

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

طرح‌های آزمایشی تکمیلی

تألیف

دکتر سیدعلی پیغمبری

مهندس هادی علی‌پور



شماره مسلسل ۷۸۹۲

شماره انتشار ۳۴۶۸

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه : پیغمبری، سیدعلی، ۱۳۲۷ -
 عنوان و نام پدیدآور : طرح‌های آزمایشی تکمیلی / تألیف سیدعلی پیغمبری، هادی علی‌پور.
 مشخصات نشر : تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۲.
 مشخصات ظاهری : ر، ۴۰۹ ص: مصور، جدول، نمودار.
 فروست : انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۳۴۶۸.
 شابک : 978-964-03-6578-6
 وضعیت فهرست‌نویسی : فیبا
 یادداشت : واژه‌نامه.
 یادداشت : کتابنامه.
 موضوع : طرح‌های آزمایشی
 موضوع : کشاورزی تجربی
 شناسه افزوده : علی‌پور، هادی، ۱۳۶۴-
 شناسه افزوده : دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات
 رده‌بندی کنگره : ۱۳۹۴ ط ۹ / ۲۷۹ QA
 رده‌بندی دیویی : ۰۰۱/۴۳۴
 شماره کتابشناسی ملی : ۳۳۶۷۱۴۸

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود.

ISBN:978-964-03-6578-6



9 789640 365786

عنوان: طرح‌های آزمایشی تکمیلی
 تألیف: دکتر سیدعلی پیغمبری - مهندس هادی علی‌پور
 ویراستار: پرویش دانش‌نیا
 نوبت چاپ: دوم
 تاریخ انتشار: ۱۳۹۴
 شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
 ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران
 چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلفان است»

«کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است»

بها: ۲۲۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرش مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران
 پست الکترونیک: press @ ut. ac. ir - سایت: http://press.ut.ac.ir
 پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

تقدیم به استاد فرزانه

جناب آقای دکتر بهمن یزدی صمدی

فهرست

پیشگفتار	ذ
مقدمه	۱
بخش اول: چکیده‌ای از طرح آزمایش‌های کشاورزی ۱	۵
۱-۱- طرح کاملاً تصادفی	۵
۱-۲- مدل آماری طرح کاملاً تصادفی	۶
۱-۳- تجزیه آماری طرح کاملاً تصادفی	۶
۱-۴- طرح بلوک‌های کامل تصادفی	۷
۱-۵- مدل آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی	۸
۱-۶- تجزیه آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی	۸
۱-۷- طرح مربع لاتین	۹
۱-۸- مدل آماری طرح مربع لاتین	۱۰
۱-۹- تجزیه آماری طرح مربع لاتین	۱۰
۱-۱۰- تکرار مربعات در طرح مربع لاتین	۱۱
۱-۱۱- مقایسه میانگین تیمارها	۱۲
۱-۱۱-۱- آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار LSD	۱۲
۱-۱۱-۲- آزمون چند دامنه‌ای دانکن	۱۳
۱-۱۱-۳- آزمون توکی	۱۴
۱-۱۱-۴- آزمون استیودنت - نیومن - کوپل (SNK)	۱۴
۱-۱۱-۵- آزمون دانت	۱۵
۱-۱۲- تجزیه داده‌های چند مشاهده‌ای در طرح‌های پایه	۲۷
۱-۱۲-۱- طرح بلوک‌های کامل تصادفی با بیش از یک مشاهده در هر واحد آزمایشی	۲۷
۱-۱۲-۲- مدل و تجزیه آماری داده‌های چند مشاهده‌ای در طرح بلوک کامل تصادفی	۲۸
تجزیه داده‌های چند مثال با استفاده از نرم‌افزار SAS	۳۱
تجزیه داده‌های چند مثال با استفاده از نرم‌افزار SPSS	۳۴
تمرینات بخش اول	۵۳

