
ניסויים פקטוריאליים חלקיים

עם גורמים ב-2 רמות

ניסויים מסוג 2^{k-p}

~~אם יש מספר רב של גורמים, ניסוי פקטוריאלי מלא~~
הופך להיות גדול ויקר.

ניסויים חלקיים מאפשרים לחקור k גורמים בניסוי
יותר קטן וחסכוני.

המטרה: לבחור חלק מנקודות הניסוי האפשריים
בצורה שתשמור על האיזון של הניסוי המלא.

דוגמה: השפעה של 5 גורמים על הביצועים של תהליך כימי

שם הניסוי	תהליך עם ריאקציה כימית
מטרה	שיפור הביצועים
משתנה תגובה	אחוז החומר העובר ראיקציה
גורמים	קצב זרימה, זרז, עירבול, טמפ', ריכוז
רמות הגורמים	2 רמות לכל גורם
צרופים	32 (2^5)
גודל המדגם	הפעלה אחת בכל צירוף
לוגיסטיקה	ביצוע בסדר אקראי
הערות	

תוצאות הניסוי (CO=3)

FR	Ca	AR	Te	Co	Y
	t				
10	1	100	140	3	61
15	1	100	140	3	53
10	2	100	140	3	63
15	2	100	140	3	61
10	1	120	140	3	53
15	1	120	140	3	56
10	2	120	140	3	54
15	2	120	140	3	61

FR	Ca	AR	Te	Co	Y
	t				
10	1	100	180	3	69
15	1	100	180	3	61
10	2	100	180	3	94
15	2	100	180	3	93
10	1	120	180	3	66
15	1	120	180	3	60
10	2	120	180	3	95
15	2	120	180	3	98

תוצאות הניסוי (CO=6)

FR	Ca t	AR	Te	Co	Y
10	1	100	140	6	56
15	1	100	140	6	63
10	2	100	140	6	70
15	2	100	140	6	65
10	1	120	140	6	59
15	1	120	140	6	55
10	2	120	140	6	67
15	2	120	140	6	65

FR	Ca t	AR	Te	Co	Y
10	1	100	180	6	44
15	1	100	180	6	45
10	2	100	180	6	78
15	2	100	180	6	77
10	1	120	180	6	49
15	1	120	180	6	42
10	2	120	180	6	81
15	2	120	180	6	82

TABLE 12.1a. Results from 2⁵ factorial design, reactor example

		variable					-	+
1	feed rate (liters/min)	10	15					
2	catalyst (%)	1	2					
3	agitation rate (rpm)	100	120					
4	temperature (°C)	140	180					
5	concentration (%)	3	6					

run	variable					response (% reacted) y
	1	2	3	4	5	
1	-	-	-	-	-	61
*2	+	-	-	-	-	53
*3	-	+	-	-	-	63
4	+	+	-	-	-	61
*5	-	-	+	-	-	53
6	+	-	+	-	-	56
7	-	+	+	-	-	54
*8	+	+	+	-	-	61
*9	-	-	-	+	-	69
10	+	-	-	+	-	61
11	-	+	-	+	-	94
12	+	+	-	+	-	93
13	-	-	+	+	-	66
*14	+	-	+	+	-	60
*15	-	+	+	+	-	95
16	+	+	+	+	-	98
*17	-	-	-	-	+	56
18	+	-	-	-	+	63
19	-	+	-	-	+	70
*20	+	+	-	-	+	65
21	-	-	+	-	+	59
*22	+	-	+	-	+	55
*23	-	+	+	-	+	67
24	+	+	+	-	+	65
25	-	-	-	+	+	44
*26	+	-	-	+	+	45
*27	-	+	-	+	+	78
28	+	+	-	+	+	77
*29	-	-	+	+	+	49
30	+	-	+	+	+	42
31	-	+	+	+	+	81
*32	+	+	+	+	+	82

Handwritten notes in Arabic script, possibly describing the experimental setup or results.

HA LF-
FACTORIAL

$$\frac{1}{2} 2^5 =$$

$$= 2^0 \cdot 2^5$$

$$= 2^{5-1}$$

ניתוח הניסוי המקורי ב-R

```
attach(reactor)
```

```
FR <- (Feed.Rate-12.5)/2.5
```

```
Ca <- (Catalyst-1.5)/0.5
```

```
AR <- (Agit.Rate-110)/10
```

```
Te <- (Temp-160)/20
```

```
Co <- (Conc-4.5)/1.5
```

