



سری کتاب‌های کمک آموزشی کارشناسی ارشد

طرح آزمایشات کشاورزی

مجموعه کشاورزی

مؤلف: سروه فتمی

فتحی، سروه

طرح آزمایشات کشاورزی مجموعه کشاورزی / سروه فتحی

مهر سبحان، ۹۵

۱۴۷ ص: شرح - نکته (آمادگی آزمون کارشناسی ارشد)

ISBN: 978-600-334-035-0

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیبا.

فارسی - چاپ دوم

۱- طرح آزمایشات کشاورزی

۳- آزمون دوره های تحصیلات تکمیلی

ج - عنوان

۹ ج ۲۶۴ ف / LB ۲۳۵۳

رده بندی دیویی

شماره کتابشناسی ملی

۳۷۸/۱۶۶۴

۲۸۷۸۶۷۰

نام کتاب: ☒ طرح آزمایشات کشاورزی

مؤلف: ☒ سروه فتحی

ناشر: ☒ مهر سبحان

نوبت و تاریخ چاپ: ☒ دوم / ۹۵

تیراژ: ☒ ۲۰۰۰ جلد

قیمت: ☒ ۱۸۰ / ۰۰۰ ریال

شابک: ☒ ISBN: ۹۷۸-۶۰۰-۳۳۴-۰۳۵-۰

انتشارات مهر سبحان: خیابان ولیعصر، بالاتر از تقاطع مطهری، روبروی قنادی هتل بزرگ تهران، جنب

تلفن: ۸۸۱۰۰۱۱۳-۴

پلاک ۲۰۵۰

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به موسسه آموزش عالی آزاد ماهان می باشد و هر گونه اقتباس و کپی برداری از این اثر بدون اخذ مجوز پیگرد قانونی دارد.

مقدمه ناشر

آیا آنانکه می‌دانند با آنانکه نمی‌دانند برابرند؟ (قرآن کریم)

پس از حمد و سپاس و ستایش به درگاه بی‌همتای احدیت و درود بر محمد مصطفی، عالی نمونه بشریت که در تاریک دور تاریخ، بنا به فرمان نافذ صمدیت از میان مردمی برخاست که خود بودند در پست‌ترین حد توحش و ضلال و بربریت و آنگاه با قوانین شامل خویش هم ایشان را راهبری نمود و رهانید از بدویت و استعانت جوییم از قرآن کریم، کتابی که هست جاودانه و بی نقص تا ابدیت.

کتابی که در دست دارید آخرین ویرایش از مجموعه کتب خودآموز مؤسسه آموزش عالی آزاد ماهان است که بر مبنای خلاصه درس و تأکید بر نکات مهم و کلیدی و تنوع پرسش‌های چهار گزینه‌ای جمع‌آوری شده است. در این ویرایش ضمن توجه کامل به آخرین تغییرات در سرفصل‌های تعیین شده جهت آزمون‌های ارشد تلاش گردیده است که مطالب از منابع مختلف معتبر و مورد تأکید طراحان ارشد با ذکر مثال‌های متعدد به صورت پرسش‌های چهار گزینه‌ای با کلید و در صورت لزوم تشریح کامل ارائه گردد تا دانشجویان گرامی را از مراجعه به سایر منابع مشابه بی‌نیاز نماید.

لازم به ذکر است شرکت در آزمون‌های آزمایشی ماهان که در جامعه آماری گسترده و در سطح کشور برگزار می‌گردد می‌تواند محک جدی برای عزیزان دانشجو باشد تا نقاط ضعف احتمالی خود را بیابند و با مرور مجدد مطالب این کتاب، آنها را برطرف سازند که تجربه سال‌های مختلف موکد این مسیر به عنوان مطمئن‌ترین راه برای موفقیت می‌باشد.

لازم به ذکر است از پورتال ماهان به آدرس www.mahanportal.ir می‌توانید خدمات پشتیبانی را دریافت دارید.

و نیز بر خود می‌بالیم که همه ساله میزان تطبیق مطالب این کتاب با سؤالات آزمون‌های ارشد که از شاخصه‌های مهم ارزیابی کیفی این کتاب‌ها می‌باشد ما را در محضر شما سربلند می‌نماید.

در خاتمه بر خود واجب می‌دانیم که از همه اساتید بزرگوار و دانشجویان ارجمند از سراسر کشور و حتی خارج از کشور و همه همکاران گرامی که با ارائه نقطه نظرات سازنده خود ما را در پربارتر کردن ویرایش جدید این کتاب یاری نمودند سپاسگزاری نموده و به پاس تلاش‌های بی‌چشمداشت، این کتاب را به محضرشان تقدیم نماییم.

