(١ : ٦) القواعد الاساسية لتصميم التجارب :

Basic Principles of Experimental Design

يعتمد تصميم التجارب على ثلاث قواعد اساسية لابد من توافرها في اي تصميم حيث انها تعمل على تقليل الخطأ التجريبي ، وتؤدي الى صحة تقديره ، وبالتالي تزيد من كفاءة ودقة التجربة ، وهذه الاسس الثلاثة هي :

(١) التوزيع العشوائـي : Randomness

ويقصد بالتوزيع العشوائي ان يتم توزيع كل المتغيرات في التجربة (الوحدات التجريبية ، المعاملات الصفوف ، الاعمدة ... الخ) باسلوب عشوائي اي دون السماح بأي تدخل شخصي . وبمعنى آخر ، ان يكون توزيع المعاملات على الوحدات التجريبية –مثلا – دون نظام معين ، وان يكون لكل وحدة تجريبية نفس الفرصة في الحصول على أية معاملة كأي وحدة تجريبية اخرى ، وان يكون كذلك لكل مكون من مكونات المجتمع نفس الحظ في الظهور ضمن العينة المسحوبة كأي مكون آخر .. وهكذا اي لابد من استبعاد اي تحيز عند اجراء أية خطوة في التجربة .

واهمية اتباع التوزيع العشوائي تكمن في ان هذا الاسلوب يمكن الباحث من :

١- تجنب الخطأ المنتظم ومنع ظهور اي تحيز في نتائجه .
٢- ضمان دقة تقدير الخطأ التجريبي وبالتالي زيادة كفاءة التجربة .
٣- ضمان توزيع الاخطاء توزيعا طبيعيا وحرا ، وبالتالي ضمان صحة اجراء الاختبارات الاحصائية اللازمة لاختبار الفرضيات المطروحة .

(٢) التكـــرار : Replication

من المعروف ان الوحدات التجريبية تختلف فيما بينها على الرغم من وجودها تحت نفس الظروف – ولقد سبق لنا ان اوضحنا اسباب هذا الاختلاف ومصادره – وعليه فان تمثيل كل معاملة بوحدة تجريبية واحدة لا يمكن الباحث من الحصول على فكرة صحيحة عن تأثير المعاملة ، وذلك نظرا لتداخل تأثير المعاملة مع تأثيرات العوامل الاخرى غير المتحكم فيها ، وهذه التأثيرات الاخيرة هي ما سبق ان اطلقنا عليها اسم الخطأ التجريبي . ومن ذلك نرى وجوب تكرار المعاملة الواحدة عددا من المرات في اية تجربة لكي يمكن تقدير قيمة هذا الخطأ التجريبي ، وبالتالي يمكن فصله عن تأثير المعاملة .

كما ان زيادة تكرار المعاملات يؤدي الى زيادة دقة وكفاءة التجربة ، وذلك كنتيجة مباشرة لتقليل قيمة الخطأ التجريبي لمتوسط المعاملة ، كما يظهر من المعادلة :

$$\text{تباين متوسط اي معاملة} = \frac{\text{الخطأ التجريبي}}{\text{عدد الافراد}} \quad \ldots \text{(اي ان } \ldots \quad S_{\bar{y}}^2 = \frac{S^2}{n}$$

ويؤدي التكرار كذلك الى توسيع مدى تعميم نتائج التجربة ، وخاصة اذا ما كررت التجربة في عدة مناطق ولعدة سنوات ، حيث ان مثل هذا التكرار يوضح الفروق بين تأثيرات المعاملات المختلفة تحت مجال اوسع من الاختلافات الموجودة بين المناطق والمواسم ، وذلك بدلا من قصر ظروف تقييم هذه التأثيرات على موسم معين او منطقة معينة .

وعموما يمكننا تلخيص فوائد التكرار في التجارب في ثلاث نقاط وهي :

١- امكانية تقدير الخطأ التجريبي ، وبالتالي امكانية اجراء الاختبارات الاحصائية التي تلزم لاختبار الفرضيات الخاصة بالتجربة .