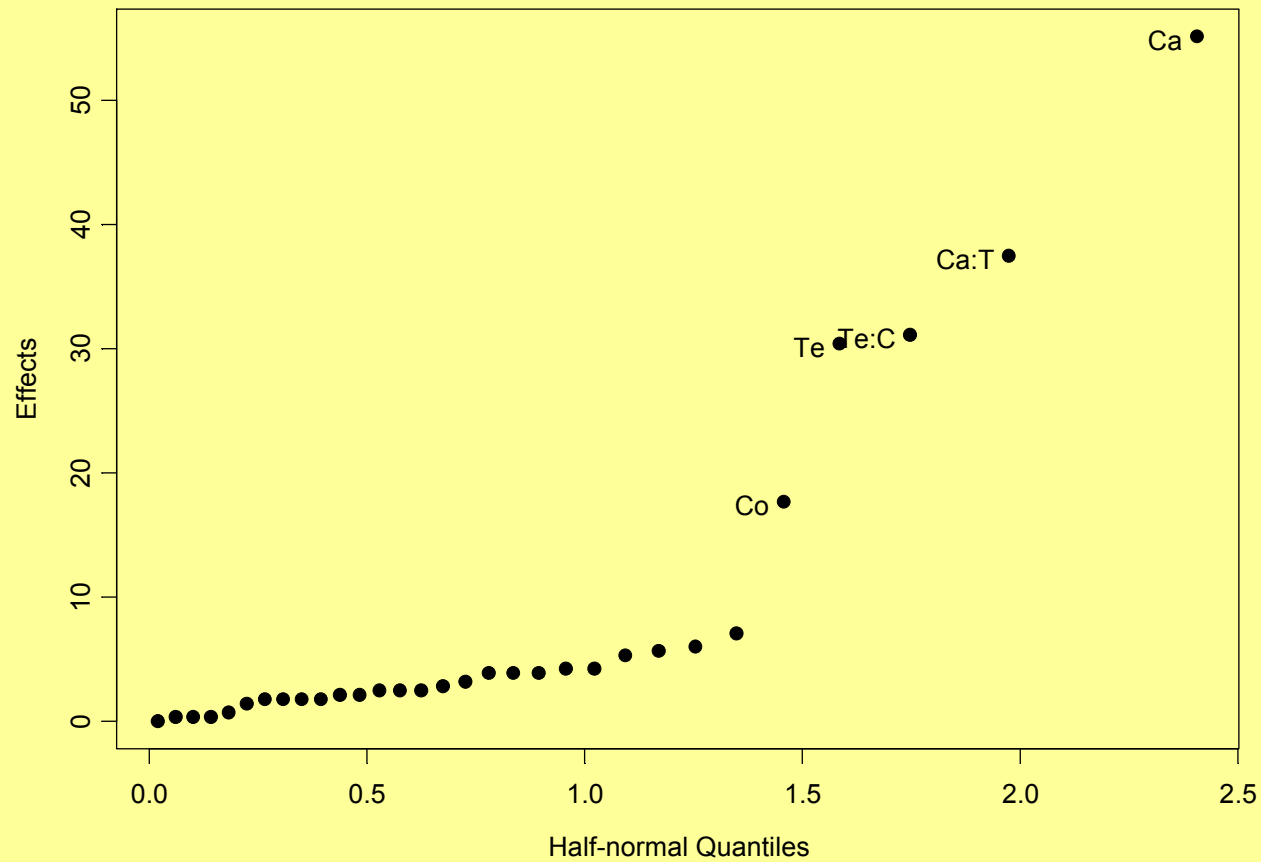
```
fit.1 <- lm(Pct.React ~ FR*Ca*AR*Te*Co)
```

```
summary(fit.1)
```

```
hnorm <- qnorm(seq(0.5+1/124,0.5+61/124,1/62),0,1)
```

```
plot(hnorm,sort(abs(fit.1$coef[2:32])),ylab="Effects")
```

תרשים הסתברות "חצי נורמלי" מספק מבט גרפי מהיר
שמצביע על ההשפעות החשובות ביותר.



פלט מניתוח של מודל עם השפעות עיקריות ואנטראקציות זוגיות.

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	65.5000	0.5660	115.7322	0.0000
FR	-0.6875	0.5660	-1.2147	0.2421
Ca	9.7500	0.5660	17.2273	0.0000
AR	-0.3125	0.5660	-0.5522	0.5885
Te	5.3750	0.5660	9.4971	0.0000
Co	-3.1250	0.5660	-5.5216	0.0000
FR:Ca	0.6875	0.5660	1.2147	0.2421
FR:AR	0.3750	0.5660	0.6626	0.5170
FR:Te	-0.4375	0.5660	-0.7730	0.4508
FR:Co	0.0625	0.5660	0.1104	0.9134
Ca:AR	0.4375	0.5660	0.7730	0.4508
Ca:Te	6.6250	0.5660	11.7057	0.0000
Ca:Co	1.0000	0.5660	1.7669	0.0963
AR:Te	1.0625	0.5660	1.8773	0.0788
AR:Co	0.4375	0.5660	0.7730	0.4508
Te:Co	-5.5000	0.5660	-9.7180	0.0000