مؤسسه آموزش عالی آزاد ماهان

معاونت آموزش

فصل اول: اصول و اصطلاحات اولیه در طرح کشاورزی	۷
فصل دوم: طرح‌های پایه در آزمایشات کشاورزی	۱۳
فصل سوم: مقایسه میانگین‌ها	۵۱
فصل چهارم: مقایسه گروهی تیمارها و مطالعه روند تغییرات	۶۷
فصل پنجم: آزمایشات فاکتوریل	۸۷
فصل ششم: اختلاط در آزمایشات فاکتوریل	۱۰۷
فصل هفتم: طرح کرت‌های خرد شده	۱۱۷
سوالات آزمون سراسری سال ۹۳	۱۳۹
پاسخنامه سوالات آزمون سراسری سال ۹۳	۱۴۱

فصل اول

اصول و اصطلاحات اولیه در طرح کشاورزی

عناوین اصلی

- ❖ خطاهای آزمایشی
- ❖ اندازه و شکل واحدهای آزمایشی
- ❖ فرضیات طرح های آزمایشی
- ❖ فرضیه در تجزیه واریانس طرح های آزمایشی
- ❖ تخمین تعداد تکرار در آزمایش
- ❖ اثر حاشیه ای

فصل اول

اصول و اصطلاحات اولیه در طرح‌های آزمایشی

در ابتدا قبل از ارائه اصول اصلی در طرح‌های آزمایشی لازم است که با برخی مفاهیم و اصطلاحات اولیه آشنایی کلی پیدا کنیم زیرا این مفاهیم در درک سوالات نقش اساسی را دارند.

آزمایش: یک عمل طرح ریزی شده است که برای رد یا قبول یک فرض یا کشف واقعیتی روی تعدادی فرد انجام می‌گیرد.
فرد: کلمه فرد جامعیت دارد و به کوچکترین واحدی که مورد اندازه‌گیری و بررسی قرار می‌گیرد مانند یک انسان، یک دام، قطعه‌ای از برگ، یک سلول، بسته‌ای از کالای خاص، قطعه‌ای زمین با ابعاد معین و غیره گفته می‌شود.
جامعه: به مجموعه‌ای از افراد که حداقل دارای یک وجه مشترک باشند گفته می‌شود. در واقع هدف مطالعه وجه‌های مشترک در بین افراد جامعه است.

نمونه: بخشی از جامعه که معرف آن باشد. نمونه باید دربرگیرنده تمامی جنبه‌های جامعه باشد و با ارزیابی آن به جامعه برسیم بدین منظور باید دارای یک سری ویژگی‌هایی باشد: (۱) تصادفی باشد، ۲- تعداد مناسب داشته باشد.

شاخص‌های آماری: کمیت‌هایی هستند که مشخصات (میانگین، واریانس،...) جامعه یا نمونه را نشان می‌دهند. شاخص‌های جامعه را «پارامتر» می‌نامند که ثابت و شناخته شده هستند، شاخص‌های نمونه را «آماره» می‌نامند که متغیر و ناشناخته می‌باشند. علم آمار: علم کاربرد روش‌ها و تکنیک‌های گوناگون برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات، تجزیه و تحلیل آنها و اخذ نتایج قابل اعتماد از این تجزیه‌ها می‌باشد.

طرح‌های آزمایشی: الگوهای هستند که برای انجام آزمایش‌ها به منظور بدست آوردن اطلاعات دقیق و صحیح درباره عوامل مورد مطالعه به کار می‌روند.

تیمار: هر یک از عواملی که اثر آنها در آزمایش مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

ماده آزمایشی: مقایسه اثرات بین تیمارها به کمک وسیله یا موجودی انجام می‌گیرد، موجود یا وسیله مورد نظر را ماده آزمایشی می‌نامند که باید همگن و یکنواخت بوده و نمونه تصادفی از جامعه باشد تا نتایج برای کل جامعه قابل تعمیم گردد. افراد یا اعضای جامعه یا نمونه ماده آزمایشی را تشکیل می‌دهند.

واحد آزمایشی (کرت یا پلات): قسمتی از ماده آزمایشی است که یک تکرار از یک تیمار یا یک تیمار در یک تکرار به آن تعلق می‌گیرد. یکنواختی شکل و اندازه واحدهای آزمایشی در افزایش دقت آزمایش بسیار مؤثر است.

بلوک: گروهی از واحدهای آزمایشی یا تیمارهای مختلف که تحت شرایط مشابهی تشکیل شده باشند، را بلوک می‌نامند.

تکرار: به تعداد دفعاتی که یک تیمار در آزمایش ظاهر می‌شود تکرار اطلاق می‌شود.

ضریب تغییرات (CV): ضریب تغییرات بر حسب تعریف برابر $\frac{S}{\bar{X}} \times 100$ است. ضریب تغییرات که درصد تغییرات نسبت به میانگین کل مشاهدات را نشان می‌دهد بدون واحد است. از ضریب تغییرات برای تعیین دقت آزمایش یا مقایسه طرح‌های مختلف استفاده می‌شود. اصولاً هر چه ضریب تغییرات یک طرح کمتر باشد، دقت آن طرح بیشتر است. مقدار ضریب تغییرات به ماهیت آزمایش و نوع صفت مورد اندازه‌گیری بستگی دارد.

$$\frac{\sqrt{MSE}}{\bar{X}} \times 100$$

خطاهای آزمایشی

عواملی غیر قابل کنترل و پیش‌بینی نشده هستند که موجب تنوع و پراکندگی مشاهدات آزمایشی می‌شوند. عوامل بسیار زیادی باعث بروز خطاهای آزمایشی می‌شوند اما به طور کلی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

الف) اختلافات بین واحدهای آزمایشی قبل از اعمال تیمارها

ب) عدم یکسانی شرایط آزمایش برای واحدهای آزمایشی

ج) خطاهای یادداشت برداری و نمونه‌برداری و غیره

فیشر و همکارانش که تئوری، کاربرد و اصول کلی طرح‌های آزمایشی را پایه‌گذاری کرده‌اند برای انجام آزمایش و کاهش خطاهای آزمایشی اصول زیر را پیشنهاد می‌کنند:

الف) انتساب تصادفی تیمارها به واحدهای آزمایشی.