٢- زيادة كفاءة التجربة ودقتها نظرا لتقليل قيمة الخطأ التجريبي بزيادة عدد التكرارات .

٣- زيادة مدى تعميم نتائج التجربة

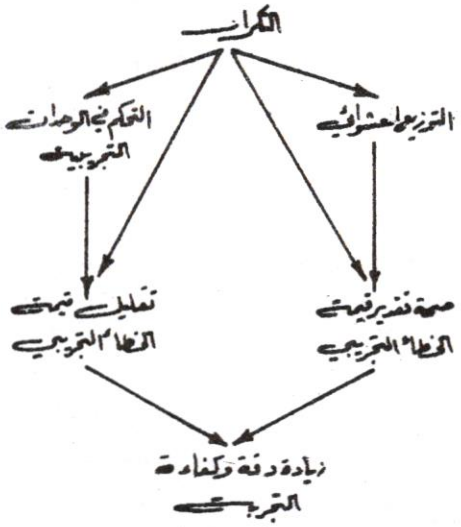
(٣) التعرف على الوحدات التجريبيـة والتحكم فيها : Local Control

من الممكن ايضا العمل على تقليل الخطأ التجريبي بين المعاملات عن طريق التعرف على الوحدات التجريبية لتمييز اتجاهات الاختلافات الموجودة بينها ومحاولة تقسيمها الى مجموعات متجانسة يتم توزيع المعاملات داخلها بطريقة عشوائية ، ويعرف هذا التقسيم بتجميع الوحدات التجريبية في مجموعات groups او قطاعات blocks . والمقصود بالتحكم في الوحدات التجريبية هو فرض بعض الشروط على اسلوب عشوائية توزيع المعاملات على هذه الوحدات التجريبية ، وهذا يعني تماما اختيار التصميم التجريبي المناسب بعدما نتعرف على مدى تجانس الوحدات التجريبية المتاحة ، وطبيعة الاختلافات الموجودة بينها واتجاهاتها ، وسوف نتناول ذلك تفصيلا عند مناقشة التصاميم المختلفة .

ومن ذلك نرى ان الهدف الرئيس من التحكم في الوحدات التجريبية بعد التعرف عليها – هو اختيار التصميم الأكثر كفاءة والذي يؤدي الى تقليل الخطا التجريبي بين

المعاملات ، وبالتالي زيادة قيمة النتائج المتحصل عليها ، وزيادة دقة الاختبارات والاستنتاجات .

وبعد مناقشتنا للأُسس الثلاثة السابقة يمكننا ان نوضح طبيعة العلاقات الموجودة بينها وطبيعة تأثيراتها على قيمة الخطأ التجريبي المقدرة وبالتالي على كفاءة ودقة التجربة وذلك كما في الرسم التخطيطي المبين في الشكل (١ : ١) .



الشكل (١ : ١) طبيعة العلاقات الموجودة بين اسس تصميم التجارب الاولية الثلاثة ، وطبيعة تأثيراتها على القيمة المقدرة للخطأ التجريبي وعلى دقة وكفاءة التجربة .

(١ : ٧) متطلبات التجربة الجيدة

Requirements for a Good Experiment

لكي يمكن اجراء تجربة جيدة يعتمد على نتائجها بقدر كبير من الثقة ، لابد من توفر عدة شروط او متطلبات . ولقد امكن وضع ايدينا على بعض منها في استعراضنا للنقاط السابقة ، ونظراً لأهمية التأكد من توفير كل الظروف التي تزيد من جودة التجربة ورفع كفاءتها . فسنحاول فيما يلي تجميع هذه المتطلبات في خمس نقاط محددة ، ونناقش كلاً منها لبيان اهميتها وكيفية تحقيقها (أنظر كتاب D. R. Cox).