بخش دوم: طرح‌های دو عاملی	۵۷
آزمایش‌های فاکتوریل دو عاملی	۵۷
۱-۲- انواع آزمایش‌های دو عاملی	۶۰
۲-۲- اثرات ساده، اصلی و متقابل در آزمایش‌های دو عاملی	۶۰
۳-۲- مدل آماری در آزمایش‌های فاکتوریل دو عاملی	۶۵
۴-۲- تجزیه آماری در آزمایش‌های فاکتوریل دو عاملی	۶۵
طرح کرت‌های خرد شده	۷۳
۵-۲- طرز پیاده کردن طرح کرت‌های خرد شده	۷۴
۶-۲- مزایا و معایب کرت‌های خرد شده	۷۶
۷-۲- مدل آماری طرح کرت‌های خرد شده	۷۶
۸-۲- تجزیه آماری طرح کرت‌های خرد شده	۷۶
۹-۲- مقایسه میانگین‌ها در طرح کرت‌های خرد شده	۸۲
۱۰-۲- برآورد مقدار مشاهده از دست رفته در طرح کرت‌های خرد شده	۸۴
طرح کرت‌های خرد شده در زمان	۸۶
۱۱-۲- مدل آماری طرح کرت‌های خرد شده در زمان	۸۶
۱۲-۲- تجزیه آماری طرح کرت‌های خرد شده در زمان	۸۷
۱۳-۲- روابط تجزیه‌های جداگانه و تجزیه کلی داده‌ها	۹۴
۱۴-۲- مقایسه میانگین سطوح عامل‌ها	۹۵
طرح کرت‌های خرد شده نواری	۹۷
۱۵-۲- مزایا و معایب طرح کرت‌های خرد شده نواری	۹۷
۱۶-۲- تجزیه آماری طرح کرت‌های خرد شده نواری	۹۷
۱۷-۲- مقایسه میانگین سطوح عوامل	۱۰۰
تجزیه داده‌های چند مثال با استفاده از نرم‌افزار SAS	۱۰۶
تجزیه داده‌های چند مثال با استفاده از نرم‌افزار SPSS	۱۰۹
تمرینات بخش دوم	۱۲۴
بخش سوم: طرح‌های سه عاملی	۱۲۹
آزمایش‌های فاکتوریل سه عاملی	۱۲۹
۱-۳- تجزیه آماری آزمایش‌های فاکتوریل ۳	۱۲۹

طرح‌های آزمایشی تکمیلی □ ج

- ۳-۲- مدل آماری در آزمایش‌های فاکتوریل سه عاملی..... ۱۳۱
- ۳-۳- تجزیه آماری آزمایش‌های فاکتوریل غیر ۲^۳..... ۱۳۴
- ۳-۴- تجزیه اضافی مجموع مربعات..... ۱۳۸
- ۳-۵- مقایسه میانگین‌ها در آزمایش‌های فاکتوریل..... ۱۴۰
- ۳-۶- روش فرمول‌نویسی..... ۱۴۲
- ۳-۷- تجزیه آماری در آزمایش‌های فاکتوریل سه عاملی..... ۱۴۵
- طرح کرت‌های دو بار خرد شده..... ۱۵۷
- ۳-۸- مدل آماری (ریاضی) طرح کرت‌های دوبار خرد شده..... ۱۵۸
- ۳-۹- تجزیه آماری طرح کرت‌های دوبار خرد شده..... ۱۵۹
- ۳-۱۰- مقایسه میانگین سطوح عامل‌ها و اثرات متقابل آنها..... ۱۶۱
- طرح اسپلیت - فاکتوریل..... ۱۶۴
- ۳-۱۱- مدل آماری طرح اسپلیت - فاکتوریل..... ۱۶۵
- ۳-۱۲- تجزیه آماری طرح اسپلیت - فاکتوریل..... ۱۶۵
- طرح فاکتوریل - اسپلیت..... ۱۶۷
- ۳-۱۲- مدل آماری طرح فاکتوریل - اسپلیت..... ۱۶۸
- ۳-۱۳- تجزیه آماری طرح فاکتوریل - اسپلیت..... ۱۶۸
- طرح کرت‌های نواری خرد شده..... ۱۷۱
- ۳-۱۴- مدل آماری طرح کرت‌های نواری خرد شده..... ۱۷۲
- ۳-۱۵- تجزیه آماری طرح کرت‌های نواری خرد شده..... ۱۷۲
- طرح کرت‌های خرد شده در زمان و مکان..... ۱۷۴
- ۳-۱۶- مدل آماری در طرح کرت‌های خرد شده در زمان و مکان..... ۱۷۴
- ۳-۱۷- تجزیه آماری جداگانه و کلی طرح کرت خرد شده در زمان و مکان..... ۱۷۵
- تجزیه داده‌های چند مثال با استفاده از نرم‌افزار SAS..... ۱۸۲
- تجزیه داده‌های چند مثال با استفاده از نرم‌افزار SPSS..... ۱۸۸
- تمرینات بخش سوم..... ۲۰۱

