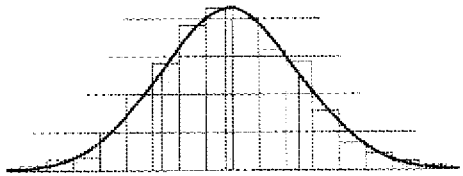

الفصل

23

التعامل مع التلوث

تفترض عادة النظريات الرياضية التي تبرر استخدام الأساليب الإحصائية، تساوي جميع المقاسات المستخدمة في التجارب والمشاهدات العلمية في صحتها. لذا تقع نتائج التحليلات الإحصائية في خطأ فادح، إذا لم يختر المحلل سوى الأرقام التي تبدو صحيحة من بين البيانات المستخدمة. هذا ما كان يفعله العلماء دوماً بالطبع. بدأ ستيفان ستيغلر Stephen Stigler في بداية الثمانينيات بالبحث من خلال مفكرات العلماء العظام في القرن الثامن والتاسع عشر، مثل آلبرت ميتشلسون Albert Michelson، الذي تلقى جائزة نوبل سنة 1907 لتحديده سرعة الضوء. وجد ستيغلر أن معظمهم قد تخلص من البيانات قبل بدئهم بالحساب. توصل لذلك يوهانيس كيبلر Johannes Kepler، الذي اكتشف في بداية القرن السابع عشر أن

الكواكب تدور حول الشمس في قطاعات ناقصة، عن طريق مراجعته ملفات علماء الفضاء بالعودة إلى اليونانيين القدامى؛ لطالما كان يجد بعض المواقع المشاهدة، التي لم تكن تناسب القطاعات الناقصة التي كان يقوم بحسابها، فأهمل هذه القيم الخاطئة.

لم تكن عادة العلماء المرموقين أن يتخلصوا من البيانات التي بدت خاطئة. كانت الثورة الإحصائية في العلوم واسعة جداً تعلم فيها علماء التجارب بأن لا يطرحوا البيانات أياً كانت. من متطلبات النظريات الرياضية في الإحصاء، اعتبار كل القياسات متساوية في صحتها. ماذا يلزم أن نفعل عندما تكون بعض القياسات خاطئة بشكل واضح؟ جاء يوماً إلى مكتبي في سنة 1972، أخصائي في العقاقير للبحث في مثل هذه المسألة. كان يجري مقارنة بين علاجين من أجل تجنب حدوث القرحة في الفئران. كان متأكداً أن العلاجين يعطيان نتائج مختلفة، وكذلك اتضح له من البيانات. ولكن لم تبد المقارنة ذات دلالة، عندما أجرى فحصاً صورياً للفرضيات، متبعاً صياغة نيمان وبيرسون. كان متأكداً أن المشكلة تنحصر في بيانات الفأرين اللذين تمت معالجتهما بالمركب الأكثر رداءة من الآخر. وبما أنه لم يكن لديهما، جعل هذا بياناتهما تبدو أفضل من أحسن النتائج في المركب الآخر. قرأنا في الفصل السادس عشر عن تطور الأساليب غير التابعة للمتغيرات في التعامل مع مثل هذه المسألة. كانت هاتان القيمتان النائيتان في الجانب الخطأ من

البيانات، وكانت اثنتان منهما، تجعل حتى الفحص من غير متغيرات لا أهمية له.

لو حدث هذا الأمر منذ مئة عام، لتخلص أخصائي العقاقير من القيمتين الخطأ واستمر في حساباته. ولم يكن ليعترض عليه أحد. لكنه كان متدرباً في الاتجاه الإحصائي الحديث للقياسات. كان يعلم أنه غير مسموح له أن يفعل مثل ذلك. كان على مكتبي لحسن الحظ كتاب جديد، انتهيت من قراءته بعنوان التقديرات المتينة للموقع: المسح والتقدم Robust Estimates of Location: Survey and Advances، يصف فيها الجهود الضخمة الموجهة للكمبيوتر والمعروفة بدراسة برينستون المتينة، تحت إشراف جون تاكي. تجد الإجابة عن سؤاله في هذا الكتاب.