ب) منظور کردن تکرار در آزمایش.

ج) کنترل خطای آزمایشی.

باید توجه داشت که خطاهای آزمایشی باید دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس σ_E^2 باشند. از بین دو آزمایش مشابه، آزمایشی که σ_E^2 کوچک‌تری دارد دقت بیشتری دارد. برای کم کردن مقدار واریانس خطای آزمایشی می‌توان از مواد آزمایشی مشابه یا همگن، تعداد تکرار زیاد و طرح مناسب برای آزمایش استفاده کرد.

اندازه و شکل واحدهای آزمایشی

به عنوان یک اصل، واحدهای آزمایشی بزرگ‌تر نسبت به واحدهای آزمایشی کوچک‌تر، تنوع کمتری نشان می‌دهند، بنابراین با افزایش اندازه واحدهای آزمایشی، اغلب می‌توان تعداد تکرار کمتری را بکار برد. در آزمایشات مزرعه‌ای، اندازه و شکل واحد آزمایشی یا کرت و نیز اندازه بلوک کامل یا ناقص از نظر دقت آزمایش بسیار مؤثر هستند. در واقع بیشترین دقت زمانی حاصل می‌شود که واحدهای آزمایشی متمایل باشند و توصیه می‌شود که بلوک‌هایی که برای آزمایش تعیین می‌شود، خواه کامل یا ناقص، به صورت مربع باشند. زمانی که بلوک‌ها مربع می‌باشند، اختلاف بین بلوک‌ها بیشتر و استفاده از آن‌ها بسیار مؤثر خواهد بود، زیرا پراکندگی موجود بهتر تفکیک می‌گردد و دقت مقایسه تیمارها بیشتر می‌شود. باید بلوک‌ها را عمود بر جهت تغییر حاصلخیزی و کرت‌های داخل بلوک را به موازات تغییر حاصلخیزی قرار داد.

فرضیات طرح‌های آزمایشی

فرض‌های تحقیق بیان حدس و پندار محقق درباره نتیجه تحقیق است. در طرح‌های آزمایشی با دو نوع فرض صفر « H_0 » و یک « H_1 » مواجه هستیم و با انجام آزمایش در پی رد یا پذیرفتن فرض صفر « H_0 » با یک میزان اشتباه قابل پذیرش که سطح معنی‌دار بودن آزمون نامیده می‌شود، هستیم. در صورت رد فرض صفر فرض یک مورد قبول واقع می‌شود. براساس صحت فرض صفر دو نوع اشتباه در آزمایشات بوجود می‌آید.

اشتباه نوع اول: این نوع اشتباه در صورتی روی می‌دهد که فرض صفر صحیح را رد نمائیم. ارتکاب اشتباه نوع اول به عنوان سطح معنی‌دار بودن آزمون « α » می‌نامند و در اکثر تحقیقات با ۵ و ۱ درصد تعیین می‌گردد. در واقع یعنی احتمال رد کردن فرض صفر صحیح حداکثر ۱ و ۵ درصد است.



اشتباه نوع دوم: عبارتست از این که فرض صفر نادرست را به اشتباه قبول کنیم این اشتباه را با « β » نشان می دهند.

فرضیات در تجزیه واریانس طرح‌های آزمایشی

تجزیه واریانس برای مدل‌های مختلف طرح‌های آزمایشی مبتنی بر صادق بودن فرضیاتی است که اگر برقرار نباشند، تجزیه واریانس اعتبار لازم را نخواهد داشت. این مفروضات به دو گروه مجزا قابل تفکیک می‌باشد. اولین مورد این‌که باید مشاهدات یا خصوصیت مورد بررسی دارای توزیع نرمال باشند. دوم این‌که باید چهار فرض اساسی در استفاده از تجزیه واریانس برقرار باشد:

۱) خطاهای آزمایشی در تکرارهای مختلف یک تیمار مستقل باشند.

۲- خطاها دارای توزیع نرمال باشند.

۳- خطاها دارای واریانس مساوی باشند.

۴- اثر تیمارها و محیط به صورت جمع‌پذیر (افزایشی) باشد (بسته به نوع طرح در طرح بلوک، محیط همان بلوک است و در مربع لاتین، محیط شامل ستون و ردیف می‌باشد. به عبارت دیگر اثر متقابل بین تیمار و بلوک یا تیمار و ستون و ردیف وجود نداشته باشد).

شایان ذکر است که وجود همبستگی بین خطاهای آزمایشی تکرارهای مختلف یک تیمار در اثر روش کار افرادی که کارهای یادداشت برداری را انجام می‌دهند یا در نتیجه تفاوت بین مواد خام مصرف شده در تیمارهای مختلف حاصل می‌شود. همچنین وضعیت جمع‌پذیری بین اثرات تیمار و بلوک در صورتی صادق است که یک تیمار در تکرارهای (بلوک‌های) مختلف به یک اندازه از تیمار دیگر فاصله داشته باشد و در آزمون برابری واریانس خطاهای آزمایشی در صورتی که دو گروه را مقایسه کنیم، از آزمون F و برای که بیش از دو گروه از آزمونهای F_{max} , Hartley, Bartlett و Levene استفاده می‌کنیم.