١- غياب الخطأ المنتظم Absence of Systematic Error

من المهم في اية تجربة تطبق باستخدام تصميم معين ان يتم تقدير تأثيرات المعاملات والفروق بينها تقديراً صحيحاً ، ولقد سبق لنا ان اوضحنا ان الأخطاء الشخصية وكذلك الأخطاء الطبيعية او الذاتية التي قد توجد بين الوحدات التجريبية من الممكن التغلب على تأثيراتها او استبعادها الى حد كبير عن طريق اتباع الاسلوب العشوائي وبذلك يتحقق غياب المصادر الرئيسة للخطأ المنتظم ، وفي هذه الحالة فاننا نتوقع ان الوحدات التجريبية التي تتلقى معاملة ما يجب الا تعكس غير اختلافات عشوائية عن تلك التي تتلقى معاملة اخرى - بلما في ذلك وحدات معاملة المقارنة اي التي تترك دون معاملة . وهذا هو ما نعنيه بغياب الخطأ المنتظم ، والذي يعني كذلك ان سلوك هذه الوحدات في استجابتها لتأثير المعاملات يجب ان يكون مستقلاً بعضه عن بعض .

٢ - الدقة : Precision

ان دقة تقدير تأثيرما تشير الى مدى امكانية تكرار الحصول على نفس القياسات اوالقيم المقدرة لهذا التاثيروبالتالي الى مدى الثقة في هذا التقدير . واذا ما امكن فعلا تحقيق غياب الخطا المنتظم عن طريق اتباع الاسلوب العشوائي في احدى التجارب ، فاننا نتوقع ان تقدير تأثير معاملة ما لن يختلف عن قيمته الحقيقية الا كنتيجة لاخطاء عشوائية فقط وهي الاخطاء التي تحدث طبيعيا وفي غير اتجاه محدد وعادة يقاس مدى هذه الاخطاء العشوائية بما يسمى الخطأ القياسي ، والذي لن نتعرض هنا لطريقة حسابه ويمكن الرجوع في ذلك لأحد مراجع الطرق الاحصائية ، ولكننا سنحاول ان نكون فكرة جيدة عما يعنيه لكي نستطيع بعد ذلك استكمال مناقشة موضوعنا .

عند تقدير تأثير ما فانه في ثلث الحالات تقريبا سيكون هذا التقدير خاطئا بما يزيد عن زائد او ناقص خطأ قياسي واحد ، وفي حالة واحدة من كل عشرين حالة تقريبا سيكون هذا التقدير خاطئا بما يزيد عن زائد او ناقص ضعف الخطأ القياسي ، وفي حالة واحدة من كل مائة حالة تقريبا سيكون التقدير خاطئا بما يزيد عن زائد او ناقص مرتين ونصف من الخطأ القياسي . غير ان هذه الحقائق تتطلب ظروفا معينة فهي تعتمد على طبيعة توزيع الاخطاء وهل تسلك فعلا في توزيعها المنحنى الطبيعي ؟ وكذلك على صحة الخطأ القياسي والذي يحتاج هو نفسه الى تقدير قيمته ، الا ان هذه النقاط لاتحتاج لان تشغل بها انفسنا حاليا . وان قيمة الخطأ القياسي وبالتالي دقة أية تجربة تعتمد على النقاط التالية :

(أ) الاختلافات الذاتية بين مواد التجربة ، ومدى دقة الطرق والوسائل التجريبية .

(ب) عدد الوحدات التجريبية (كما يتحدد بعدد المكررات في التجربة) وكذلك على عدد تكرار المشاهدات لكل وحدة تجريبية .

(ج) التصميم المستخدم في التجربة.

وفي كثير من التجارب ، حيث يكون التصميم الاحصائي مناسبا ومفيدا ، يمكن تحقيق زيادة محدودة جدا في دقة التجربة عن طريق تحوير في المواد التجريبية وتحسين في الوسائل التكنيكية وطرق قياس المشاهدات .