قد تبدو كلمة «متينة»، في هذا السياق، كلمة غريبة للسامع الأمريكي. أتت كثير من مصطلحات الإحصاء من علماء الإحصاء البريطانيين، وغالباً ما تعكس طريقتهم في الكلام. فمن الطبيعي أن نقول مثلا عن التقلبات العشوائية البسيطة في البيانات «أخطاء»[1] في بعض الأحيان، تتضمن البيانات قيماً

(1) هناك التباس في الغالب، بين المعنى العادي للكلمات، وبين المعنى الرياضي المحدد عند ظهور الكلمات نفسها في التحليلات الإحصائية. عندما بدأت العمل في صناعة الأدوية، شمل أحد تحليلاتي جدولاً تقليدياً للنتائج، أشير في أحد أعمدته إلى عدم الدقة الناتجة من التقلبات السريعة والعشوائية في البيانات. يطلق على هذا العمود، في الجدول =

ليست خاطئة فحسب، بل من الممكن معرفة سبب الخطأ (مثل الفشل التام في نمو المحصول في نوع معين من الأرض). أطلق ر.آ. فيشر على مثل هذه البيانات «الأخطاء الفادحة».

كان جورج بوكس George Box صهر ر.آ. فيشر، أول من أدخل كلمة «متينة» من خلال لهجته البريطانية. كانت اللكنة البريطانية مؤشراً على المكان الذي نشأ فيه بالقرب من نهر التايمز. كان جده تاجراً للخردوات، وكان العمل ناجحاً مما مكّن الأب من إرسال أعمام بوكس الكبار للتعلم في الجامعة؛ أصبح أحدهم بروفيسوراً في علم اللاهوت. ولما صار والد بوكس رجلاً، انحدرت تجارة والده، فمضى في حياته من غير أن يتم تعليمه العالي. كان يعيل أسرته براتب مساعد لصاحب محل. ذهب جورج إلى مدرسة لتعليم قواعد اللغة، ولعلمه

= التقليدي، «خطأ». واحد من كبار المديرين رفض أن يرسل مثل هذا التقرير إلى منظمة الغذاء والدواء الأمريكية. تساءل قائلاً، «كيف نعترف بوجود مثل هذا الخطأ في البيانات؟» مشيراً إلى الجهود الشاملة التي أجريت للتأكد من أن البيانات الطبية صحيحة. أشرت إلى أن هذا اسم تقليدي لهذا العمود. ولكنه أصر على إيجاد طريقة أخرى في التعبير. فلن يرسل تقريراً يعترف فيه بالخطأ إلى الـ FDA. قمت بالاتصال ب هـ.ف. سميث H.F.smith من جامعة كونيكتيكت وشرحت له المسألة. اقترح علي تسمية العمود «المتبقي»، أو «المتخلف» مشيراً إلى أنه في بعض الأبحاث يشار إليه على أنه الخطأ المتبقي. قمت بإخبار الإحصائيين العاملين في هذا المجال بذلك. وبدأوا باستخدام هذا التعبير. وأصبح في آخر الأمر المصطلح القياسي المستخدم في معظم الكتابات الطبية. يبدو أن لا أحد في الولايات المتحدة على الأقل، يعترف بوجود الخطأ.

بعدم حصوله على المال الكافي للذهاب إلى الجامعة، بدأ بدراسة الكيمياء في معهد للفنون المتعددة. عندها بدأت الحرب العالمية الثانية، والتحق جورج بالجيش.

أُرسل للعمل في محطة حماية التجارب الكيميائية بسبب دراسته للكيمياء، حيث كانت تعمل مجموعة من رواد أخصائيي العقاقير، وعلماء الفيزياء في الولايات المتحدة في محاولة إيجاد مضاد للسموم لغازات سامة مختلفة. كان الأستاذ جون غادم John Gaddum من بين هؤلاء العلماء، وهو الذي جذب الثورة الإحصائية إلى علم الصيدلة في نهاية العشرينات، ووضع المفاهيم الأساسية على أساس رياضي ثابت.