در صورت صادق نبودن یکی از فرضیات می‌توان برای تجزیه آماری داده‌ها، از روش‌های غیرپارامتری استفاده کرد یا می‌توان با تبدیل داده‌ها و تغییر وضعیت آن‌ها این مشکل را برطرف کرد.

برای تثبیت و نرمال کردن واریانس، تبدیل‌های متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سه نوع تبدیل که بیشتر استفاده می‌شوند عبارتند از:

الف- تبدیل ریشه دوم یا رادیکالی

۱- مقدار P در آزمون توکی برابر با یک دوم یا نزدیک به آن باشد.

۲- چنانچه داده‌های آزمایشی دارای توزیع پویسون باشند.

۳- برای داده‌های شمارشی که در آن‌ها واریانس هر تیمار متناسب با میانگین آن است.

۴- درصدهایی که از شمارش به دست آمده‌اند و مخرج آن‌ها یکی است، در صورتی که بین صفر تا ۲۰ درصد یا بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد باشند (ولی نه هر دو).

۵- چنان چه میانگین و واریانس هر تیمار با هم برابر یا متناسب باشند.

هنگامی که بعضی از داده‌ها برابر با صفر باشند، از تبدیل $\sqrt{x+0.5}$ استفاده می‌شود. پس از تبدیل داده‌ها، تمام محاسبات آماری و مقایسه میانگین‌ها با داده‌های تبدیل شده انجام می‌شود و سپس برای یافتن میانگین‌های واقعی می‌توان میانگین‌های حاصل از داده‌های تبدیل شده را مجذور کرد.

ب- تبدیل لگاریتمی

۱) مقدار P در آزمون توکی برابر با صفر یا نزدیک به آن باشد.

۲- هنگامی که انحراف معیار هر تیمار متناسب با میانگین آن باشد یا به عبارت دیگر ضریب تغییرات تیمارها ثابت باشد.

هرگاه بعضی از مشاهدات صفر باشند، به هر کدام یک واحد اضافه شده $(x+1)$ و سپس عمل تبدیل انجام می‌شود. اگر به میانگین تیمارهای تبدیل شده در مقیاس اصلی نیاز باشد کافی است که آنتی‌لگاریتم محاسبه گردد.



ج- تبدیل زاویه‌ای

این نوع تبدیل هنگامی به کار می‌رود که مشاهدات دارای توزیع دو جمله‌ای باشند. در مواردی که داده‌ها به صورت نسبت یا درصد باشند، دارای توزیع دو جمله‌ای خواهند بود. چنانچه مشاهدات بین 30° و 70° درصد یا حتی بین 20° و 80° درصد باشند، این نوع تبدیل لازم نیست و داده‌های اصلی را مورد تجزیه آماری قرار می‌دهند.

تبدیل زاویه‌ای زمانی مناسب است که درصدها نماینده کمتر از 100° مشاهده در هر کرت باشند، به عبارت دیگر زمانی که صورت کسر کمتر از 100° باشد. ولی اگر درصدها بر اساس تعداد زیادی مشاهده باشند تجزیه واریانس با همان داده‌های اصلی خالی از اشکال خواهد بود.

تخمین تعداد تکرار در آزمایش

تعداد تکرار در آزمایش به عوامل مختلفی از جمله درجه دقت مورد نیاز در آزمایش بستگی دارد. در صورتی که دقت مورد لزوم با تعداد تکرار معینی حاصل گردد نیازی به استفاده از تکرار بیشتر در آزمایش نیست. اما عوامل چندی بر درجه دقت در آزمایش تاثیر دارند از جمله ماده آزمایشی، تعداد تیمار مورد بررسی و نوع طرح آزمایشی.

به طور کلی مؤثرترین روش افزایش دقت در آزمایش‌های مزرعه‌ای، افزایش تعداد تکرار است. اما تعداد تکرار زیاد نیز باعث افزایش خطا در آزمایش می‌شود و مناسب نیست. تعداد تکرار در یک آزمایش به عوامل متعددی بستگی دارد:

- ۱- مقدار اشتباه آزمایش: هر چه اشتباه آزمایش بیشتر باشد لازم است که تعداد تکرار بیشتر باشد تا اشتباه آزمایشی کمتر شود.
- ۲- تفاوت بین اثر دو تیمار: در صورتی که اختلاف بین تیمارها زیاد باشد مقدار MST بزرگ و F معنی‌دار خواهد بود. ولی اگر این اختلاف کم باشد، برای معنی‌دار شدن F باید MSE کوچک شود یعنی تعداد تکرارها زیاد شود.
- ۳- (P) یا مقدار احتمالی که به وسیله آن تفاوت بین اثر دو تیمار یعنی δ را کشف خواهیم کرد (اشتباه نوع دوم). $[2(1-p) = \beta]$
- ۴- α ، درجه احتمالی است که در آزمایش به کار برده می‌شود.

$$5- \text{یک یا دو دامنه بودن } t \text{ مربوطه، ثابت شده است: } r \geq \frac{2(t+t_1)^2 S^2}{\delta}$$

S^2 همان MSE و δ عبارت است از تفاوت بین اثر دو تیمار t_0 مقدار t مربوط به احتمال α و t_1 مقدار t مربوط به احتمال β است؛ یعنی t_1 عبارت است از مقدار t برای احتمال $2(1-P)$ است.