بخش چهارم: تجزیه مرکب آزمایش‌ها..... ۲۰۳

- ۴-۱- تجزیه واریانس ساده آزمایش‌ها..... ۲۰۵
- ۴-۲- آزمون یکنواخت بودن اشتباه آزمایشی با استفاده از روش بارتلت..... ۲۰۶

۲۰۸.....	۴-۳- تجزیه مرکب داده‌ها.....
۲۱۱.....	۴-۴- مقایسه SSها در تجزیه واریانس ساده و تجزیه مرکب داده‌ها.....
۲۱۲.....	۴-۵- آزمون اثرات در تجزیه واریانس مرکب داده‌ها.....
۲۱۳.....	۴-۶- منظور از ثابت یا تصادفی بودن اثرات.....
۲۱۳.....	۴-۷- روش تعیین امید ریاضی میانگین مربعات براساس تصادفی یا ثابت بودن اثر عامل‌ها.....
۲۱۶.....	۴-۸- تجزیه مرکب آزمایش‌ها با طرح‌های پایه متفاوت.....
۲۱۹.....	۴-۹- تجزیه مرکب آزمایش‌ها با طرح آماری یکسان در چند منطقه در یک سال یا چند سال در یک منطقه.....
۲۳۰.....	تجزیه داده‌های یک مثال با استفاده از نرم‌افزار SAS.....
۲۳۱.....	تجزیه داده‌های یک مثال با استفاده از نرم‌افزار SPSS.....
۲۳۶.....	تمرینات بخش چهارم.....

بخش پنجم: طرح‌های بلوک ناقص..... ۲۳۹

۲۳۹.....	۵-۱- طرح آماری مقایسه عملکرد مقدماتی.....
۲۴۱.....	۵-۲- تجزیه داده‌های طرح آماری مقایسه عملکرد مقدماتی.....
۲۴۹.....	۵-۳- تقسیم بندی طرح‌های بلوک ناقص.....
۲۴۹.....	۵-۴- طرح‌های متعادل.....
۲۵۰.....	۵-۵- طرح لاتیس متعادل.....
۲۵۲.....	۵-۶- طرح‌های جزئی متعادل.....
۲۵۳.....	۵-۷- مقایسه طرح‌های بلوک ناقص با طرح بلوک‌های کامل تصادفی.....
۲۵۵.....	۴-۸- انتخاب طرح بلوک‌های ناقص.....
۲۵۵.....	۵-۹- طرح لاتیس متعادل.....
۲۵۶.....	۵-۱۰- تجزیه آماری طرح لاتیس متعادل.....
۲۶۲.....	۵-۱۱- طرح‌های لاتیس جزئی متعادل (نیمه متعادل).....
۲۶۲.....	۵-۱۱-۱- لاتیس ساده.....
۲۶۳.....	۵-۱۱-۲- لاتیس‌های جزئی متعادل با بیش از دو تکرار.....
۲۶۴.....	۵-۱۲- محاسبات آماری طرح لاتیس ساده.....
۲۷۰.....	۵-۱۳- تجزیه آماری داده‌های حاصل از اجرای مکرر لاتیس‌های جزئی متعادل.....
۲۷۷.....	۵-۱۴- برآورد مقدار مشاهده از بین رفته.....