Residual standard error: 3.202 on 16 degrees of freedom

דיון על תוצאות ניסויים
 א. אנוני, ב. אנוני, ג. אנוני - 17

2, 4, 5, 24, 45

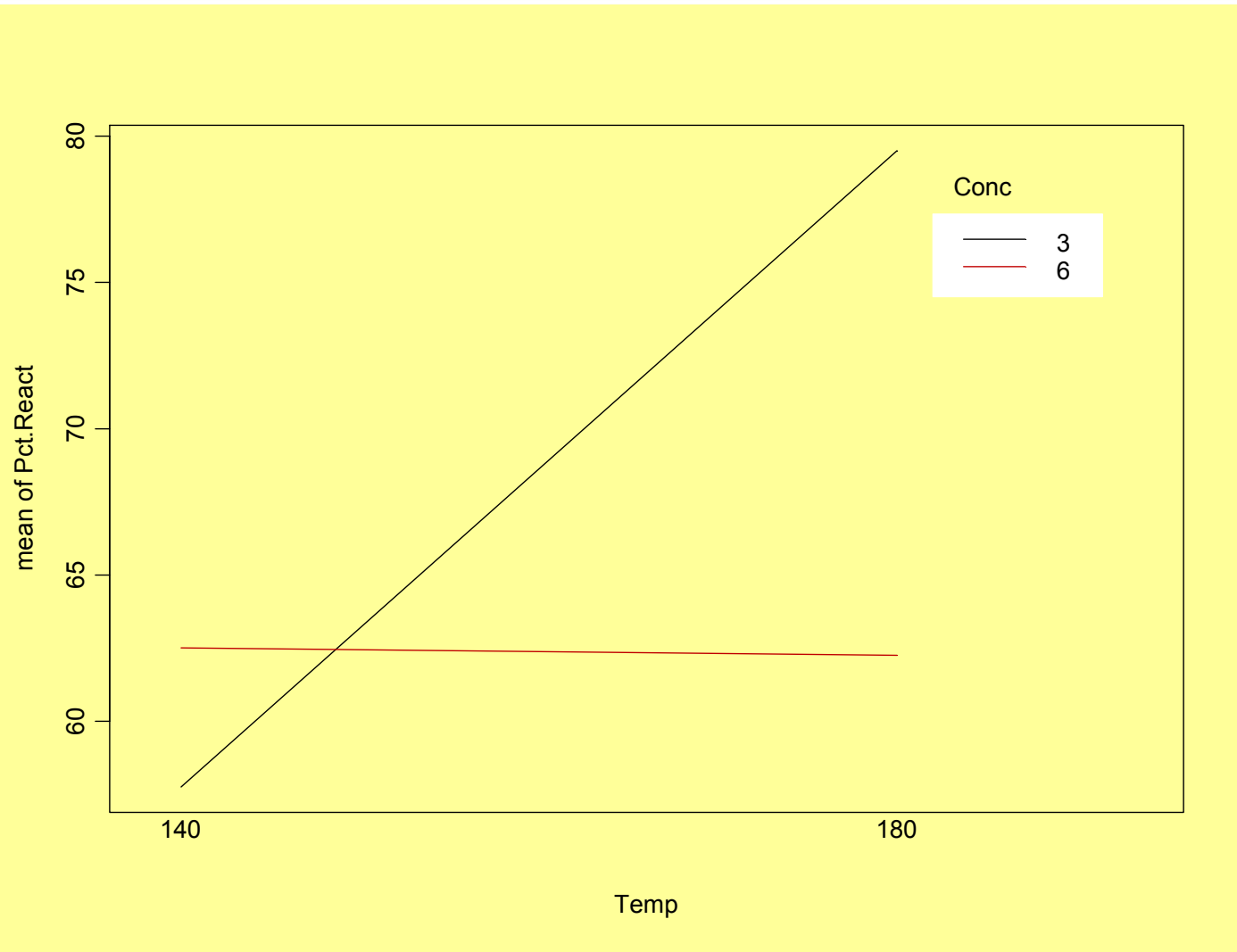
פירוש נתונים

FRACTIONAL FACTORIAL DESIGNS AT TWO LEVELS

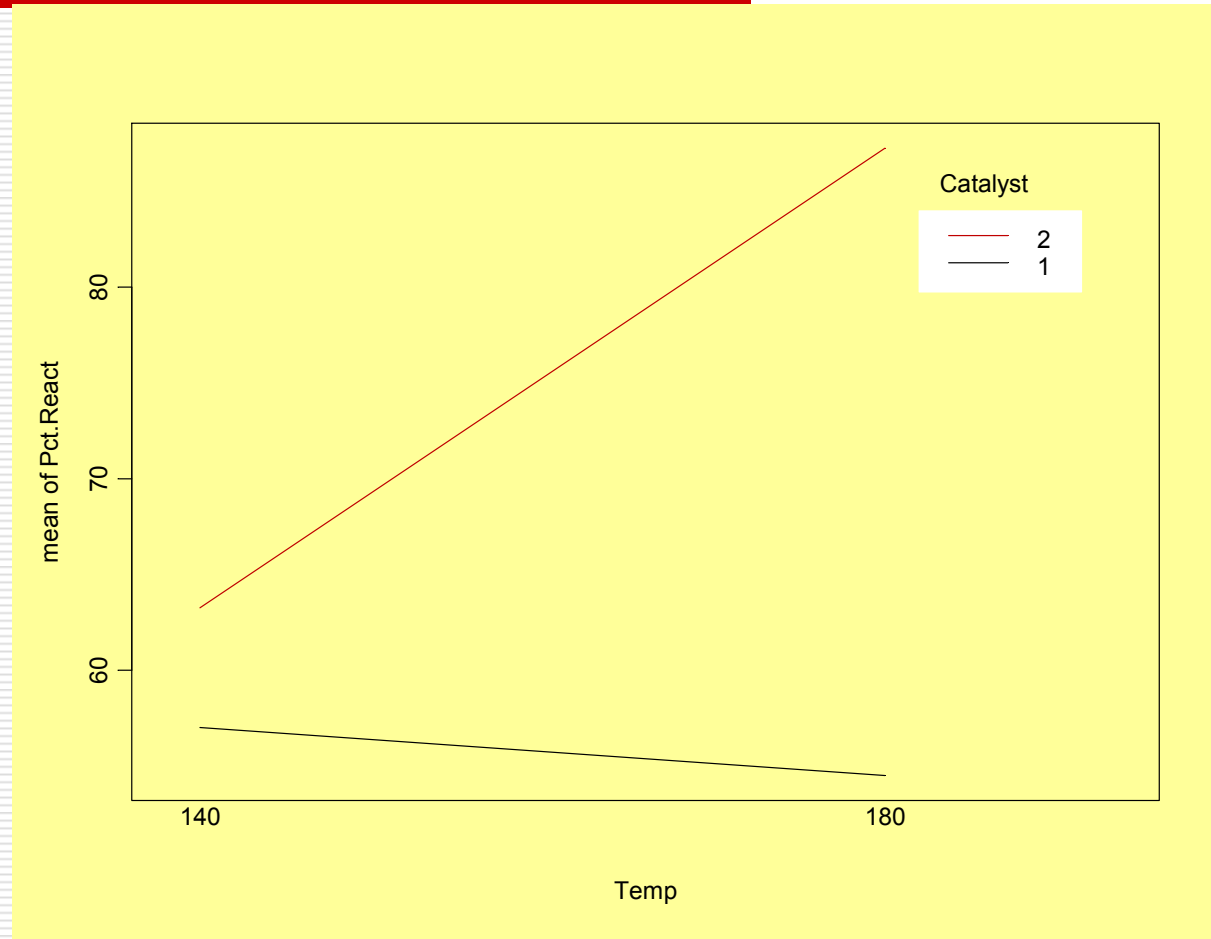
TABLE 12.1b. Analysis of 2^5 factorial design, reactor example

estimates of effects	
average = 65.5	
1 = -1.375	123 = 11.50
→ 2 = 19.5	124 = 1.375
3 = -0.625	125 = -1.875
→ 4 = 10.75	134 = -0.75
→ 5 = -6.25	135 = -2.50
	145 = 0.625
12 = 1.375	235 = 0.125
13 = 0.75	234 = 1.125
14 = 0.875	245 = -0.250
15 = 0.125	345 = 0.125
23 = 0.875	
→ 24 = 13.25	1234 = 0.0
25 = 2.0	1245 = 0.625
34 = 2.125	2345 = -0.625
35 = 0.875	1235 = 1.5
→ 45 = -11.0	1345 = 1.0
	12345 = -0.25