يصبح بوكس عالم إحصاء

كان الكولونيل الذي كان يعمل معه جورج بوكس، يفكر تفكيراً عميقاً في مسألة البيانات التي تم تجميعها عن آثار الغازات السامة بجرعات مختلفة على الفئران والجرذان. لم يتمكن من فهم سبب ذلك. يروي بوكس سنة 1986 قائلاً:

> قلت (للكولونيل) في أحد الأيام، «نحن بحاجة ماسة إلى نظرة من عالم إحصاء لهذه البيانات لأنها متقلبة جداً». فرد قائلاً: «نعم، أعلم ذلك، ولكن لا يمكننا الحصول على عالم إحصاء؛ لا يوجد أحد متوفر الآن. مامدى علمك بهذا الموضوع؟» قلت له، «حسن، إنني لا أعرف الكثير عن هذا الأمر، ولكن حاولت مرة

قراءة كتاب اسمه الأساليب الإحصائية للعاملين في البحث كتبه ر.آ. فيشر. لم أتمكن من فهمه، ولكن أعتقد أنني فهمت مغزاه». ثم رد قائلاً: «حسناً، من الأفضل لك أن تقرأ هذا الكتاب».

اتصل بوكس بمسؤولي التعليم في الجيش للاستفسار عن إمكانية أخذ دورة بالمراسلة عن الأساليب الإحصائية. لكن لم يكن هناك دورات متوفرة. فلم تكن أساليب التحليلات الإحصائية قد دخلت في المناهج الجامعية بعد. فأرسلوا له قائمة للقراءة عوضاً عن ذلك. كانت القائمة عبارة عن مجموعة كتب تم نشرها إلى ذلك الوقت. ضمت كتابين لفيشر، كتاب عن الأساليب الإحصائية في البحث العلمي، والآخر عن الإحصائيات الطبية، وآخر عن إدارة الغابات والمراعي.

كان بوكس مهتماً بأفكار فيشر في ما يخص تصميم التجارب. وجد بعض التصميمات التي تم تحقيقها في كتاب إدارة الغابات، فقام بتطبيق هذه التصميمات على تجارب الحيوانات. (لم ينشر بعد كتاب كوشران وكوكس بتصميماته الكثيرة والموصوفة بدقة). لم تكن التصميمات في الغالب ملائمة، فأصدر بوكس تصميماته الخاصة به، باستعمال المواصفات العامة لفيشر واتباع خطاه. حدثت إحدى التجارب المحبطة عندما طلب من بعض المتطوعين أن يعرّضوا أيديهم لغاز الخردل وعدة أساليب علاج مختلفة. هناك علاقة تربط بين ذراعَي كل متطوع، ويجب وضع ذلك في عين الاعتبار في

التحليلات. هناك أمر يجب فعله تجاه ذلك، ولم يكن هناك شيء مماثل له في كتاب إدارة الغابات. ولم يتحدث فيشر في كتابه عن مثل ذلك. تمكن بوكس وبالعمل بمبادئ الرياضيات الأساسية الذي تلقى تعليمه فقط في دورة لم يتمها في الكيمياء في مدرسة للفنون المتعددة، من اشتقاق التصميم المناسب.

يمكن رؤية بعض الأفكار في تصاميم بوكس القوية كنتيجة سلبية. وصل طبيب العيون الأمريكي إلى محطة التجارب مع ما يعتقد أنه مضاد السموم الممتاز لآثار غاز اللويزيت، الذي قد تسبب قطرة منه العمى. أجرى عدة تجارب على الأرانب في الولايات المتحدة، وأثبتت حزم أوراق عمله أن في هذا المضاد الإجابة الصحيحة عن كل التساؤلات. لم يكن بالطبع يعرف عن تصميم فيشر للتجارب. كانت تجاربه في الحقيقة مليئة بالعيوب والأخطاء: لا يمكن لآثار المعالجة أن تنفك عن آثار العوامل الدخيلة المنتشرة شذراً مذراً في التصاميم. وحيث إن للأرانب عيوناً مكنت بوكس من تقديم تجربة بسيطة استخدم فيها تصميمه الجديد للعقبات المرتبطة ببعض. أوضحت هذه التجربة بسرعة عدم فائدة مضاد السموم المعروض.