ولما كان الخطأ القياسي للاختلاف المقدر بين تأثير معاملتين يتناسب عكسيا مع الجذر التربيعي لعدد الوحدات في كل معاملة ، كما يظهر من المعادلتين التاليتين :

عند تساوي عدد الوحدات التجريبية (n) في المعاملتين

$$S_{(\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{i'.})} = S \cdot \sqrt{\frac{2}{n}}$$

عند اختلاف عدد الوحدات التجريبية (n_1, n_2) في المعاملتين

$$S(\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{i'.}) = S \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

وعلى ذلك فانه لمن الواضح امكانية تحقيق زيادة في دقة التجربة وذلك بزيادة عدد مرات ظهور المعاملة في التجربة ، اما بزيادة عدد مكررات التجربة كلها او بتكرار تسجيل مشاهدات على نفس الوحدة التجريبية التي عوملت بمعاملة معينة . الا انه من الجدير ان نشير هنا الى ان محاولة خفض قيمة الخطأ القياسي عن طريق زيادة عدد الوحدات التجريبية وان كانت فعلا ممكنة ، فان زيادة دقة التجربة عن هذا الطريق تكون مكلفة جدا في اغلب الاحوال وغير عملية في معظمها .

وهناك طريق آخر لزيادة دقة التجربة وذلك باستخدام تصميم تجريبي مناسب ، وان مناقشة التصاميم المختلفة وعلاقتها بزيادة كفاءة التجربة سيكون هو شاغلنا في الابواب التالية :

٣- اتساع مدى صلاحية النتائج Wide Range of Validity

عندما نقدر تأثير المعاملات في أحدى التجارب ، فان القرارات التي تتخذ تتعلق بالمجموعة المحددة من الوحدات التجريبية التي استخدمت وبالظروف الخاصة التي درست (نموذج ثابت Fixed Model) فاذا ماأردنا تطبيق هذه القرارات والتوصيات

على وحدات مختلفة أو تحت ظروف مخالفة فإن بعض الشك الاضافي سوف يزيد من الشك الذي قسناه بواسطة الخطأ التجريبي . والاستثناء الوحيد من ذلك هو عندما تختار الوحدات التجريبية من مجتمع مميز ومحدد تماماً من هذه الوحدات بواسطة أحدى الطرق الاحصائية السليمة لاختيار العينات . وهناك بعض نماذج معينة يشار اليها عادة بنماذج التأثيرات العشوائية (Random Effects Models) تقع ضمن هذا الاستثناء .

وكلما اتسع مجال الظروف المدروسة في التجربة ، زادت الثقة في التوقعات المنتظرة من تطبيق القرارات أو التوصيات التي أدت اليها . وعلى ذلك فإنه لمن المرغوب فعلا اذا استطعنا دون أن نضحي بدقة التجربة – أختبار تأثير المعاملات المدروسة تحت مدى واسع من الظروف المختلفة ، وخاصة اذا ماتعلقت الدراسة بالتطبيقات العملية .

٤ – البساطة Simplicity

من الأمور الهامة فعلا ان نضع هذا الموضوع في اعتبارنا دائماً عند اختيار التصميم المناسب فلا داعي أبداً للتعقيد طالما كانت البساطة ممكنة ، ومن أهم الأمور التي يجب أن نفكر فيها عندئذ مدى توفر المساعدة في جمع العينات وتسجيل المشاهدات ، وغالباً ماتكون المساعدات المعروضة غير ماهرة ، وعلى ذلك فكلما قل تعقيد الطرق التجريبية قل بالتالي التخبط الذي قد يحدث أحياناً ، والذي يرفع بالطبع من قيمة الخطأ القياسي ويؤدي الى أضعاف كثير من النتائج التي لولا ذلك لامكن قياسها بمنتهى الوضوح .

