضاعفية.	$y' = \ln(y)$ أو $\log_{10}(y)$	لوغاريتمي
نماذج Poisson أو السالب الثنائي غالباً أكثر مباشرة للعدّ.	بيانات عدّية يكون تباينها مرتبطاً بالمتوسط.	$y' = \sqrt{y}$	الجذر التربيعي
لا يُستخدم آلياً؛ النماذج الثنائية/اللوجستية تُفضّل غالباً عند توفر البسط والمقام.	نِسب محصورة بين 0 و1 في الاستخدامات التقليدية.	$y' = \arcsin(\sqrt{p})$	الجيب الزاوي

7. حجم العينة والتكرار

التكرار هو تطبيق المعاملة على وحدات تجريبية مستقلة، وهو الذي يتيح تقدير الخطأ التجريبي ورفع دقة المقارنة .ويجب تمييزه عن تكرار القياس على الوحدة نفسها، لأن القياسات الفرعية لا تزيد عدد الوحدات التجريبية المستقلة.

- العينة الصغيرة جداً قد تعطي تقديرات غير مستقرة وقوة إحصائية منخفضة.
- العينة الأكبر من اللازم قد تهدر الموارد أو تثير اعتبارات أخلاقية، ولا تعالج سوء التصميم.
- يُحدد الحجم مسبقاً وفق حجم التأثير المهم علمياً، وتباين الاستجابة، ومستوى الدلالة، والقوة المطلوبة، وبنية التصميم، والفقد المتوقع.

8. مجاميع السيطرة (Control Groups)

تُستخدم مجموعة السيطرة لتقدير ما كان سيحدث في غياب العنصر التجريبي محل الدراسة، والتمييز بين تأثير المعاملة وتأثير الإجراء أو الوسط الناقل أو التغيرات الطبيعية .واختيار نوع السيطرة يعتمد على سؤال البحث ولا يلزم استخدام جميع الأنواع في كل تجربة.

مثال مختصر	الغرض	النوع
معاملة معيارية معروفة التأثير تُقارن بالمعاملة الجديدة.	التأكد من قدرة النظام التجريبي على إظهار استجابة معروفة.	Positive سيطرة موجبة
وحدات لا تتلقى المادة المختبرة.	تقدير الحالة الأساسية عند غياب العامل الفعال.	Negative سيطرة سالبة
إجراء جراحي مماثل من دون زرع العضو أو تطبيق العنصر الفعال.	عزل أثر الإجراء نفسه عن أثر المكوّن الفعال.	Sham سيطرة زائفة
استخدام الناقل وحده بالكمية والطريقة نفسيهما.	عزل أثر المذيب أو الوسط الحامل للمادة.	Vehicle سيطرة الناقل
مقارنة علاج جديد بالعلاج المعتمد حالياً.	مقارنة المعاملة الجديدة بمعيار أو علاج معروف.	Active comparator سيطرة مقارنة

الخلاصة

يبدأ التحليل الجيد من تصميم صحيح وتعريف دقيق للوحدة التجريبية ونوع البيانات .ويجب أن يتفق الاختبار مع مقياس القياس وبنية التجربة، وأن تُفحص افتراضات النموذج من خلال البواقي وسياق التصميم .كما أن التكرار الكافي والسيطرة المناسبة والعشوائية عناصر تأسيسية للصدق التجريبي، ولا يمكن لتعقيد التحليل أن يعوض غيابها.

أسئلة للمراجعة

1. ما الفرق بين البيانات المتقطعة والمستمرة؟ أعط مثالاً تجريبياً لكل منهما.

2. لماذا لا تكون النِّسب ذات معنى في مقياس الفترات؟

3. ما الفرضية الصفرية في تحليل التباين الأحادي؟

4. فرّق بين طبيعية البيانات الخام وطبيعية بواقي النموذج.

5. متى يمكن التفكير في التحويل اللوغاريتمي؟ وما البدائل المحتملة للبيانات العدّية؟

6. ما الفرق بين السيطرة السالبة وسيطرة الناقل والسيطرة الزائفة؟

مراجع مختارة

Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). Statistical Procedures for Agricultural Research (2nd ed.). Wiley.

Montgomery, D. C. (2019). Design and Analysis of Experiments (10th ed.). Wiley.

Steel, R. G. D., Torrie, J. H., & Dickey, D. A. (1997). Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach (3rd ed.). McGraw-Hill.