نقش‌های تکرار یک تیمار عبارتند از:

۱) فراهم کردن تخمینی از خطای آزمایشی.

$$2- \text{افزایش دقت آزمایش توسط کاهش دادن انحراف معیار میانگین هر تیمار } \left(S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \right)$$

۳- افزایش حوزه استنباط آزمایش توسط انتخاب و استفاده مناسب از واحدهای آزمایشی کاملاً متنوع.

۴- کاهش واریانس خطاهای آزمایشی.

اثر حاشیه‌ای:

آزمایش‌های گوناگون نشان داده‌اند که تیمارها همدیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند بنابراین منظور نمودن حاشیه بین کرت‌های آزمایشی و راهروهای بین بلوک‌ها لازم است. با استفاده از حاشیه در آزمایش، اثرات خارجی مثبت و منفی که بر روی تیمارها اثر می‌گذارند حذف می‌شود و این کار باعث افزایش دقت در آزمایش می‌شود. ابعاد حاشیه بسته به نوع آزمایش متفاوت است و از $5/0^\circ$ تا چند متر متغیر می‌باشد. حاشیه به صورت کشت یک ردیف گیاه خاص در بین تمامی کرت‌ها و یا با ایجاد پشته خالی یا مقداری فاصله بین کرت‌های آزمایشی ایجاد می‌شود.

فصل دوم

طرح‌های پایه در آزمایشات کشاورزی

عناوین اصلی

- ❖ طرح کاملاً تصادفی
- ❖ طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی
- ❖ طرح مربع لاتین

فصل دوم

طرح‌های پایه در آزمایشات کشاورزی

برای اجرای یک آزمایش باید با توجه به نوع و تعداد تیمارها و نوع ماده آزمایشی و به منظور نیل به اهداف آزمایش طرح مناسبی را انتخاب نمود تا برآورد قابل قبول و ناریبی از اثر تیمارها و خطاهای آزمایشی حاصل شود. طرح‌های پایه سه نوع هستند: ۱- طرح کاملاً تصادفی (CRD)^۱، ۲- طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی (RB)^۲ و ۳- طرح مربع لاتین^۳. هر نوع آزمایشی خواه به صورت تک عاملی، خواه چند عاملی، (فاکتوریل و ...) باید در قالب یکی از این طرح‌ها باشد.

۱- طرح کاملاً تصادفی (CRD)

طرح کاملاً تصادفی که طرح کُرتهای تصادفی نیز نامیده می‌شود اثر تیمارها از طریق انتساب آن‌ها به تعداد معینی واحد آزمایشی که به طور تصادفی از میان واحدهای موجود انتخاب شده‌اند، برآورد می‌گردد. در واقع تیمارها به طور کاملاً تصادفی در واحدهای آزمایشی منتسب می‌شوند. اما باید توجه داشت که واحدهای آزمایشی شرایط کاملاً یکنواختی داشته باشند. در این حالت نقشه آزمایش می‌تواند به صورتی باشد که بتوان تیماری را در هر دو جهت نقشه بیش از یک بار مشاهده کرد. طرح کاملاً تصادفی برای آزمایش‌های گلخانه‌ای و آزمایشگاهی بسیار مناسب است و کاربرد این طرح در آزمایش‌های صحرایی که در آن‌ها ممکن است حاصلخیزی، بافت و ساختمان قطعات مختلف زمین یکنواخت نباشد، به طور قابل توجهی محدود می‌باشد. طرح‌های کاملاً تصادفی به دو نوع متعادل و نامتعادل تقسیم می‌شود در حالت متعادل تعداد تکرار برای هر کدام از تیمارهای آزمایشی یکسان است ولی در حالت نامتعادل تیمارها دارای تکرارهای متفاوتی هستند. همچنین هر یک از این دو نوع حالت نیز می‌توانند به صورت یک یا چند مشاهده در هر واحد آزمایشی به اجرا درآیند. به علاوه، تعداد مشاهده در هر واحد آزمایشی می‌تواند برای تمام تیمارها مساوی یا نامساوی باشد.

مزایای طرح کاملاً تصادفی

- ۱- محدودیتی از نظر تعداد تیمار و تکرار ندارد در واقع می‌توان تعداد زیادی تیمار و تکرار را بکار برد و انعطاف پذیری زیادی دارد.
- ۲- تیمارها می‌توانند دارای تکرار نامساوی باشند و طرح را به صورت نامتعادل بکار برد.
- ۳- تجزیه آماری در این طرح نسبت به طرح‌های دیگر بسیار ساده‌تر است.
- ۴- اگر تعدادی از مشاهدات یا واحدهای آزمایشی و حتی یک تیمار از بین بروند، تأثیر سوء چندانی در آزمایش نخواهد داشت و خللی در تجزیه آماری ایجاد نمی‌شود، از طرفی نیاز به برآورد داده گمشده نیز نیست.

^۱ - Completely Randomized Design

^۲ - Randomized Complete Block Design

^۳ - Latin Square

معایب طرح کاملاً تصادفی

مهم‌ترین عیب این طرح دقت پایین آن به ویژه در آزمایش‌های بزرگ است زیرا خطاهای آزمایشی آن شامل همه تغییرات بین واحدهای آزمایشی بجز اثر مربوط به تیمارهاست.

تجزیه آماری طرح کاملاً تصادفی :

مدل آماری در طرح‌های آماری یک رابطه خطی است که نشان می‌دهد هر مشاهده یا داده آماری از چه اجزایی تشکیل شده است. منظور از مدل آماری یک طرح، مشخص کردن منابع تغییر در آن طرح است. منابع تغییر در طرح کاملاً تصادفی شامل یک منبع تغییر قابل کنترل تیمار و یک منبع تغییر غیر قابل کنترل خطای آزمایشی است.