هذا بالنسبة لبساطة التصميم ، ولايقل أهمية في ذلك العمل على توفر بساطة التحليل أيضاً ، ومن حسن الحظ فإن متطلبات كفاءة التصميم وبساطة التحليل مرتبطة الى حد كبير، كما سيظهر لنا ذلك عند مناقشة التصاميم المختلفة . وان استخدام الحاسبات الالكترونية لمعتبر تطوراً حديثاً ومهما وخاصة بالنسبة لفروع البحث التي تتطلب أخذ كميات هائلة من البيانات أو حيث يكون الوقت اللازم لاجراء العمل التجريبي مقارباً أو أقل نسبياً من الوقت الذي يتطلبه تحليل البيانات باستخدام الطرق المعتادة . واذا فكر الباحث في الاعتماد على الحاسب الالكتروني في تحليل بياناته فمن الواجب عليه أن يستشير أحد المتخصصين في برمجة البيانات قبل أن يبدأ فعلا في تجميع هذه البيانات .

٥ – تقدير الخطأ القياسي Estimating the Standard Error

انه لمن المرغوب فعلاً ان نستطيع حساب مدى التشكك في تقدير التأثيرات المختلفة التي قمنا بتقديرها على ان يكون ذلك من بيانات التجربة نفسها كلما امكن ذلك ، وهذا

يعني تقدير الخطأ القياسي تقديراً جيداً لكي يمكن لنا اجراء اختبارات المعنوية وتحديد حدود الثقة للتأثيرات او الاختلافات الحقيقية عند مستوى الاحتمال المطلوب .

ولكي نستطيع اجراء هذه الحسابات بطريقة دقيقة ، يجب ان يكون لدينامجموعة من الوحدات التجريبية تستجيب استجابة مستقلة لتأثير احدى المعاملات وتختلف بطريقة عشوائية تماماً عن مجاميع الوحدات التجريبية الخاصة بالمعاملات الأخرى ، وفي هذه الحالة فان المقارنات بين مشاهدات الوحدات التي عوملت نفس المعاملة تعطى قياساً معقولاً للخطأ ، ولقد سبق لنا ان اوضحنا ان استخدام الأسلوب العشوائي لاستبعاد تأثير الخطأ المنتظم بين الوحدات التي تلقت معاملات مختلفة ، يؤدي اتوماتيكياً الى توزيع الأخطاء توزيعاً عشوائياً وبالتالي يحقق اهم اساسيات التحليل الاحصائي .

اما في التجارب التي تحوي اعداداً صغيرة جداً من الوحدات التجريبية ، فلن يكون في الامكان تقدير الانحراف القياسي للخطأ تقديراً معقولاً من نفس مشاهدات التجربة ، وفي مثل هذه الحالات يكون من الضروري اللجوء الى استخدام نتائج التجارب السابقة لتقدير الانحراف القياسي ، غير ان العيب الأساسي في ذلك اننا نفترض في هذه الحالة ان مقدار الخطأ العشوائي لم يتغير في التجربة الحالية عن التجارب السابقة .

(١ : ٨) الخطوات التي تتبع في التجارب العلمية

يمكن تلخيص الاسلوب العلمي – او الطريقة العلمية – التي تتبع عادة في اجراء البحوث والتجارب في عدة خطوات متتابعة وهي :

١ – تحديد المشكلة المراد دراستها تحديداً واضحاً ووضع اهداف تؤدي الى حلها .
٢ – وضع الفرضيات التي تساعد على تحقيق الأهداف السابقة .
٣ – تحديد العامل او العوامل ومستوياتها التي ستستخدم في التجربة .
٤ – تحديد الصفة او الصفات التي سيتم دراستها وكيفية قياسها .
٥ – تعيين الوحدات التجريبية التي ستطبق عليها المعاملات .
٦ – اختيار التصميم التجريبي الملائم .
٧ – جمع البيانات .
٨ – تحليل البيانات احصائياً .
٩ – مناقشة النتائج وتفسيرها .
١٠ – اعداد تقرير علمي عن التجربة وما ادت اليه من نتائج .