

جزوه درسی

طرح آزمایش‌های کشاورزی (۱)

استاد درس: دکتر حسینزاده

(دانشگاه تهران - پریس کشاورزی و منابع طبیعی)



به نام خدا

فهرست عناوین

۸.....	جلسه ۱
۸.....	مقدمه
۹.....	جلسه ۲ . یادآوری از آمار
۱۲	توزیع t استیودنت:
۲۰	جلسه ۳. طرحهای آزمایشی Experimental Designs
۲۰	تیمار (Treatment)
۲۰	ماده آزمایشی (Experimental material)
۲۱	تکرار (Replication)
۲۱	واحد آزمایشی (Experimental unit)
۲۲	دادهها یا مشاهدات (Observation)
۲۲	صحت و دقت آزمایش (Accuracy & Precision)
۲۳	خطاهای آزمایشی (Experimental Error)
۲۳	مدل آماری (Statistical model)
۲۴	مراحل طرح و انجام یک آزمایش
۲۵	انتخاب ماده آزمایشی:
۲۵	انتخاب طرح آزمایشی مناسب:
۲۵	تعداد تکرار:
۲۵	انجام آزمایش:
۲۶	پیاده کردن طرح
۲۶	مواظبت از آزمایش
۲۶	جمع آوری مشاهدات
۲۶	تجزیه آماری و تفسیر نتایج
۲۶	چاپ و انتشار نتایج
۲۷.....	جلسه ۴. طرح کاملاً تصادفی یا طرح کرتھای تصادفی
۲۷	:CRD
۲۸	طرحهای تصادفی
۲۸	طرز پیاده کردن طرح : CRD:
۲۸	انتساب تصادفی تیمارها به واحدهای آزمایشی از طریق:
۲۸	۱- جدول اعداد تصادفی
۲۹	۲. استفاده از کیسه

۳۰	تجزیه آماری طرح CRD
۳۴	محاسبات میانگین مربعات (Mean Squar = MS)
۳۵	مزایای طرح CRD:
۳۵	معایب طرح CRD
۳۶.....	جلسه ۵. ادامه طرحهای کاملاً تصادفی (CRD)
۳۶	الف: CRD با تکرار نا مساوی = طرح CRD نا متعادل
۳۷	محاسبه SS منابع تغییر
۳۷	ب: طرح CRD با نمونه های فرعی (چند مشاهده در هر واحد آزمایشی)
۳۸	مدل آماری طرح:
۳۹	محاسبه CF
۳۹	محاسبه مجموع مربعات کل:
۳۹	محاسبه مجموع مربعات تیمار:
۳۹	محاسبه مجموع مربعات خطاهای آزمایشی:
۴۰	طرح CRD نامتعادل با چند مشاهده:
۴۰	محاسبه CF :
۴۲.....	جلسه ۶. مقایسه میانگین تیمارها (mean comparisons)
۴۲	روش های مقایسه میانگین ها
۴۲	LSD
۴۴	مقایسه میانگین ها از طریق LSD
۴۴	مقایسه تیمار C, B با:
۴۴	روش سریعتر مقایسه میانگین ها بعد از مشخص شدن LSD :
۴۵	مقایسه تیمار A با B:
۴۵	مقایسه تیمار A با D:
۴۵	مقایسه تیمار B با C:
۴۵	مقایسه تیمار B با D:
۴۶	مقایسه تیمار C با D:
۴۶	آزمون دانکن
۴۶	آزمایش عملکرد چهار واریته گندم در سه تکرار
۴۷	میانگین ها:
۴۷	(الف) محاسبه انحراف معیار توزیع میانگین ها ($S_{\bar{y}}$):
۴۷	(ب) استخراج مقادیر دامنه دار (SSR)
۴۷	(ج) محاسبه مقادیر حداقل دامنه های معنی دار (LSR)
۴۷	(د) مقایسه تفاوت دو به دو تیمارها با LSR مربوطه
۴۸	شیوه نشان دادن نتایج مقایسه میانگین ها:
۴۸	۱. جدول تفاضل ها:
۴۸	۲. روش خط کشی:
۴۹	۳. روش حروف الفبا