طرح‌های آزمایشی تکمیلی □ خ

۲۸۷.....	۵-۱۵- طرح‌های لاتیس مستطیل
۲۸۸.....	۵-۱۶- تجزیه آماری طرح لاتیس مستطیل
۲۹۵.....	۵-۱۷- تجزیه آماری طرح لاتیس مستطیل با اجرای مکرر
۳۰۶.....	۵-۱۸- طرح‌های مربع لاتیس
۳۰۷.....	۵-۱۹- طرح‌های مربع لاتیس متعادل و جزئی متعادل
۳۰۸.....	۵-۲۰- تجزیه داده‌های حاصل از طرح‌های مربع لاتیس متعادل
۳۰۸.....	۵-۲۰-۱- مربع لاتیس متعادل با $r=(k+1)/2$ تکرار
۳۱۴.....	۵-۲۰-۲- مربع لاتیس متعادل با $r=k+1$ تکرار
۳۲۰.....	۵-۲۱- طرح‌های مربع لاتیس نیمه متعادل
۳۲۱.....	۵-۲۲- برآورد مشاهده گمشده
۳۲۹.....	تجزیه داده‌های چند مثال با استفاده از نرم‌افزار SAS
۳۳۴.....	تمرینات فصل پنجم

بخش ششم: تبدیل داده‌ها..... ۳۴۳

۳۴۴.....	۶-۱- تبدیل جذری یا رادیکالی
۳۴۴.....	۶-۲- تبدیل لگاریتمی
۳۴۵.....	۶-۳- تبدیل زاویه‌ای
۳۴۵.....	۶-۴- تبدیل معکوس
۳۵۳.....	تمرینات بخش ششم

ضمائم..... ۳۵۴

۳۵۴.....	اعداد لاتین و یونانی
۳۵۵.....	الفبای یونانی
۳۵۷.....	مراجع مورد استفاده

جداول آماری..... ۳۵۹

۳۵۹.....	جدول ۱ : توزیع فراوانی نرمال تراکمی سطح زیر منحنی نرمال (Z تا ∞)
۳۶۱.....	جدول ۲ : توزیع تراکمی کی دو (χ^2)
۳۶۳.....	جدول ۳ : توزیع t (آزمون دو طرفه)

جدول ۴ : توزیع t (آزمون یک طرفه)	۳۶۵
جدول ۵ : توزیع F	۳۶۷
جدول ۶ : سطوح معنی دار ضریب همبستگی r (آزمون دو طرفه)	۳۷۵
جدول ۷ : اعداد تصادفی	۳۷۶
جدول ۸ : مقادیر دامنه‌های معنی دار استیودنت (SSR)	۳۸۰
جدول ۹ : مقادیر دامنه‌های معنی دار استیودنت (Q) در آزمون توکی و SNK	۳۸۲
جدول ۱۰ : مقادیر t' برای آزمون دوطرفه مقایسه میانگین تیمارها با شاهد (دانت)	۳۸۶
جدول ۱۱ : مقادیر t' برای آزمون یک طرفه مقایسه میانگین تیمارها با شاهد (دانت)	۳۸۸
جدول ۱۲ : ضرایب مقایسه‌های مستقل رگرسیون با مقسوم‌علیه و مقادیر K برای برازش منحنی‌های پاسخ از ۳ تا ۱۰ تیمار (۳ تا ۱۰ سطح از یک عامل)	۳۹۰
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی	۳۹۱
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی	۴۰۱

پیشگفتار

سپاس و ستایش بی‌کران خدایی را که توفیق عنایت فرمود تا بتوانیم تجربیات چندین ساله خود را در زمینه طرح‌های آزمایشی به رشته تحریر در آورده و به دانشجویان و دانش‌پژوهان رشته‌های مختلف کشاورزی و منابع طبیعی "به ویژه زراعت و اصلاح نباتات" در همه مقاطع تحصیلی عرضه کنیم.

امروزه با پیشرفت علوم و فناوری، تحقیقات علمی ارزش بیشتری پیدا کرده و چون استفاده از روش‌های آماری امکان ارزیابی روشن‌تر و بهینه‌تر نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط دانشجویان و محققان رشته‌های کشاورزی و منابع طبیعی و زیست‌شناسی را در همه زمینه‌ها فراهم می‌آورد، اهمیت دانستن طرح‌های آماری روز به روز بیشتر می‌شود.

در این کتاب - که بی‌تردید خالی از عیب و نقص نیست - سعی شده است که به روشی قابل فهم و با زبانی ساده، به کلیه طرح‌های آماری مصوب گروه برنامه‌ریزی کشاورزی و شورای علمی برنامه‌ریزی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری پرداخته شود، از این رو از استادان محترم، دانشجویان عزیز و خوانندگان گرامی درخواست می‌شود نظرات سازنده و اصلاحی خود را دریغ نفرمایند تا در چاپ‌های آینده نسبت به بهره‌گیری از آنها اقدام شود.