أُعدّ تقرير لوصف تلك النتائج. كان الكاتب رائداً في الجيش البريطاني، فأملى الضابط بوكس الملحق الإحصائي الذي كان يشرح طريقة الوصول إلى النتائج. أصر المسؤولون الذين كان عليهم الموافقة على التقرير على إزالة ملحق بوكس. كان أمراً معقداً جداً يصعب فهمه على أي إنسان. هذا ما لم

يستطع فهمه المراجعون). قرأ السيد جون غادم التقرير الأصلي، وجاء لتهنئة بوكس على ملحقه، وعلم أنه بشأن إلغاء الملحق في التقرير النهائي. اندفع غادم إلى السكن الرئيسي للمجمع ،جاراً بوكس خلفه، دخل اجتماع هيئة المسؤولين عن مراجعة التقارير. وباستعمال كلمات بوكس: «شعرت بالحرج الشديد. من هذا الشخص المميز، الذي يقرأ قانون الشغب أمام هؤلاء الموظفين في دوائر الحكومة المدنية» ويقول: «ضعوا الملحق اللعين في مكانه السابق». استجابوا لأمره على التو.

قرر بوكس عند انتهاء الحرب، أن دراسة الإحصاء أمر يستحق العناء من أجله. وحيث إنه قرأ لفيشر، فكان يعلم أن فيشر يدرّس في كلية جامعية في جامعة لندن. تمكن من العثور على اسم الجامعة. لكن ما لم يعرفه هو أن فيشر غادر لندن سنة 1943 ليرأس قسم الجينات في جامعة كامبردج. وجد بوكس نفسه في مقابلة شخصية مع إيغون بيرسون، الذي عانى من احتقار فيشر اللاذع لأعماله مع نيمان في اختبار الفرضية. استهل بوكس بوصف مثير لأعمال فيشر، شارحاً ما تعلمه عن تصميم التجارب. استمع بيرسون إليه بهدوء ثم قال، «حسناً يمكنك الدخول في جميع الأحوال. ولكنني اعتقد أنك ستكتشف أنه كان هناك شخص أو اثنان آخران بالإضافة إلى فيشر في مجال الإحصاء».

درس بوكس في جامعة الكاليفورنية، وتلقى شهادة البكالوريوس، ثم بدأ بالإعداد للماجستير. قدم بعض أعماله

بأسلوب تصميم التجارب، وأخبروه أن عمله جيد لدرجة تكفي لتقديم رسالة الدكتوراه، لذلك بدأ بالتحضير للدكتوراه. كانت الشركة الضخمة لصناعة المواد الكيميائية ICI آنذاك، أكبر الشركات في بريطانيا في اكتشاف المواد الكيميائية والأدوية. دُعي بوكس للمشاركة في مجموعة الخدمات الرياضية، وعمل لدى ICI من سنة 1948 إلى سنة 1956، أصدر فيها سلسلة من الأبحاث (في الغالب مع مؤلفين مشاركين) وسع فيها تقنية تصميم التجارب، وفحص الأساليب للتعديل التدريجي لنتاج المراحل التصنيعية ليحسن الحصيلة الإنتاجية، وعرض مقدمة لأعماله الأخيرة حول التطبيقات العملية لنظريات كولموغوروف في المراحل الاتفاقية.

بوكس في الولايات المتحدة

جاء جورج بوكس إلى جامعة برينستون ليصبح رئيساً لمجموعة أبحاث التقنية الإحصائية، وبعدها لإنشاء قسم الإحصاء في جامعة ويسكونسن University of Wisconsin. تم تكريمه بإعطائه لقب عضو رئيسي للمنظمات الإحصائية، وتلقى عدة جوائز قيمة لإنجازاته الضخمة. استمر نشاطه في مجال البحث وفي المنظمة حتى تقاعده. تنوعت إنجازاته في عدة جوانب للبحث الإحصائي، متعاملاً مع النظريات والتطبيقات.

عرف بوكس فيشر فقط خلال عمله لصالح ICI، وليس على النطاق الشخصي. أثناء إدارته لمجموعة أبحاث التقنية

الإحصائية في برينستون، أُعطيت الفرصة لإحدى بنات فيشر جوان Joan للذهاب إلى الولايات المتحدة، وتمكنت بمساعدة بعض الأصدقاء من الحصول على عمل كسكرتيرة في برينستون. التقيا هناك وتزوجا بعد ذلك، وقامت جوان بوكس فيشر Joan Box Fisher بنشر سيرة تعريفية لأبيها ولأعماله في سنة 1978.