۴۹	آزمون دانکن در CRD نا متعادل
۵۰	آزمون توکی (Tukey)
۵۰	تفاوت HSD و LSD
۵۱	آزمون SNK
۵۱	الف- استخراج مقادیر ۹ برای دامنه‌های مختلف
۵۱	ب- محاسبه HSD
۵۲	ج- مرتب نمودن تیمارها و انجام مقایسه
۵۲	آزمون دانت:
۵۲	مقایسه روشها
۵۳	جلسه ۷. طرح بلوک های کامل تصادفی
۵۴	طرز عمل در طرح RCBD
۵۶	مدل آماری RCBD
۵۷	جدول تجزیه واریانس RCBD
۵۷	نقشه آزمایش:
۵۷	جدول داده‌ها:
۵۸	مراحل محاسبه:
۵۸	جدول تجزیه واریانس:
۵۹	تجزیه آماری طرح RCBD با داده‌های گم شده یا از بین رفته:
۵۹	فرمول یتیس
۵۹	مثال:
۶۰	محاسبه اربیی حاصل از برآورد مشاهده از بین رفته
۶۱	برآورد بیش از یک مشاهده از بین رفته:
۶۱	مثال:
۶۲	مقایسه میانگین‌ها
۶۲	تجزیه آماری RCBD با چند مشاهده
۶۲	الف: مدل آماری
۶۳	جدول مشاهدات:
۶۴	الف) محاسبه CF :
۶۴	ب) محاسبه مربعات کل :
۶۴	ج) محاسبه مجموع مربعات تیمار:
۶۴	د) محاسبه مجموع مربعات بلوک:
۶۴	ه) محاسبه مجموع مربعات واحدهای آزمایشی:
۶۴	و) محاسبه مجموع مربعات خطای آزمایشی:
۶۴	ز) محاسبه مجموع مربعات خطای نمونه برداری:
۶۵	فرمول خطای معیار:
۶۵	جدول تجزیه واریانس:
۶۵	سود بندی نسبی یا کاراتی نسبی RE (Relative Efficiency)

..... ۶۷	جلسه ۸ . طرح مربع لاتین (Latin Square)
..... ۶۷	ویژگی طرح LS
..... ۶۷	دلیل انتساب نام مربع لاتین
..... ۶۸	طرز پیاده کردن طرح : LS
..... ۷۰	مدل آماری طرح : LS
..... ۷۰	جدول تجزیه واریانس
..... ۷۳	سودمندی نسبی (RE)
..... ۷۴	طرح LS با چند مشاهده :
..... ۷۵	تجزیه واریانس طرح LS با چند مشاهده :
..... ۷۵	مزایا :
..... ۷۵	معایب :
..... ۷۶	جلسه ۹
..... ۷۶	الف) مربع لاتین مکرر
..... ۷۶	ب) طرح گردان Change Over Design
..... ۷۷	مدل آماری مربع لاتین مکرر
..... ۷۷	تجزیه واریانس لاتین مکرر با دو ستون df : SOV
..... ۷۸	جدول دو طرفه تیمار و مربع
..... ۷۸	محاسبه CF :
..... ۷۸	محاسبه SST :
..... ۷۸	محاسبه مجموعه مربعات مربعها :
..... ۷۹	محاسبه مجموع مربعات ستون در مربع :
..... ۷۹	محاسبه مربعات تیمارها :
..... ۸۰	محاسبه خطای آزمایشی :
..... ۸۰	جدول تجزیه واریانس :
..... ۸۰	فرمولهای خطای استاندارد :
..... ۸۰	طرح گردان :
..... ۸۰	۱- مربعها می‌توانند در کنار هم دیگر قرار گیرند:
..... ۸۱	۲- مربعها می‌توانند در زیر یکدیگر قرار گیرند:
..... ۸۳	جدول تجزیه واریانس :
..... ۸۵	جلسه ۱۰
..... ۸۵	الف - تبدیل دادهها Data transformation
..... ۸۵	أنواع تبدیل دادهها :
..... ۸۵	۱- تبدیل رادیکالی یا ریشه دوم :
..... ۸۶	۲- تبدیل لگاریتمی :
..... ۸۶	۳- تبدیل زاویه ای :
..... ۸۶	۴- تبدیل معکوس :

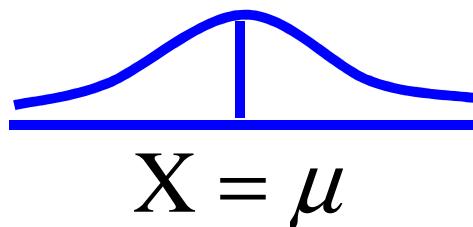
۸۶	ب - مقایسات گروهی تیمارها
۸۷	انواع مقایسات گروهی:
۸۷	مقایسات گروهی
۸۸	تجزیه اثر تیمارها در مقایسات مستقل و غیر مستقل :
۸۹	روش دیگر برای محاسبه SS_Q
۹۴	جلسه ۱۱. آزمایش های چند عاملی Factorial Experiments
۹۶	آزمایش فاکتوریل:
۹۷	انواع آزمایش های چند عاملی
۹۸	اثرات اصلی :
۹۹	اثرات متقابل :
۱۰۰	اثرات متقابل به صورت نمودار
۱۰۱	تجزیه آماری یک آزمایش فاکتوریل
۱۰۲	محاسبه SS از طریق ضرایب
۱۰۴	روش فاکتوریل یا ضرایب:
۱۰۹	جلسه ۱۲. تفکیک SS
۱۱۰	رابطه بین متغیرها
۱۱۰	رابطه خطی
۱۱۰	رابطه درجه دوم
۱۱۱	رابطه درجه سوم
۱۱۶	جلسه ۱۳. اختلاط Confounding
۱۱۸	اصول و روش اختلاط:
۱۲۲	محاسبه SS اثرات
۱۲۲	روش ضرایب
۱۲۴	جلسه ۱۴. طرح کرتھای خرد شده Split-Plot Design
۱۲۴	تعریف
۱۲۴	تفاوت طرح خرد شده با طرح های پایه

۲ جلسه

یادآوری از آمار

توزیع نرمال:

- منحنی زنگوله‌ای شکل است که در اطراف میانگین ($\mu = X$) متقارن می‌باشد.