مقدمات تدوین این کتاب، از چندین سال پیش آغاز و به صورت جزوه درسی تدوین و طی تدریس چند ساله اصلاح و بازنویسی شده است از سال ۱۳۸۸ به تشویق برخی از همکاران و بنا به درخواست دانشجویان بر آن شدم تا نسبت به بازنویسی و چاپ آن به صورت کتاب اقدام نمایم.

در طرح و تدوین این کتاب که در ۶ بخش تنظیم شده است، با توجه به تجربیات ۲۵ ساله تدریس درس طرح‌های آزمایشی کشاورزی ۲ برای دانشجویان رشته‌های زراعت و اصلاح نباتات سعی شده است تا علاوه بر بیان مطالب به زبان ساده و به نحو شفاف و قابل فهم، از مناسب‌ترین روش‌ها برای درک مطالب و فرمول‌های ریاضی - که به نظر می‌رسد از دشواری‌های عمده بیشتر دانشجویان رشته‌های کشاورزی و منابع طبیعی است - بهره‌گیری شود. در پایان هر بخش تمرین‌هایی آمده است تا دانشجویان بتوانند با حل آنها آشنایی بیشتری با مفاهیم طرح‌های آزمایشی پیدا کنند. در ضمن چون امروزه بیشتر تجزیه‌های آماری طرح‌های پژوهشی با نرم‌افزارهایی مانند: SAS، SPSS، Minitab، Excel و ... انجام می‌شود برای آشنایی بیشتر خوانندگان در انتهای هر بخش یک یا چند مثال به عنوان نمونه انتخاب و برنامه آن با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و SPSS و آزمون نرمال بودن داده‌ها با نرم‌افزار Minitab نوشته شده و روش کار با این نرم‌افزارها به طور مختصر توضیح داده شده است.

بخش‌های این کتاب شامل: چکیده‌ای از طرح‌های پایه (طرح‌های کاملاً تصادفی، بلوک‌های کامل تصادفی، مربع لاتین، مقایسه میانگین تیمارها)، طرح‌های دو عاملی (آزمایش فاکتوریل دو عاملی، طرح کرت‌های خرد شده، طرح خرد شده در زمان و طرح کرت‌های خرد شده نواری)، طرح‌های سه عاملی (آزمایش فاکتوریل سه عاملی، طرح کرت‌های دوبار خرد شده، طرح اسپلیت - فاکتوریل، طرح فاکتوریل - اسپلیت، طرح کرت‌های خرد شده در زمان و مکان و طرح کرت‌های نواری خرد شده)، تجزیه مرکب آزمایش‌ها، طرح بلوک‌های ناقص (طرح‌های

پیشگفتار □ ر

لاتیس متعادل، جزئی متعادل و مکرر آنها، طرح‌های لاتیس مستطیل دوتایی، سه‌تایی و مکرر آنها، طرح‌های مربع لاتیس متعادل و جزئی متعادل) و بخش ششم نیز شامل تبدیل داده‌ها می‌باشد.
در پایان لازم می‌داند مراتب امتنان و قدردانی خود را از سرکار خانم پریوش دانش‌نیا که زحمت ویرایش ادبی این کتاب را متقبل شده‌اند اعلام کنیم، همچنین از شورا، مسئولان و کارکنان محترم انتشارات دانشگاه تهران به دلیل فراهم کردن موجبات چاپ کتاب صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

مهندس هادی علی پور

دکتر سیدعلی پیغمبری
استاد دانشگاه تهران

طرح‌های آزمایشی تکمیلی

مقدمه

آزمایش، به خودی خود جستجوی طرح شده‌ای است که برای کشف حقایق تازه، اثبات، تکمیل و یا رد نظریه‌ها و نتایج آزمایش‌های گذشته به کار می‌رود. طرح آزمایش، عبارت است از طرز تعیین، گزینش و انتساب تیمارها به واحدهای آزمایشی برای کسب اطلاعات در رابطه با داده‌های مربوط به عوامل مورد بررسی با بیشترین میزان دقت و اعتبار و کمترین هزینه.