مدل آماری طرح کاملاً تصادفی با یک مشاهده در هر واحد آزمایشی

$$x_{ij} = \mu + T_j + e_{ij}$$

μ : میانگین جمعیت

T_j : اثر تیمار

e_{ij} : اثر عوامل کنترل نشده یا خطای آزمایشی

جدول تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی با تکرارهای مساوی (طرح متعادل)

منبع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات نظری	مجموع مربعات کاربردی	میانگین مربعات MS	E (MS)	F
تیمار (t)	t-1	$r \sum (\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})^2$	$\frac{\sum x_{.j}^2}{r} - CF$	$\frac{SS_t}{t-1}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_t^2$	$\frac{MSt}{MSE}$
خطای آزمایشی (E)	t(r-1)	$\sum (x_{ij} - \bar{x}_{.j})^2$	SST - SS _t	$\frac{SSE}{t(r-1)}$	σ_e^2	
کل (T)	rt-1	$\sum (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$	$\sum x_{ij}^2 - CF$			

j = 1, ..., t تعداد تیمار

i = 1, ..., r تعداد تکرار

$$CF = \frac{(\sum x_{..})^2}{n} = \frac{(\sum x_{..})^2}{rt}$$

$$CV = \frac{\sqrt{MSE}}{\bar{x}} \times 100$$

$$S_d = \sqrt{\frac{rMSE}{r}}$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{MSE}{r}}$$



جدول تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی با تکرارهای نامساوی (طرح نامتعادل)

مجموع مربعات کاربردی	مجموع مربعات نظری	درجه آزادی (df)	منابع تغییر (S.O.V)
$\frac{\sum x_{.j}^2}{r_j} - CF$	$\sum r_j (\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})^2$	$t - 1$	تیمار (t)
$SST - SSt$	$\sum (x_{ij} - \bar{x}_{.j})^2$	$\sum r_j - t$	خطای آزمایشی (E)
$\sum x_{ij}^2 - CF$	$\sum (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$	$\sum r_j - 1$	کل (T)

در این طرح چون تعداد تکرار تیمارها متفاوت است به جای r از r_j و به جای rt از $\sum r_j$ استفاده می‌شود.

$$CF = \frac{(\sum x_{..})^2}{\sum r_j}$$

$$S_d = \sqrt{MSE \left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_r} \right)}$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{MSE}{r} \left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_r} \right)}$$

ماهیت خطای آزمایشی در طرح کاملاً تصادفی (متعادل و نامتعادل) R/T است یعنی تکرار در داخل تیمار شده است بنابراین درجه آزادی خطا برابر $t(r-1)$ است و شامل اثر متقابل تیمار و تکرار (RT) و تکرار (R) است ($R+RT$).

یکی از شرطهای تجزیه واریانس، فرض برابری واریانس تیمارها با همدیگر است چون در طرح کاملاً تصادفی نامتعادل تعداد تکرار تیمارها متفاوت است. برای به دست آوردن واریانس مشترک تیمارها، میانگین وزنی می‌گیریم یا به عبارت دیگر واریانس‌های درون تیمارها با هم ادغام می‌شوند تا معیار کامل‌تری از واریانس درون جمعیت به دست آید:

$$S_p^2 = \frac{(r_1 - 1)S_1^2 + (r_r - 1)S_r^2 + \dots + (r_k - 1)S_k^2}{k(r - 1)}$$

r : تعداد مشاهدات در نمونه

k : تعداد نمونه‌ها (تیمارها)

S_i^2 : واریانس نمونه i ام

اما در حالت متعادل (تکرار مساوی برای هر تیمار) واریانس بین تیمارها با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$S_p^2 = \frac{S_1^2 + S_r^2 + \dots + S_k^2}{k}$$

جدول تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی با چند مشاهده در هر واحد آزمایشی

F	E (MS)	میانگین مربعات	مجموع مربعات کاربردی	مجموع مربعات نظری	درجه آزادی (df)	منابع تغییر (S.O.V)
$\frac{MSt}{MSE}$	$\sigma_{Es}^2 + s\sigma_E^2 + rs\sigma_t^2$	$\frac{SSt}{t-1}$	$\frac{\sum x_{.j}^2}{rs} - CF$	$rs \sum (\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})^2$	$t - 1$	تیمار (t)
$\frac{MSE}{MSEs}$	$\sigma_{Es}^2 + s\sigma_E^2$	$\frac{SSE}{t(r-1)}$	$\frac{\sum x_{ij}^2}{s} - \frac{\sum x_{.j}^2}{rs}$	$s \sum (x_{ij} - \bar{x}_{.j})^2$	$t(r-1)$	خطای آزمایشی (E)
	σ_{Es}^2	$\frac{SSE_s}{rt(s-1)}$	$SST - SSt - SSE$	$\sum (x_{ijk} - \bar{x}_{ij.})^2$	$rt(s-1)$	خطای نمونه‌برداری (ES)
			$\sum x_{ijk}^2 - CF$	$\sum (x_{ijk} - \bar{x}_{...})^2$	$rts - 1$	کل (T)

$j = 1, \dots, t$ تعداد تیمار

$i = 1, \dots, r$ تعداد تکرار

$k = 1, \dots, s$ تعداد مشاهده

$$CF = \frac{(x_{...})^2}{rts}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{rMSE}{rs}}$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{MSE}{rs}}$$

توجه داشته باشید که منابع تغییر در طرح کاملاً تصادفی با چند مشاهده در هر واحد آزمایشی دارای یک منبع تغییر قابل کنترل تیمار و دو منبع تغییر غیر قابل کنترل خطای آزمایشی و خطای نمونه‌برداری است:

$$x_{ijk} = \mu + T_i + e_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

ε_{ijk} : اثر خطای نمونه‌برداری

با استفاده از تجزیه چند مشاهده‌ای می‌توان آزمون F را برای اشتباه آزمایشی را نیز انجام داد.