- هر منحنی توزیع نرمال بوسیله دو شاخص μ, σ مشخص می‌شود و به این صورت نشان داده می‌شود.

$$X \sim N(1ND, (\mu, \sigma))$$

متغیر X دارای توزیع فراوانی نرمال (N) بوده که حالتهای وقوع آن از یکدیگر مستقل (1ND) می‌باشد و

دارای میانگین μ و انحراف معیار σ می‌باشد.

مل: میانگین جامعه را نشان میدهد.

σ : تنوع و پراکندگی مشاهدات را نشان میدهد.

- در توزیع نرمال \leftarrow میانه، مد و میانگین برابر هستند.

اهمیت توزیع نرمال:

- مهمترین الگوی آماری است و اکثر تئوریها، محاسبات و استدلالهای آماری بر پایه آن بنا شده است.

- غالب پدیده‌های طبیعی توزیع نرمال دارند.

- توزیع‌های غیر نرمال را می‌توان با استفاده از اصول آمار و ریاضی به توزیع نرمال تبدیل کرد.

پس بنابراین:

در یک جامعه با توزیع نرمال دو عامل میانگین و واریانس پارامترهای معرف آن جامعه می‌باشند.

حد وسط جامعه = میانگین

پراکندگی افراد جامعه در اطراف میانگین = واریانس

اگر:

X : افراد جامعه

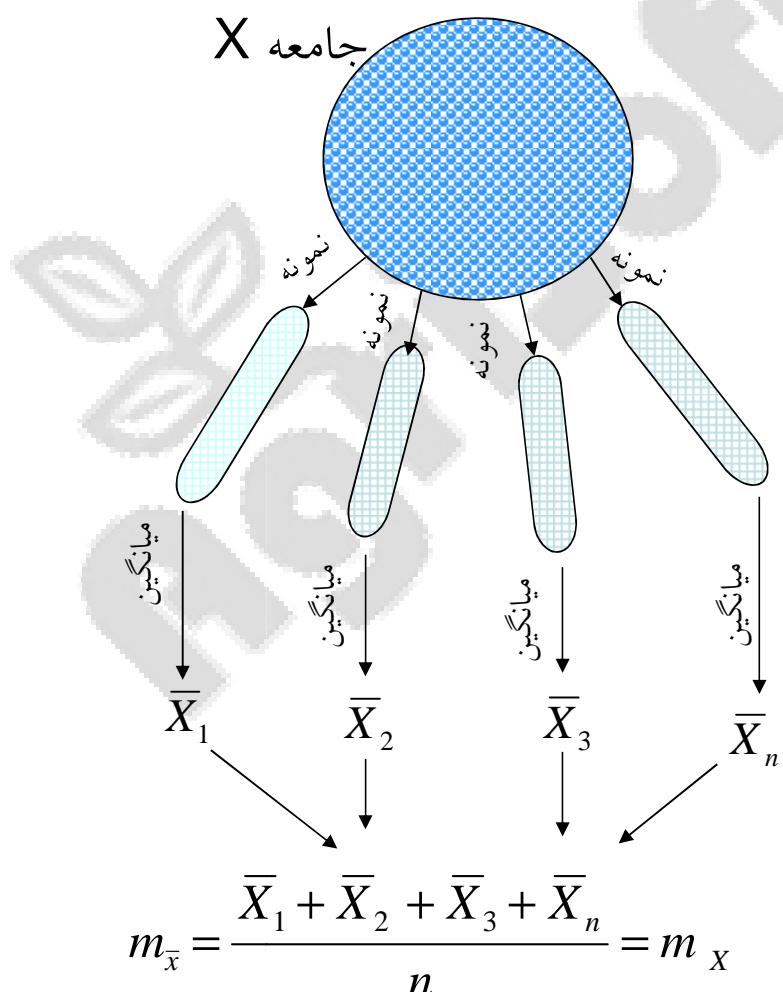
\bar{X} : میانگین

n : تعداد افراد جامعه

خواهیم داشت:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (\text{میانگین})$$

$$\delta^z = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n} = \frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n} \quad (\text{واریانس})$$