كانت كلمة متين من أحد إنجازات بوكس للإحصاء. كان مهتماً بالأساليب الإحصائية التي تعتمد على النظريات الرياضية، والتي تحتوي فرضيات عن المعطيات التوزيعية للبيانات التي قد تكون صحيحة. هل يمكن إيجاد الأساليب المفيدة حتى لو كانت حالة النظرية غير متماسكة؟ قام بوكس بتسمية مثل هذه الأساليب «متينة». لقد أجرى بعض التجريات الرياضية الأولية، ولكنه وجد أن مفهوم المتانة غير واضح وغامض. أجرى محاولات أخرى لتوضيح معناها، لاعتقاده أنه من المفيد أحياناً أن يكون لدينا فكرة عامة غير مفهومة لتوجهنا في اختيار خطوات العمل. على كل حال، استغرقت الفكرة وقتاً طويلاً. تم تعريف متانة اختبار الفرضية بلغة احتمالية الخطأ. أثبت برادلي إفرون Bradley Efron من جامعة ستانفورد سنة 1968 أن اختبار «الطالب» (ت) كان متيناً من هذا المفهوم، متوسعاً في بعض أفكار فيشر الهندسية. استخدمت أساليب إ.ج. بيتمان E.J.G. Pitman لتبين أن معظم الاختبارات التي لا متغيرات لها كانت متينة بنفس هذا المفهوم.

هاجم جون تاكي في نهاية الستينات في برينستون ومجموعة من زملائه من أعضاء الكلية، وبعض الطلبة مسألة القياسات التي تبدو غير صحيحة وماذا يفعلون تجاهها. ظهرت نتائج ذلك في دراسة برينستون للمتانة Princeton Robustness Study، التي نشرت سنة 1972. تكمن الفكرة الأساسية خلف هذه الدراسة في التوزيع الفاسد. معظم القياسات المأخوذة من المفترض أن تأتي، معظمها من احتمالية التوزيع التي نرغب في حساب متغيراتها. ولكن لم تكن القياسات سليمة بسبب القيم التي أتت من توزيع آخر.

حصل نموذج كلاسيكي للتوزيع الفاسد خلال الحرب العالمية الثانية. طورت البحرية الأمريكية جهازاً لتعيين المدى البصري، والذي تطلب من مستخدمه مشاهدة صورة استريوسكوبية لها أبعاد ثلاثة للهدف، ووضع مثلث «فوق» الهدف. أجريت محاولة لتحديد درجة الخطأ الإحصائي في هذا الجهاز، بالحصول على مئات البحارة الذين اصطفوا على هدف عرفت مسافته. يعاد ترتيب الموقع حسب جدول من الأرقام العشوائية قبل أن ينظر كل بحار من خلال جهاز تعيين المدى، بحيث لا يؤثر الترتيب السابق عليه.

لم يعلم المهندسون الذين صمموا الدراسة أن 20٪ من الأشخاص لا يستطيعون أن يروا الرؤيا ثلاثية الأبعاد. لديهم ما يعرف بالعين الكسولة. فكانت خُمُس القياسات المأخوذة من جهاز تعيين المدى خاطئة تماماً. وبوجود بيانات الدراسة فقط

بين أيدينا، لم تكن هناك طريقة لمعرفة البيانات التي حصلنا عليها من الأشخاص ذوي العين الكسولة، لذلك لا يمكننا معرفة القياسات الفردية من التوزيع الفاسد.

قامت دراسة برينستون بوضع عدد كبير من التوزيعات الفاسدة كنموذج في دراسة مونت كارلو الضخمة[2] في الكمبيوتر. كانوا ينظرون إلى الأساليب التي تقدر الانحراف المركزي للتوزيع. تعلموا أمراً واحداً وهو أن المعدل المرغوب فيه هو المقياس الضعيف عندما تكون البيانات فاسدة. ومثال كلاسيكي لمثل هذه الحالة كانت محاولة أجرتها جامعة يل University of Yale لتقدير دخل خريجي الجامعة بعد عشر سنوات من التخرج. إذا قمنا بأخذ المعدل لكل الدخل، سيكون ذلك مرتفعاً جداً، بما أن عدداً قليلاً من الخريجين هم من الأثرياء جداً. في الواقع، فإن دخل نحو 80٪ من الخريجين أقل من المعدل.