۲- طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RB)

از طرح کاملاً تصادفی در صورتی می‌توان استفاده کرد که واحدها یا مواد آزمایشی یکنواخت باشند و تنها تیمارها باعث ایجاد تغییر می‌شوند اما این یکنواختی در اکثر مواقع امکان پذیر نیست به عنوان مثال در آزمایشات مزرعه‌ای، زمین که به عنوان ماده آزمایشی است ممکن است دارای شیب تغییر یک جهته باشد. این شیب تغییر می‌تواند بافت خاک، pH، شوری، حاصل‌خیزی، شیب زمین باشد که باعث کاهش دقت و افزایش خطا در آزمایش می‌شود. برای حذف اثرات این تغییرات باید زمین آزمایش را به بلوک‌هایی تقسیم کرد به شیوه‌ای که واحدهای آزمایشی درون هر بلوک از حداکثر یکنواختی برخوردار باشند. در واقع در این طرح واحدهای آزمایشی طوری گروه‌بندی می‌شوند که تعداد واحدهای آزمایشی در هر دسته مساوی تعداد تیمار باشد در این صورت هر گروه را یک بلوک کامل می‌گویند و هر بلوک شامل یک تکرار از تمام تیمارهای موجود در آزمایش است و تیمارها در داخل بلوک در شرایط مشابهی ارزیابی می‌شوند. اما توجه کنید که اگر در یک بلوک فقط تعدادی از تیمارها شرکت داشته باشند آن را بلوک ناقص می‌نامند که نوع دیگری از طرح‌های آزمایشی هستند که در فصل‌های آینده به توضیح آن خواهیم پرداخت.

طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی این امکان را می‌سازد که مقدار تفاوت‌های ناشی از عدم یکنواختی مواد آزمایشی محاسبه گردد و مقادیر واقعی‌تر میانگین تیمارها و خطای آزمایشی محاسبه، حاصل گردد.

نکته: طرح بلوک‌های کامل تصادفی در بین طرح‌های دیگر بیشترین کاربرد را دارد.

اجرای این طرح در آزمایش‌های مزرعه‌ای بلوک‌بندی را عمود بر روند غیریکنواختی زمین و در آزمایش‌های روی جانوران،

بلوک‌بندی را بر اساس تشابهات وزنی، سنی و غیره تشکیل می‌دهند.

همچنین از طرح بلوک علاوه بر کنترل تغییرات یک جهته به دلایل دیگری هم استفاده می‌شود. یکی از این دلایل تقسیم کار و تنظیم برنامه است. به عنوان مثال اگر در اجرای یک طرح نیاز باشد که از افراد مختلفی کمک گرفته شود، هر بلوک مبنای تقسیم کار قرار می‌گیرد و هر فرد عملیات یا اندازه‌گیری‌های یک بلوک را انجام می‌دهد. هم‌چنین در آزمون‌های کیفی، چون سلیقه یا ذائقه افراد متفاوت است افراد مختلف به عنوان بلوک منظور می‌شوند و هر فرد تمام تیمارها یا مواد مورد بررسی (نظیر انواع شیرینی، آب میوه و غیره) را آزمون کرده و به آن‌ها امتیاز می‌دهد و این نوع بلوک‌بندی‌ها همه به منظور افزایش دقت در اجرای آزمایش است.

زمانی که بین بلوک‌ها اختلاف معنی‌دار پیدا می‌شود (F بلوک معنی‌دار باشد) بدین معنی است که بلوک‌بندی صحیح انجام شده است یا عملیات اجرایی (آبیاری، وجین، نمونه‌برداری و... در آزمایشات زراعی) در بلوک‌های مختلف یکسان نبوده است و اجرای



طرح مناسب می‌باشد. با بلوک‌بندی صحیح تغییر تنها در واریانس بلوک ایجاد می‌شود و تغییری در واریانس تیمار به وجود نخواهد آمد.

باید توجه داشت که نقشه آزمایش در این طرح به صورتی است که نتوان تیماری را بیش از یک بار در یکی از جهت‌ها مشاهده کرد. اما ممکن است تیمار در جهت دیگر بیش از یک بار تکرار شود و در اکثر حالات در نقشه‌های مربوط به طرح بلوک‌های کامل تصادفی شیب تغییرات یک طرفه با علامت فلش مشخص می‌شود.

مزایای طرح بلوک‌های کامل تصادفی

- ۱- به دلیل استفاده از بلوک در این طرح، دقت آزمایش بیشتر از طرح کاملاً تصادفی است.
- ۲- اگر به دلایلی مجبور شویم یک بلوک یا یک تیمار را از آزمایش حذف کنیم خللی در تجزیه آماری این طرح ایجاد نخواهد شد.
- ۳- اگر یک یا چند واحد آزمایشی از بین برود می‌توان آن‌ها را برآورد کرده و تجزیه واریانس را انجام داد.
- ۴- از نظر تعداد تیمار و تعداد تکرار نسبت به طرح مربع لاتین محدودیت زیادی ندارد.