x (رژیم)	y	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$
۳۰	۱۵	-۴	۱۶	-۷	۴۹
۳۵	۱۲	۱	۱	-۱۰	۱۰۰
۳۲	۴۱	-۲	۴	۱۹	۳۶۱
۳۹	۱۷	۵	۲۵	-۵	۲۵
۳۴	۸	•	•	-۱۴	۱۹۶
۱۷۰	۳۱		۴۶	۹	۸۱
	۳۰			۸	۶۴
	۱۵۴				۸۷۶

$$\bar{X} = \frac{۱۷۰}{۵} = ۳۴ \quad \bar{y} = \frac{۱۵۴}{۷} = ۲۲$$

$$s_x = \sqrt{\frac{۴۶}{۴}} = \sqrt{۱۱/۵} \quad s_y = \sqrt{\frac{۸۷۶}{۶}} = \sqrt{۱۴۶}$$

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{۱۱/۵}{۵}} \quad s_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{۱۴۶}{۷}}$$

$$s_{\bar{x}-\bar{y}} = \sqrt{\frac{۱۱/۵}{۵} + \frac{۱۴۶}{۷}} = \sqrt{۴/۸۱}$$

$$t = \frac{۳۴ - ۲۲}{\sqrt{۴/۸۱}} = \frac{۱۲}{\sqrt{۴/۸۱}} = ۲/۴۹$$

$$t_{t_1(4/5\%)} = ۲/۷۷۶ \quad t_{t_2(6/5\%)} = ۲/۴۴$$

چون t_c (محاسبه شده) بین دو جدول قرار گرفته است لازم است t براساس فرمول زیر محاسبه شود.

$$t' = \frac{t_1 s_{\bar{x}}^2 + t_2 s_y^2}{s_{\bar{x}}^2 + s_y^2} = \frac{۲/۷۷(۲/۳۰) + ۲/۴۴(۲۰/۸۶)}{۲/۴۰ + ۲۰/۸۶} = ۲/۴۸$$

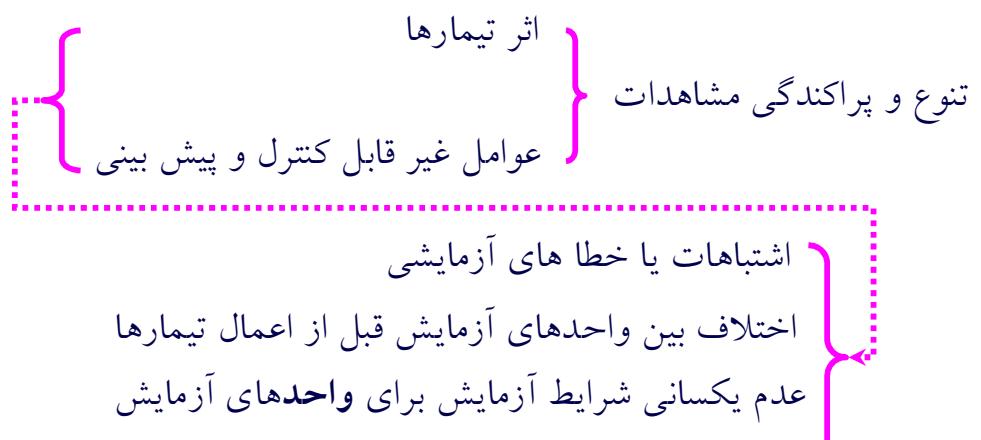
چون $t' > t_c$ است پس بین دو نوع رژیم تفاوت وجود دارد.

۴- مقایسه میانگین دو نمونه از دو جامعه در حالت جفتی (غیر مستقل):

اگر x, y افراد دو جامعه نرمال با میانگین های m_y, m_x باشند بطوریکه x, y جفت باشند و هر گاه

تفاوت هر جفت را با D نشان دهیم فرمول t به شکل زیر خواهد بود.

خطاهای آزمایشی (Experimental Error)



خطاهای آزمایشی:

- مستقل باشند

- توزیع نرمال با میانگین صفر

$$CV(\text{ coefficient of variation}) = \frac{s_x}{\bar{x}} \times 100$$

مدل آماری (Statistical model)

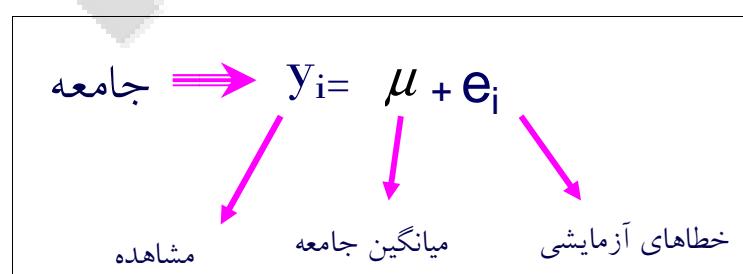
رابطه خطی است که نشان میدهد هر مشاهده از چه اجزایی تشکیل شده است