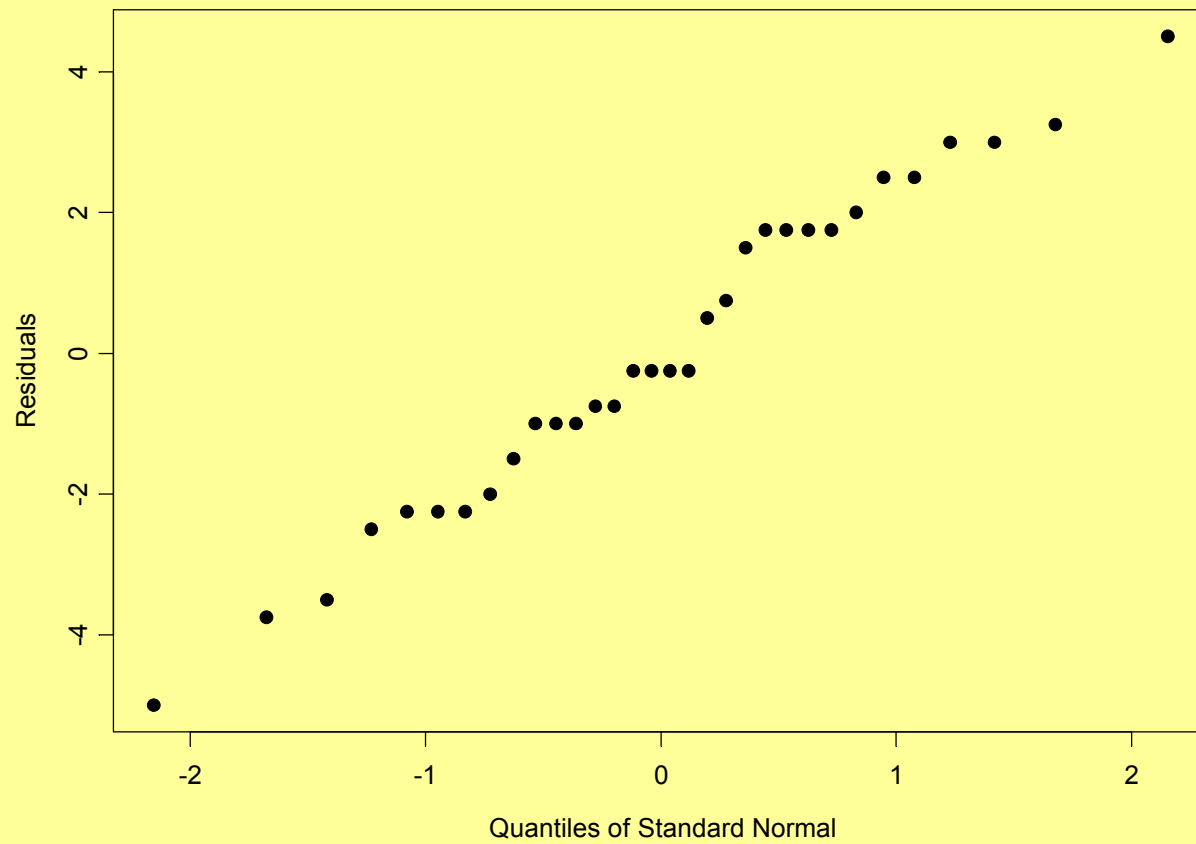
מבט גרפי על האינטראקציה בין טמפרטורה והריכוז