اگر قبول کنیم که دانسته‌های جدید اغلب با تجزیه دقیق داده‌ها و تعبیر نتایج آنها به دست می‌آید، اهمیت توجه و کوشش زیاد برای تعیین روش بهینه در به دست آوردن و یا جمع آوری داده‌ها به منظور کسب حداکثر اطلاعات با پذیرش کمترین هزینه معلوم می‌شود. مهم‌ترین کمک یک متخصص آمار در انجام یک آزمایش و جمع آوری داده‌ها، ارائه یک طرح مناسب است که آزمایش کننده به وسیله آن بتواند برآورد ناریب از میانگین تیمارها، تفاوت بین میانگین آنها و اشتباه آزمایشی را به دست آورد و از این جهت مراجعه و مشورت با متخصص آمار برای گزینش طرح آزمایشی پیش از به دست آوردن داده‌ها اهمیت بسیاری دارد.

اغلب ممکن است یک آزمایش کننده در اثر اشتیاق به جمع آوری داده‌ها و خلاصه کردن آنها در یک فرمول ساده مانند آزمون t -استیودنت برای تفاوت میانگین‌ها بدون استفاده از نظر متخصص آمار یا طرح آزمایش‌ها، آزمایشی را انجام دهد که داده‌های به دست آمده از آن امکان برآورد ناریب از میانگین یا تفاوت میانگین تیمارها و با اشتباه آزمایشی را نمی‌دهد و معمولاً برای پاسخگویی به سؤالاتی که در هنگام طرح مسأله مورد نظر بوده کافی نیست و استنتاج از چنین آزمایشی اغلب نمی‌تواند به جامعه مورد بحث در مسأله مورد بررسی تعمیم داده شود. در صورتی که اگر آزمایش کننده به جای این که پس از فراهم شدن داده‌ها به یک متخصص آمار مراجعه نماید و پیش از آغاز آزمایش نظر او را درباره مسأله مورد بررسی و طرح مناسب جویا شود، می‌تواند با صرف وقت کمتر، پاسخ پرسش‌ها، ابهامات و انتظارات خود را به دست آورد.

برای بررسی اثر عامل‌های مورد نظر در آزمایش، می‌توان آنها را به عنوان تیمارهای آزمایش در واحدهای آزمایشی به طور تصادفی کنار هم قرار داده و اثر آنها را روی صفات مورد مطالعه بررسی کرد.

نتایجی که پس از اجرای آزمایش برای آزمایش کننده به دست می‌آید، باید به طور بهینه و علمی، تعبیر و تفسیر شود. به طور کلی یکی از ویژگی‌های اصلی آزمایش این است که با تکرار تیمارهای ثابت نتایج مختلفی به دست می‌آیند. این اختلاف نتایج گرچه باعث کاهش درجه اطمینان نتایج آزمایش می‌شود، ولی بیانگر اثرات جانبی دیگر عامل‌ها که در اختیار آزمایش کننده نیستند، می‌باشد. به همین دلیل است که توصیه می‌شود تیمارها در واحدهای آزمایشی یکنواخت (همگن) قرار داده شود و برای کاهش و کم‌رنگ کردن اثرات عامل‌های خارجی، تیمارها در چند واحد آزمایشی (۳ تا ۵ دفعه) تکرار شوند. به طوری که حتی اگر بررسی کننده، آزمایش را بار دیگر تکرار نماید، نمی‌تواند مطمئن باشد نتایجی که به دست می‌آورد تا چه اندازه با نتایج به دست آمده پیشین