یا

در کمیت هر مشاهده چه عواملی دخالت دارند

یا

ماهیت تنوع و واریانس بین دادهها از چه عواملی ناشی میشود



محاسبات میانگین مربعات (Mean Square = MS)

$$MS_t = \frac{SS_t}{df_t} = \frac{42}{3} = 14$$

$$MS_e = \frac{SS_e}{df_e} = \frac{20}{8} = 2.5$$

F _{t(0.01)}	F _{t(0.05)}	F _c	Ems	ms	SS	df	SOV
				14	42	3-1 = 2	تیمار
				5/2	20	4(3-1) = 8	اشتباه آزمایشی
				62	12-1 = 11		کل

F: محاسبه

$$F_c = \frac{ms_t}{ms_e} = \frac{14}{2.5} = 5.6$$

F _{t(0.01)}	F _{t(0.05)}	F _c	Ems	ms	SS	df	SOV
				14	42	3-1 = 2	تیمار
				5/2	20	4(3-1) = 8	اشتباه آزمایشی
				62	12-1 = 11		کل

استخراج F جدول:

$$F_{0.05}(3, 8) = 4.07$$

$$F_{0.01}(3, 8) = 7.59$$

F _{t(0.01)}	F _{t(0.05)}	F _c	Ems	ms	SS	df	SOV
7.59	4.07	5/2		14	42	3-1 = 2	تیمار
				5/2	20	4(3-1) = 8	اشتباه آزمایشی
				62	12-1 = 11		کل

توضیح:

← میانگین تیمارها در سطح ۵٪ متفاوت است $F_c = 5/2 > F_t = 4.07$

چون: ← میانگین تیمارها در سطح ۱٪ متفاوت نیست $F_c = 5/2 > F_t = 7.59$

توضیح:

در جدول تجزیه واریانس =

$$EMS_e = \sigma_e^2$$

$$LSD = t_{\alpha/2, dF_e} \times S_{\bar{d}}$$

↓
↓

جدول
انحراف معیار توزیع تفاوت میانگین ها
یا
خطای معیار یا خطای استاندارد

$S_{\bar{d}}$ برای طرح کاملاً تصادفی با ۲ تکرار برابر است با:

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{2ms_e}{r}}$$

→
میانگین مربعات خطای آزمایشی
→
تکرار

قبل در آزمون t گفته شد که

$$t = \frac{\bar{d}}{S_{\bar{d}}}$$

$$\bar{d} = t \times s_{\bar{d}}$$

اگر تفاوت دو میانگین $= < LSD$ ← تفاوت معنی دار است

:LSD روش

- قدیمی ترین

- ساده ترین

- به طور وسیعی استفاده می شود

روش صحیح کاربرد LSD مهم می باشد:

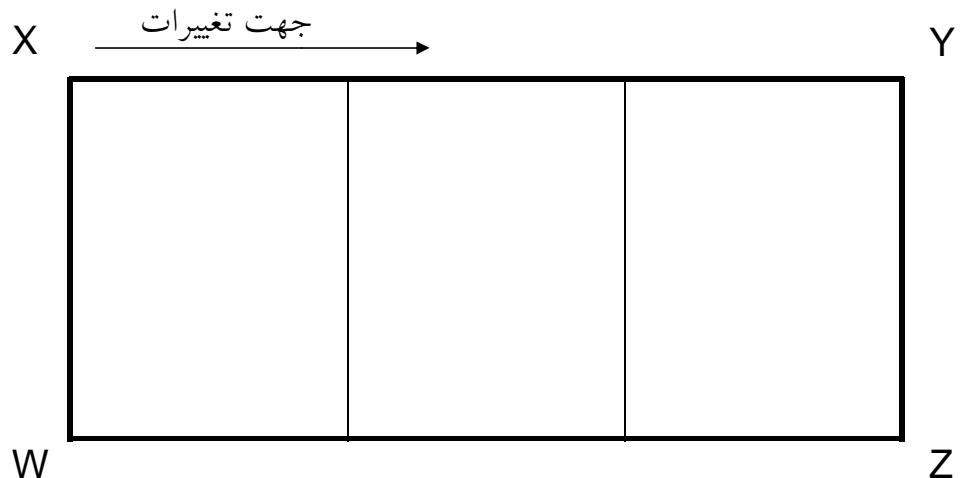
- مقایسات مستقل

- مقایسه تیمارها با تیمار شاهد

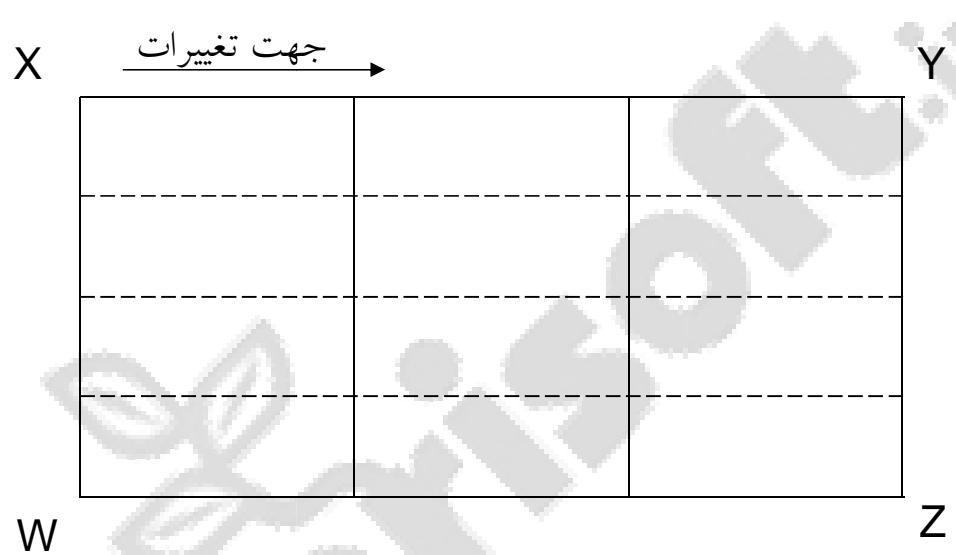
- معنی دار باشد.

مقایسات مستقل: اطلاعات از یک مقایسه از مقایسه دیگر حاصل نشود.

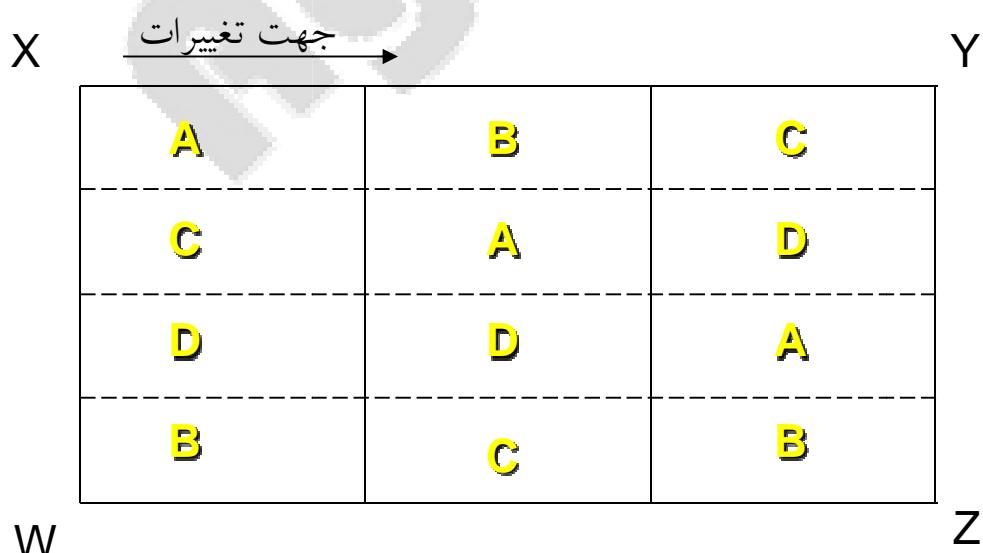
۱- چون جهت تغییرات از xw به طرف yz است \leftarrow به تعداد تکرارها بلوک تشکیل می‌دهیم



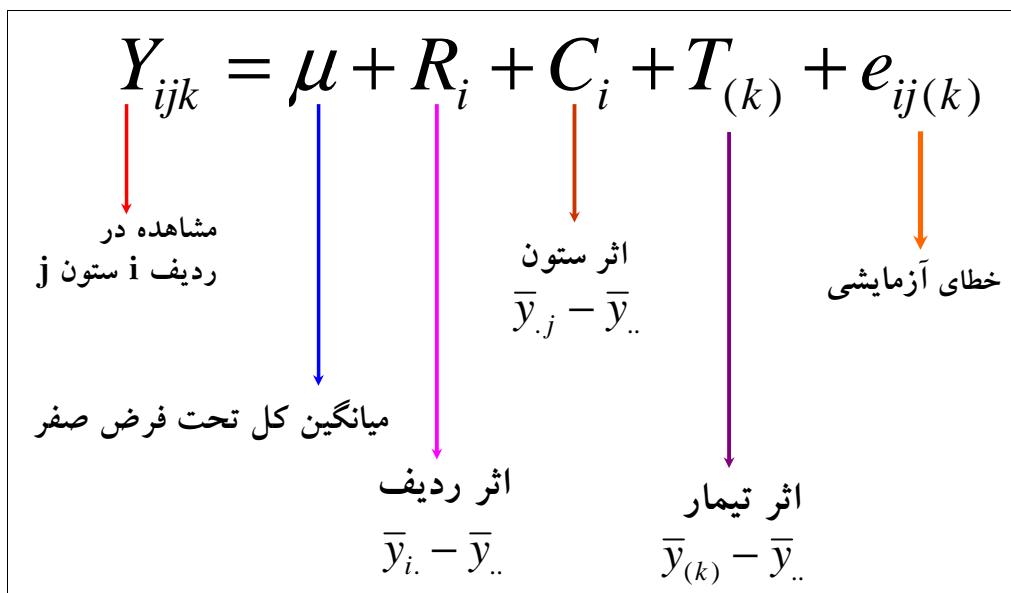
۲- هر بلوک به اندازه تعداد تیمارها تقسیم بندی می‌شود و هر قطعه یک واحد آزمایشی را تشکیل می‌دهد.