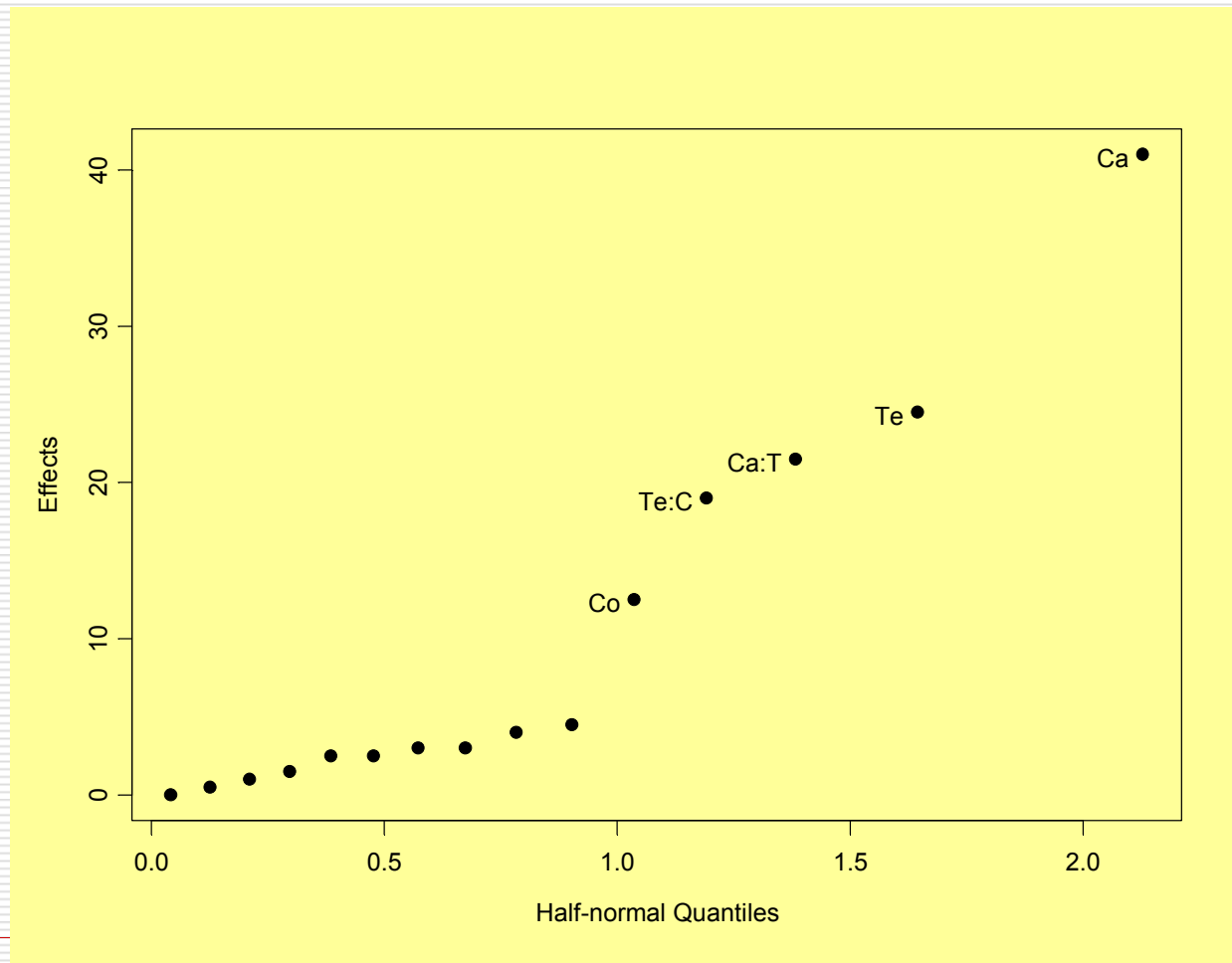
מבט גרפי על האינטראקציה בין טמפרטורה והזרז



תרשים הסתברות נורמלית של השאריות מן המודל הסטטיסטי.



תרשים הסתברות "חצי נורמלי" המבוסס על קבוצה
נבחרת של 16 תצפיות בלבד.



פלט מניתוח של מודל עם השפעות עיקריות ואנטראקציות זוגיות.

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	65.250	NA	NA	NA
FR	-1.000	NA	NA	NA
Ca	10.250	NA	NA	NA
AR	0.000	NA	NA	NA
Te	6.125	NA	NA	NA
Co	-3.125	NA	NA	NA
FR:Ca	0.750	NA	NA	NA
FR:AR	0.250	NA	NA	NA
FR:Te	-0.375	NA	NA	NA
FR:Co	0.625	NA	NA	NA
Ca:AR	0.750	NA	NA	NA
Ca:Te	5.375	NA	NA	NA
Ca:Co	0.625	NA	NA	NA
AR:Te	0.125	NA	NA	NA
AR:Co	1.125	NA	NA	NA
Te:Co	-4.750	NA	NA	NA

Residual standard error: NA on 0 degrees of freedom

TABLE 12.2 Analysis of a half-fraction of the full 2^5 design: a 2^{5-1} fractional factorial design, reactor example

		variable																	
				-	+														
				1	feed rate (liters/min)	10	15												
				2	catalyst (%)	1	2												
				3	agitation rate (rpm)	100	120												
				4	temperature (°C)	140	180												
				5	concentration (%)	3	6												
		design																	
run	1	2	3	4	5	12	13	14	15	23	24	25	34	35	45	response (% reacted) y			
17	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	56			
2	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	53			
3	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	63			
20	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	65			
5	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	53			
22	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	55			
23	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	67			
8	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	61			
9	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	69			
26	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	45			
27	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	78			
12	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	93			
29	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	49			
14	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	60			
15	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	95			
32	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	82			

estimates of effects
(assuming that three-factor and higher order interactions are negligible)

average	=	65.25	12	=	1.5
1	=	-2.0	13	=	0.5
2	=	20.5	14	=	-0.75
3	=	0.0	15	=	1.25
4	=	12.25	23	=	1.50
5	=	-6.25	24	=	10.75
			25	=	1.25
			34	=	0.25
			35	=	2.25