اختلاف خواهد داشت. در آزمایش‌ها به طور معمول این انتظار را نداریم که نتایج به دست آمده کاملاً با حقیقت همسو باشند؛ بلکه انتظار ما این است که با درصد اطمینان بالایی به حقیقت نزدیک باشد. تعمیم نتایج به دست آمده از داده‌های آزمایشی بستگی به راه و روش به دست آوردن آن داده‌ها دارد. زیرا معمولاً عامل‌های غیرقابل کنترل (ناشناخته) در آزمایش اثر کرده و نتایج به دست آمده را نامطمئن می‌سازند. برای حصول اطمینان از تأثیر یکنواخت عوامل مودی بر روی تیمارهای آزمایشی به قرعه‌کشی و انتساب تصادفی تیمارها متوسل می‌شویم. انتساب تصادفی تیمارها یکی از روش‌های مهم در طرح‌های آزمایشی است که به وسیلهٔ فیشر^۱ آماردان انگلیسی پیشنهاد شده است و می‌توان آن را به مثابهٔ بیمه در تصادفات دانست؛ زیرا انتساب تصادفی احتیاطی برای جلوگیری از اثرات نامطلوب عوامل مودی است که از وجود یا میزان تأثیر آنها اطلاعی نداریم. انتساب تصادفی تیمارها به واحدهای آزمایشی باعث می‌شود که اثرات خوب و بد عوامل متفرقه و کنترل نشده در آزمایش، خنثی شوند.

چون تعمیم نتایج یک آزمایش به طور کلی بستگی به چگونگی و طرز اجرای آزمایش دارد، اگر پیش از آغاز آزمایش در گزینش طرح آزمایشی دقت کافی نشود نمی‌توان از نتایج آزمایش برای تعمیم به موارد کلی استفاده کرد و یا تعمیمی که از نتایج به دست می‌آید پاسخ لازم برای پرسش‌هایی که آزمایش کننده در نظر داشته نیست. در چنین مواردی تنها پیشنهاد ممکن و سودمند این است که سعی شود در آینده چنین روشی تکرار نگردد و بنابراین، برای آنکه تحقیق موفقیت‌آمیز و نتایج به دست آمده از آزمایش معتبر باشد، طرح آزمایش باید با کمال دقت اجرا و مواظبت شود. مراحل انجام یک آزمایش علمی به قرار زیر است:

۱- طرح مسأله

شامل بیان مسأله‌ای است که باید بررسی شود. در این مرحله باید همهٔ نکات در مورد اینکه آزمایش برای چه منظوری انجام گیرد، معلوم شود. در بیان مسأله نوع و تعداد متغیرهای غیرمستقل و قابل اندازه‌گیری بودن یا نبودن آنها، میزان دقت در اندازه‌گیری صفات با وسایل موجود یا در صورتی که صفتی قابل اندازه‌گیری نباشد، روش تقسیم بندی آن صفت و توزیع مناسب برای نتایج به دست آمده، باید تعیین گردد. همچنین تعریف متغیرهای مستقل یا عامل‌هایی که ممکن است در متغیر غیرمستقل تأثیر نمایند، در این مرحله از آزمایش لازم است.

۲- مطالعهٔ کارهای انجام شده توسط دیگران

در این مرحله لازم است کارهایی که در ارتباط با مسألهٔ مورد بررسی به وسیله دیگران صورت گرفته، مورد مطالعه قرار گیرد. این کار علاوه بر آنکه ممکن است از تکرار نابجای یک آزمایش جلوگیری نماید، می‌تواند در طرز انجام آزمایش و روش گزینش تیمارها، مواد آزمایشی و همچنین تعیین صفاتی که باید مطالعه شوند، کمک شایانی کند.

۳- انتخاب طرح و تهیهٔ آزمایش

انتخاب طرح مناسب و درست برای آزمایش بسیار مهم است. در بسیاری از اوقات ممکن است در مورد آزمایش توافق حاصل شده و داده‌ها جمع آوری و در نهایت نتیجه‌گیری انجام شود؛ بدون این که در مورد روش جمع آوری داده‌ها توجهی شده باشد. توجه به نکاتی مانند این که تا چه اندازه تفاوت بین اثر تیمارها باید کشف شود

۳ □ طرح‌های آزمایشی تکمیلی

و تعیین میزان تغییرات و احتمال اشتباه در داوری در زمینه تصمیم‌گیری در مورد اندازه نمونه و تکرار آزمایش مهم است. ترتیب اجرای آزمایش و تصادفی نمودن تیمارها نیز از مسائلی است که در مرحله گزینش طرح آزمایش باید در نظر گرفته شود. پس از توافق در مورد آزمایش و روش تصادفی نمودن، باید مدل ریاضی برای داده‌ها در نظر گرفته شود. این مدل باید مقدار تغییر متغیر غیرمستقل را به صورت تابعی از محدودیتی که در آزمایش بر حسب روش تصادفی نمودن در نظر گرفته شده، نشان می‌دهد.