۳- تیمارها در هر بلوک بصورت جداگانه به واحدهای آزمایش انتساب می‌شود



مدل آماری طرح LS:



جدول تجزیه واریانس

SS	df	SOV
کاربردی $\sum \frac{y_{i.}^r}{r} - \frac{(y_{..})^r}{r^r}$	$r - 1$	ردیف
نظری $r \sum (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^r$		
$\sum \frac{y_{.j}^r}{r} - \frac{(y_{..})^r}{r^r}$	$r - 1$	ستون
$r \sum (\bar{y}_{.j} - \bar{y}_{..})^r$		
$\sum \frac{y_{(k)}^r}{r} - \frac{(y_{..})^r}{r^r}$	$r - 1$	تیمار
$r \sum (\bar{y}_{(k)} - \bar{y}_{..})^r$		
$SST - SS_R - SS_C - SS_t$	$(r-1)(r-2)$	خطا
$\sum (y_{ij(k)} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{.j} - \bar{y}_{(k)} + 2\bar{y}_{..})^r$		
$\sum y_{ij(k)}^r - \frac{(y_{..})^r}{r^r}$	$r^2 - 1$	کل
$\sum (\bar{y}_{ij(k)} - \bar{y}_{..})^r$		

جدول جمع تیمار:

		A		
		a_1	a_2	Σ
		b_1	b_2	
Σ	b_1	۶۶/۳۹	۱۸۲/۶۷	۲۴۹/۰۶
	b_2	۹۶/۸	۱۳۹/۰۶	۲۳۵/۸۶
		۱۶۳/۱۹	۳۲۱/۷۳	۲۴۹/۰۶
		جمع کل		

محاسبه SS از طریق ضرایب

تیمارها	(1) $a_1 b_1$ (a) $a_1 b_2$ (b) $a_2 b_1$ (ab) $a_2 b_2$				Q $\sum Ci Ti$	Kr $r \sum Ci$	$SSQ = \frac{Q}{Kr}$
	جمع تیمارها	۶۶/۳۹	۱۸۲/۶۷	۹۶/۸	۱۳۹/۰۶		
A	-1	+1	-1	+1	۱۵۸/۵۴	۲۰	۱۲۵۶/۷۵
B	-1	-1	+1	+1	۱۳/۲	۲۰	۸/۷۱
AB	+1	-1	-1	+1	-۷۴/۲	۲۰	۲۷۳/۹۵

مرحله اول : محاسبات معمول بر اساس طرح پایه

$$CF = \frac{(\sum x_{ijk})^r}{abr} = \frac{(484/92)^r}{2 \times 2 \times 5} = 11757/37$$

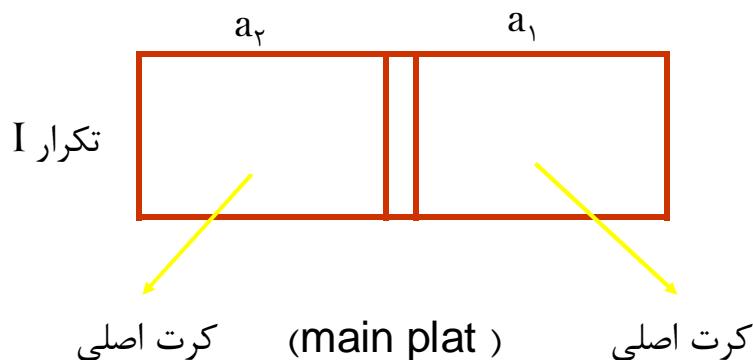
$$SST = \sum x_{ijk}^r - CF = 8/53^r + \dots + 40/2^r - CF = 1919/22$$

تعداد تیمار	df	درجه متعامد	ضرایب					
۲	۱	خطی (L)	-۱			+۱		
۳	۲	خطی (L) درجہ دوم	-۱ +۱	۰ -۲		+۱ +۱		
۴	۳	خطی درجہ دوم درجہ سوم	-۳ +۱ -۱	-۱ -۱ +۳	+۱ -۱ -۳	+۳ +۱ +۱		
۵	۴	خطی درجہ دوم درجہ سوم درجہ چہارم	-۲ +۲ -۱ +۱	-۱ -۱ +۲ -۴	۰ -۲ ۰ +۷	+۱ -۱ -۲ -۴	+۲ +۲ +۱ +۱	
۶	۵	خطی درجہ دوم درجہ سوم درجہ چہارم	-۵ +۵ -۵ +۱	-۳ -۱ +۷ -۳	-۱ -۴ +۴ +۲	+۱ -۴ -۴ +۲	+۳ -۱ -۷ -۳	+۵ +۵ +۵ +۱