اكتشفت دراسة برينستون للمتانة أن المعدل يتأثر بشدة، حتى بقيمة منفردة من التوزيع الفاسد. هذا ما كان يحدث للبيانات التي أحضرها لي أخصائي العقاقير من دراسته لقرحة

(2) في دراسة مونت كارلو، قدمت القياسات الفردية باستخدام الأرقام العشوائية لمحاكاة الحدث الحقيقي الذي قد يحدث. ويتم تكرار فعل ذلك آلاف المرات، والقياسات الناتجة يتم تفحصها من خلال التحليلات الإحصائية، لتحديد آثار بعض الأساليب الإحصائية على الحالة التي تمت محاكاتها. تم اشتقاق الاسم من ملهى القمار المشهور في موناكو.

الجرذان. تعتمد كل الأساليب الإحصائية التي تعلم استخدامها على المعدل. قد يعترض القارئ: فلنفترض أن الحدود القصوى والقياسات التي تظهر أنها خاطئة، كانت صحيحة؛ وأنها أتت من التوزيع الذي نختبره، وليس من التوزيع الفاسد. سنتوصل إلى النتائج التالية بالتخلص من هذه الفرضيات.

توصلت دراسة برينستون للمتانة إلى حل بإمكانه أن يفعل أمرين:

1. يقلل من تأثير القياسات الفاسدة إذا كانت موجودة.

2. يعطي إجابات صحيحة إذا لم تكن القياسات فاسدة.

كنت متأكداً أن أخصائي العقاقير استخدم واحداً من هذه الحلول، واستطاع الاستفادة من البيانات. قدمت التجارب المستقبلية نتائج متماسكة، موضحة أن التحليلات المتينة في الطريق.

بوكس وكوكس

أثناء وجودي في ICI ،اعتاد جورج بوكس زيارة المجموعة الإحصائية في كلية الجامعة، وهناك قابل ديفيد كوكس. تقدم كوكس في علمه ليصبح مبتكراً أساسياً في الإحصاء، وأصبح رئيس تحرير البيومتريكا، مجلة كارل بيرسون. كان كلا الرجلين متأثراً بالتشابه المضحك بين اسميهما، وحقيقة أن «بوكس كوكس»، كان اصطلاحاً يُستخدم في المسرح الإنجليزي لوصف

دورين ثانويين قام بهما شخص واحد. وهناك أيضاً مسرحية هزلية موسيقية من الفن الإنجليزي تتحدث عن رجلين اسمهما بوكس وكوكس قاما باستئجار السرير نفسه في بيت للمنامة، أحدهما ينام في النهار والآخر في الليل.

قام جورج بوكس وديفيد كوكس بكتابة بحث سوياً. وبالرغم من أن ميولهما الإحصائية لم تكن في المجال نفسه؛ ومع مرور الزمن ومحاولتهما إنهاء البحث من وقت إلى آخر، تباعدت اهتماماتهما تماماً، وكان على البحث أن يتسع لموقفين فلسفيين مختلفين عن طبيعة التحليلات الإحصائية. نشر البحث أخيراً سنة 1964، في مجلة المجتمع الملكي الإحصائي. وكما عرف البحث باسم «بوكس وكوكس»، أصبح جزءاً هاماً في الأساليب الإحصائية. أوضحا في البحث كيفية تحويل المقاسات بطريقة تزيد من متانة معظم الخطوات الإحصائية. «تحويلات بوكس وكوكس»، كما أطلق عليها، أصبحت تُستخدم في تحليلات دراسات علم السموم والآثار المتغيرة للمواد الكيميائية على الخلايا الحية، وكذلك في التحليلات الاقتصادية، وحتى في الأبحاث الزراعية، التي نشأت منها أساليب ر.آ. فيشر.