۴- انجام آزمایش - جمع آوری و تجزیه آماری داده‌ها، تعبیر و تفسیر نتایج در این مرحله جمع آوری داده‌ها، خلاصه کردن آنها و انجام محاسبات برای انجام آزمایش‌های آماری معین برای گرفتن تصمیم در مورد جنبه‌های مختلف آزمایش صورت می‌گیرد.

تجزیه داده‌ها شامل محاسبه آزمون‌های مختلف آماری نظیر t ، F ، χ^2 و ... و قواعد مربوط به آنها برای آزمون فرض در مورد مدل آماری است. پس از انجام آزمون‌های آماری و تعبیر آنها باید نتایج به دست آمده به صورت جدول‌ها یا نمودارها به صورتی گویا نشان داده شود که برای اشخاص ذینفع به خوبی قابل درک باشد.

۱- طرح مسأله

الف) بیان مسأله؛

ب) گزینش متغیرهای غیر مستقل؛

ج) گزینش عامل‌ها یا متغیرهای مستقل و همچنین تعیین عامل‌های مؤثر در آزمایش؛

د) گزینش سطوح عامل‌های مورد بررسی (کمی یا کیفی بودن - ثابت یا تصادفی بودن)؛

ه) طرز ترکیب سطوح مختلف عامل‌ها؛

و) مطالعه کارهای انجام شده.

۲- گزینش طرح و تهیه نقشه آزمایش

الف) تعداد مشاهده‌های لازم؛

ب) ترتیب آزمایش؛

ج) روش تصادفی کردن؛

د) تعیین مدل ریاضی برای مشاهده‌ها.

۳- تجزیه داده‌ها

الف) جمع آوری و تجزیه آماری داده‌ها؛

ب) انجام آزمون‌های آماری؛

ج) تعبیر و تفسیر نتایج؛

نتایج آزمایش تنها بستگی به تیمارها ندارد، بلکه عامل‌هایی که اغلب اثرات موزی داشته و باعث پوشیده شدن اثر تیمارها می‌شوند نیز در نتایج به دست آمده مؤثرند.

این عامل‌های مودی باعث بروز اشتباه‌ها یا خطای آزمایشی می‌شوند. به عبارت دیگر خطاهای آزمایشی عبارتند از: پراکندگی مشاهده‌های آزمایشی که به دلیل یکسان نبودن جمع اثرات عوامل متفرقه (کنترل نشده) در تمام واحدهای آزمایشی به وجود می‌آیند. کم کردن مقدار اشتباه‌ها باعث ازدیاد دقت و در نتیجه بالا رفتن اعتبار آزمایش می‌شود. روش‌هایی که برای بالا بردن دقت در آزمایش‌ها به کار می‌روند در طرح آزمایش دارای اهمیت است. این روش‌ها ممکن است به چند نوع تقسیم شوند:

الف) ازدیاد سطح آزمایش به وسیله زیاد کردن تکرار و یا در نظر گرفتن تیمارهای اضافی؛

ب) گزینش صحیح مواد آزمایشی (اندازه و شکل کرت‌ها و غیره)؛ به طوری که با صرف کمترین مواد آزمایشی از مقدار اشتباه‌ها کاسته شده و بیشترین اطلاع به دست آید؛

ج) انجام اندازه‌گیری‌های اضافی که گاهی برای نتیجه‌گیری بهتر از ارقام موجود با استفاده از تجزیه کواریانس می‌توانند مؤثر واقع شوند؛

د) کم کردن اشتباه آزمایشی به وسیله انتخاب طرح مناسب.

به طور کلی طرح‌های آزمایشی را به دو دسته بزرگ طرح‌های آزمایشی در بلوک‌های کامل و طرح‌های آزمایشی با بلوک‌های ناقص تقسیم می‌کنند. موارد استفاده از انواع طرح‌های بلوک ناقص و طرز تجزیه داده‌های آزمایشی حاصل از این طرح‌ها، قسمت مهمی از درس طرح آزمایش‌های تکمیلی را شامل می‌شود.