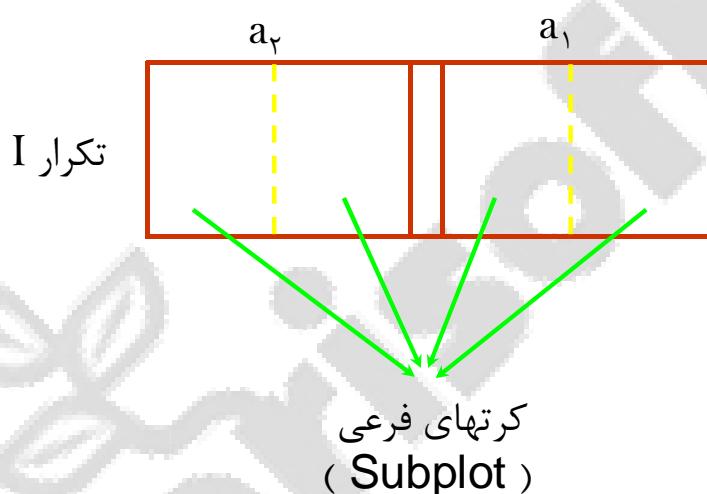
مجموع تیمار اثرات	df										$\sum C_i T_i$	$\sum C_i^r$	SS_Q
		P.K.	P.K ₁	P.K _r	P.K _{1r}	P.K _{r1}	P.K ₁₁	P.K _{rr}	P.K _{1r1}	P.K _{r1r}			
P:	۱												
PL	۱	-۱	-۱	-۱	-۱	+۱	+۱	+۱	+۱	+۱	۲۵۶	0×8	۱۶۳۸/۴
K:	۲												
KL	۱	-۳	-۱	+۱	+۳	-۳	-۱	+۱	+۳	۶۶۴	0×4		
Kq	۱	+۱	-۱	-۱	+۱	+۱	-۱	-۱	+۱	۱۱۲	0×8	۳۱۳/۶	
Kc	۱	-۱	+۳	-۳	+۱	-۱	+۳	-۳	+۱	۸	0×4	۰/۳۲	
Kp:	۲												
K _L P _L	۱	+۳	+۱	-۱	-۳	-۳	-۱	+۱	+۳	-۲۴	0×4	۲/۸۸	
K _q P _L	۱	-۱	+۱	+۱	-۱	+۱	-۱	-۱	+۱	۸	0×8	۱/۶	
K _c P _L	۱	+۱	-۳	+۳	-۱	-۱	+۳	-۳	+۱	-۲۸	۲۰۰	۳/۹۲	

ولی در طرح کرتهای خرد شده :

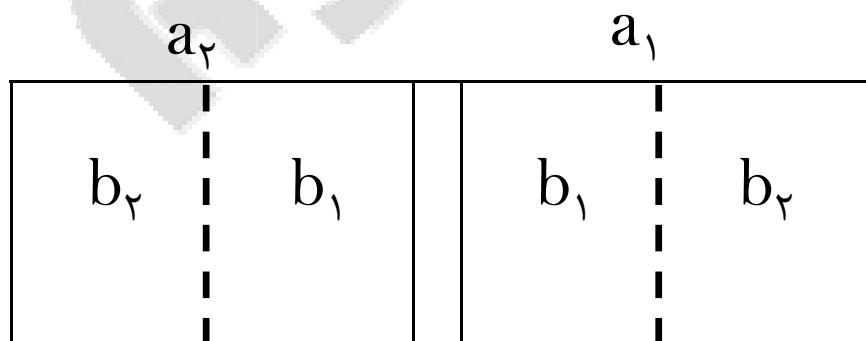
- ۱- هر تکرار ابتدا بر اساس سطوح یک عامل تقسیم بندی می‌شود و کرتهای اصلی بوجود می‌آیند وسطوح آن عامل به صورت کاملاً تصادفی به کرتهای اصلی تعلق می‌گیرند.



- ۲- هر کرت اصلی بر اساس سطوح عامل دوم تقسیم بندی می‌شود و کرتهای فرعی بوجود می‌آیند.



- ۳- سطوح عامل دوم به صورت کاملاً تصادفی به کرتهای فرعی هر کرت اصلی تعلق می‌گیرد.



نکته: در طرح کرتهای خرد شده کرتهای اصلی می‌توانند بر پایه CRD، RCBD و یا LS قرار گیرند

بر همین اساس جدول تجزیه واریانس طرح کرتهای خرد شده به سه شکل خواهد بود