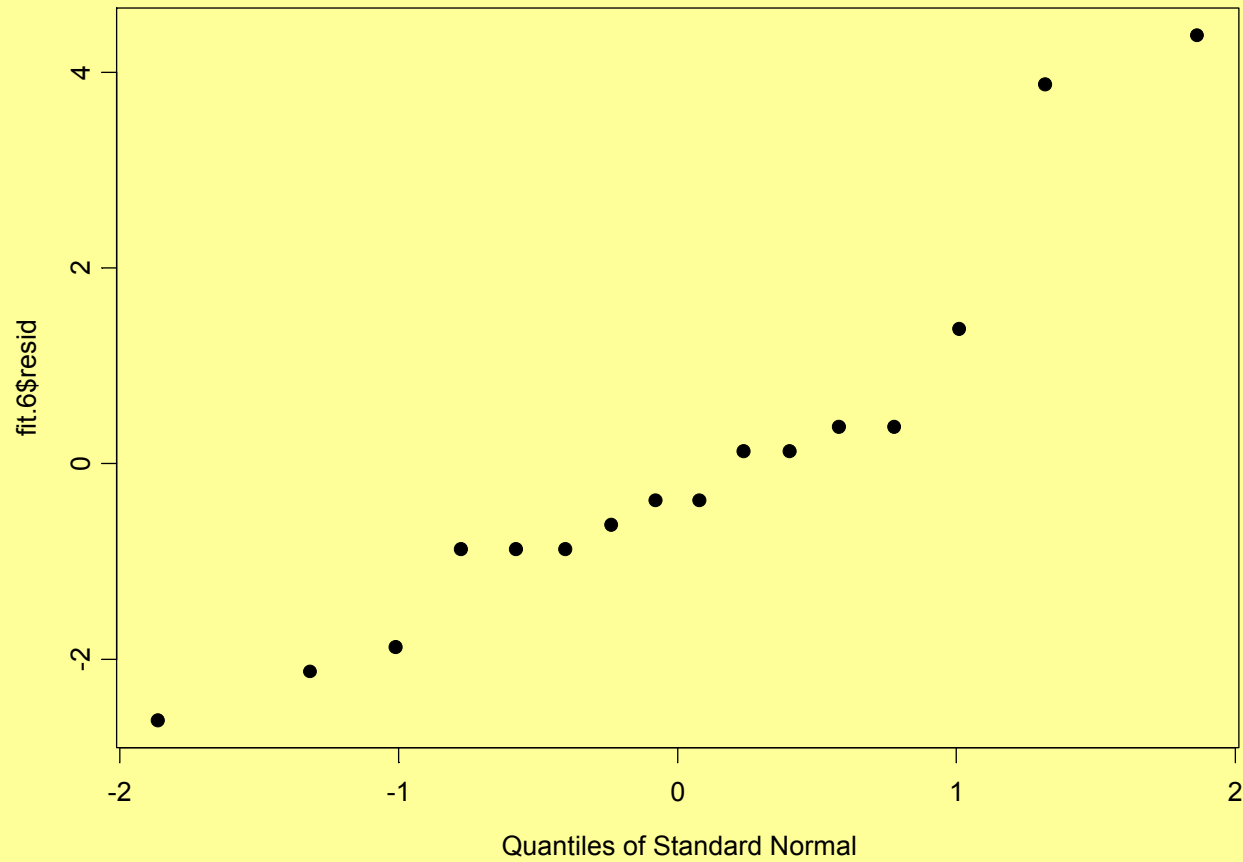
פלט נוסף מניתוח נוסף עם השפעות עיקריות ושתי האנטראקציות הזוגיות המשמעותיות.

	t value	Pr(> t)	Value	Std. Error
(Intercept)	65.2500	0.6510	100.2272	0.0000
Te	6.1250	0.6510	9.4083	0.0000
Ca	10.2500	0.6510	15.7445	0.0000
Co	-3.1250	0.6510	-4.8002	0.0014
FR	-1.0000	0.6510	-1.5360	0.1631
AR	0.0000	0.6510	0.0000	1.0000
Te:Ca	5.3750	0.6510	8.2563	0.0000
Te:Co	-4.7500	0.6510	-7.2962	0.0001

Residual standard error: 2.604 on 8 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9837

תרשים הסתברות נורמלית של השאריות מן המודל הסטטיסטי.



איך נבחרו 16 התצפיות לניסוי החלקי??

נבחרו כל אותן תצפיות עבורן $ABCDE = 1$.

בתצפיות אלו, $ABCD = E$.

לכן, תיאור נוסף הוא כך:

A, B, C ו-D נקבעים כמו בניסוי עם 4 גורמים ו-16 נקודות ניסוי.

אחר כך, E נקבע לפי התור של ABCD.

מספר שאלות נחוצות.

למה לקבוע את E לפי הטור ABCD ולא טור אחר?

מה קורה עם יש אנטראקציה בין A, B, C ו-D?

מה לגבי שאר האנטראקציות המרובעות?

מה לגבי האנטראקציות המשולשות?

המרשם הכללי לבניית ניסוי מסוג 2^{k-p} .

1. לחשב את $2^{k-p} = n$.

2. לקבוע את $k-p$ הגורמים הראשונים לפי הטורים של ההשפעות העיקריות בניסוי פקטוריאלי מלא עם n נקודות ניסוי.

3. לקבוע את p הגורמים הנותרים בהתאם לאחד הטורים של אנטראקציות בטבלת הסימנים לניסוי פקטוריאלי מלא עם n נקודות ניסוי.