معایب طرح بلوک‌های کامل تصادفی

- ۱- در صورتی که تغییرات دو جهته در ماده آزمایشی وجود داشته باشد، این طرح کارایی مطلوبی ندارد.
- ۲- در حالتی که تعداد بلوک‌ها خیلی زیاد شود (بیش از ۱۵) دقت آزمایش به علت اختلاف زیاد بین بلوک‌ها کم می‌شود.

تجزیه آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی

طرح بلوک‌های کامل تصادفی دارای دو منبع تغییر قابل کنترل تیمار و بلوک و یک منبع تغییر غیرقابل کنترل خطای آزمایش می‌باشد

مدل آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی با یک مشاهده در هر واحد آزمایشی:

R_i : اثر بلوک

$$x_{ij} = \mu + R_i + T_j + e_{ij}$$

μ : میانگین جمعیت

T_j : اثر تیمار

e_{ij} : اثر عوامل کنترل نشده یا خطای آزمایشی

جدول تجزیه واریانس طرح بلوک‌های کامل تصادفی

F	E (MS)	میانگین مربعات	مجموع مربعات کاربردی	مجموع مربعات نظری	درجه آزادی (df)	منابع تغییر (S.O.V)
$\frac{MSR}{MSE}$	$\sigma_\epsilon^2 + t\sigma_R^2$	$\frac{SSR}{r-1}$	$\frac{\sum x_{i.}^2}{t} - CF$	$t \sum (\bar{x}_{i.} - \bar{x}_{..})^2$	$r-1$	بلوک (R)
$\frac{MSt}{MSE}$	$\sigma_\epsilon^2 + r\sigma_t^2$	$\frac{SSt}{t-1}$	$\frac{\sum x_{.j}^2}{r} - CF$	$r \sum (\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})^2$	$t-1$	تیمار (t)
	σ_ϵ^2	$\frac{SSE}{(r-1)(t-1)}$	$SST - SSt - SSR$	$\sum (x_{ij} - \bar{x}_{i.} - \bar{x}_{.j} + \bar{x}_{..})^2$	$(r-1)(t-1)$	خطای آزمایشی (E)
			$\sum x_{ij}^2 - CF$	$\sum (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$	$rt-1$	کل (T)

$j = 1, \dots, t$ تعداد تیمار

$i = 1, \dots, r$ تعداد تکرار

$$CF = \frac{(\sum x_{..})^2}{rt}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{rMSE}{r}}$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{MSE}{r}}$$

مدل آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چند مشاهده در هر واحد آزمایشی:

$$x_{ijk} = \mu + R_i + T_j + e_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

ε_{ijk} : اثر خطای نمونه‌برداری

تجزیه آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چند مشاهده در هر واحد آزمایشی

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	E(MS)
بلوک (R)	$r-1$	$\frac{\sum x_{i..}^2}{ts} - CF$	$\frac{SSR}{r-1}$	$\sigma_e^2 + s\sigma_e^2 + t\sigma_R^2$
تیمار (t)	$t-1$	$\frac{\sum x_{.j.}^2}{rs} - CF$	$\frac{SSt}{t-1}$	$\sigma_e^2 + s\sigma_e^2 + r\sigma_t^2$
خطای آزمایشی (E)	$(r-1)(t-1)$	$\frac{\sum x_{ij.}^2}{s} - CF - SSR - SSt$	$\frac{SSE}{(r-1)(t-1)}$	$\sigma_e^2 + s\sigma_e^2$
خطای نمونه‌برداری (ES)	$rt(s-1)$	$SST - (SSR + SSt + SSE)$	$\frac{SSES}{rt(s-1)}$	σ_e^2
کل (T)	$rts-1$	$\sum x_{ijk}^2 - CF$		

$j = 1, \dots, t$ تعداد تیمار

$i = 1, \dots, r$ تعداد تکرار

$k = 1, \dots, s$ تعداد نمونه یا مشاهده

$$CF = \frac{(x_{...})^2}{rts}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{rMSE}{rs}}$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{MSE}{rs}}$$

ماهیت خطای آزمایشی در طرح بلوک‌های کامل تصادفی از اثر متقابل بلوک و تیمار (RT) تشکیل شده است.

برآورد کورت گمشده در طرح بلوک کاملاً تصادفی

گاهاً در آزمایش اتفاق می‌افتد، یک یا تعدادی از واحدهای آزمایشی توسط عامل‌هایی که خارج از کنترل هستند از دست می‌روند، یا قابل اعتماد نیستند. در این حالات می‌توان واحد یا واحدهای آزمایشی از دست رفته را با روش‌های خاصی برآورد کرد. برآورد یا برآوردهای تخمینی طوری حاصل می‌شوند که مجموع مربعات خطا حداقل می‌باشد.

برآورد یک مشاهده از بین رفته

برآورد یک مشاهده از بین رفته را می‌توان با استفاده از فرمول زیر که توسط بیتز پیشنهاد شده است برآورد نمود.

$$x = \frac{rR + tT - G}{(r-1)(t-1)}$$

t : تعداد تکرار