הצבקה להקצרה
הנחיה והפועל שלי החלק

1. הנחה של אינטקציה מסדר גבוה
על עניין

2. הנחה קטלוגית של ו-אקו
אקדמיים הנחה קטלוגית מלא אזור
של ה-א-אקדמיים

← אקדמיים (או ילד) מהאקדמיים
הלא אקדמיים

יש הנחה קטלוגית מלא קטן
האקדמיים

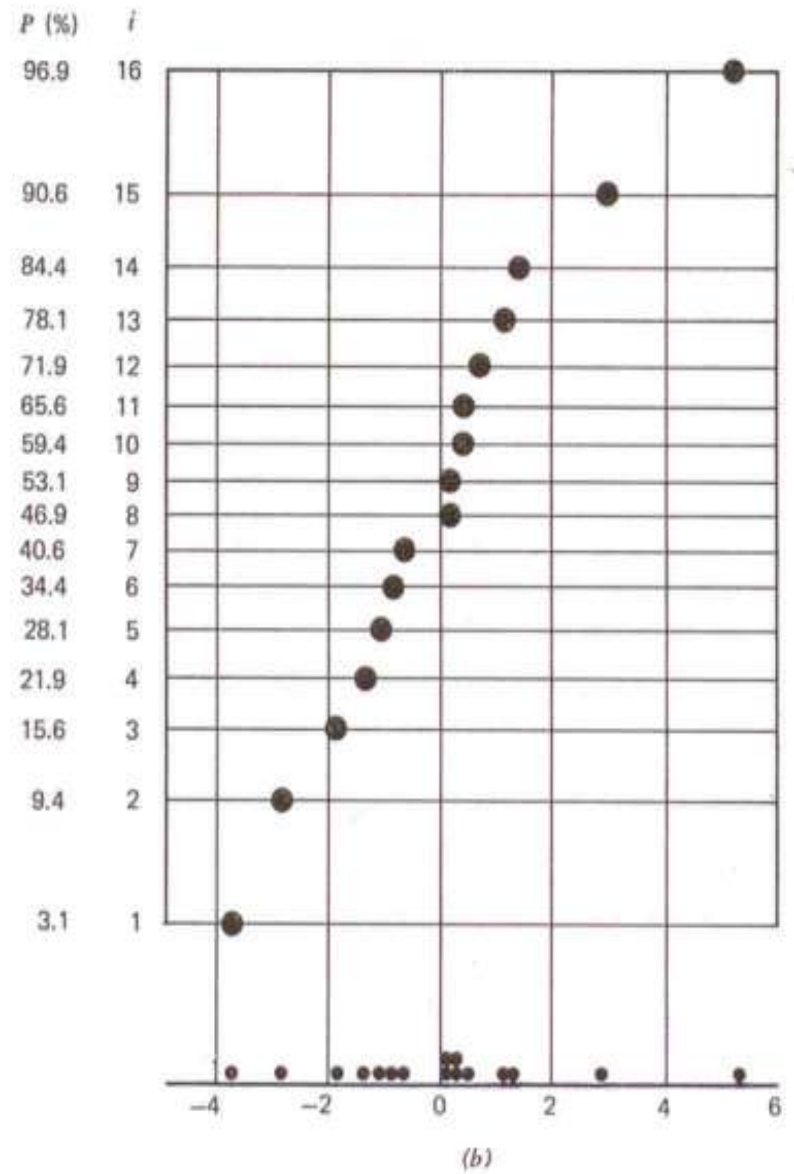
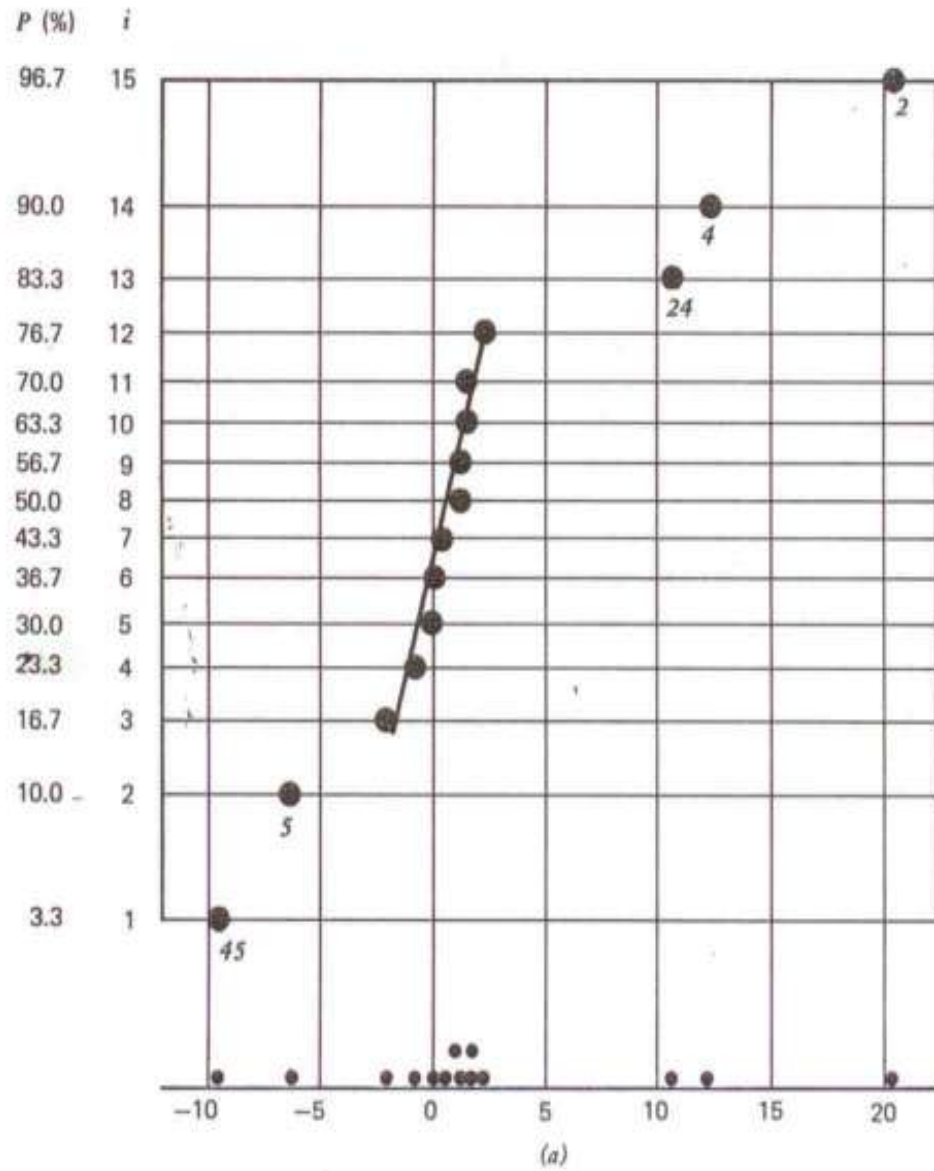


FIGURE 12.2. Normal plot of (a) effects and (b) residuals after eliminating 2, 4, 5, 24, and 45 from 2^{5-1} fractional factorial design, reactor example.

דחיקת 16 ההרכבות הנ"ל
 פעולות חלקי

1. נ"ל פעולות אלו דחיקות
 1, 2, 3, 4

2. כאלו של אלו חלקי הסתמים
 1234 חלקי הסתמים
 והנה את הנ"ל סומך
 $5 = 1234$

צ"ל אלו של חלקי הסתמים

$$123 = \begin{pmatrix} - & + & + & - & + & - & - & + & - & + & + & - & + & - & - & + \end{pmatrix}$$

$$45 = \begin{pmatrix} - & + & + & - & + & - & - & + & - & + & + & - & + & - & - & + \end{pmatrix}$$

$$e_{45} = \frac{1}{8} (-56 + 53 + 63 - 65 + 53 - \dots) = -9.5$$

$$e_{45} = 45 + 123$$

TABLE 12.3. Confounding pattern and estimates from 2^{5-1} design of Table 12.2

relationship between column pairs	confounding pattern	estimate
1 = 2345	$l_1 \rightarrow 1 + 2345$	$l_1 = -2.0$
2 = 1345	$l_2 \rightarrow 2 + 1345$	$l_2 = 20.5$
3 = 1245	$l_3 \rightarrow 3 + 1245$	$l_3 = 0.0$
4 = 1235	$l_4 \rightarrow 4 + 1235$	$l_4 = 12.25$
5 = 1234	$l_5 \rightarrow 5 + 1234$	$l_5 = -6.25$
12 = 345	$l_{12} \rightarrow 12 + 345$	$l_{12} = 1.5$
13 = 245	$l_{13} \rightarrow 13 + 245$	$l_{13} = 0.5$
14 = 235	$l_{14} \rightarrow 14 + 235$	$l_{14} = -0.75$
15 = 234	$l_{15} \rightarrow 15 + 234$	$l_{15} = 1.25$
23 = 145	$l_{23} \rightarrow 23 + 145$	$l_{23} = 1.5$
24 = 135	$l_{24} \rightarrow 24 + 135$	$l_{24} = 10.75$
25 = 134	$l_{25} \rightarrow 25 + 134$	$l_{25} = 1.25$
34 = 125	$l_{34} \rightarrow 34 + 125$	$l_{34} = 0.25$
35 = 124	$l_{35} \rightarrow 35 + 124$	$l_{35} = 2.25$
45 = 123	$l_{45} \rightarrow 45 + 123$	$l_{45} = -9.50$
(I = 12345)	$[l_1 \rightarrow \text{average} + \frac{1}{2}(12345)]$	$(l_1 = 65.25)$

Exercise 12.2. As was done for columns 45 and 123, verify that columns 24 and 135 are identical. Verify the identity of the other column pairs in Table 12.3.

GENERATOR & DEFINING RELATION

$$5 = 1234 \iff \text{GENERATOR}$$

$$5^2 = 12345$$

$$\iff I = 12345 \iff \text{DEFINING RELATION}$$

מיון לפי מספר האותיות

5 = 1234 בל"ה

$$1 = 2345$$

$$2 = 1345$$

$$3 = 1245$$

$$4 = 1235$$

$$5 = 1234$$

$$12 = 345$$

⋮

$$45 = 123$$

$$I = 12345$$

$$e_1 = 1+2345 \quad e_1 = -2.0$$

⋮

$$e_i = \frac{1}{8} (\sum c_i y_i)$$

⋮

$$e_I = \frac{1}{16} (\sum c_i y_i)$$

$$e_I = (\text{Aver} + \frac{1}{2}(12345)) \quad e_I = 65.25$$

הצגת התוסף והקטלוג
 היחידה
 25-1
 23
 קטלוג והקטלוג
 רב לתוסף קטלוג

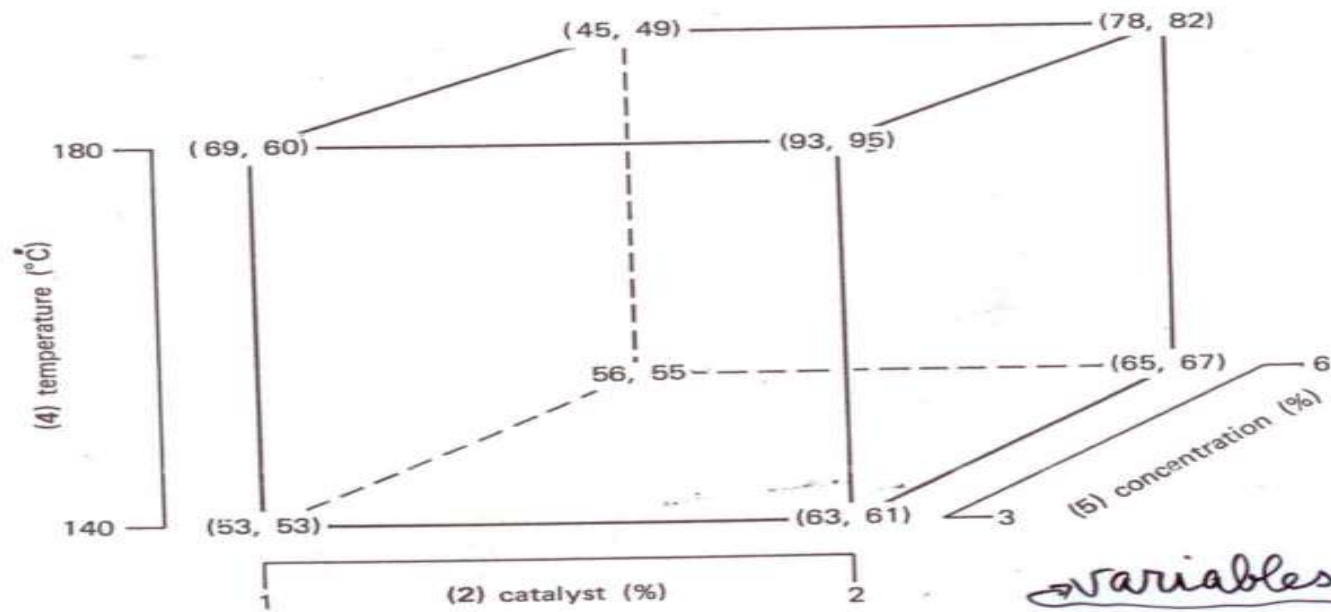


FIGURE 13.2 Data (% reacted) from a 2^{5-1} fraction, shown as replicated 2^3 factorial in

variables 2, 4, 5

דוגמה: השפעה של 5 גורמים על כנף של מטוס

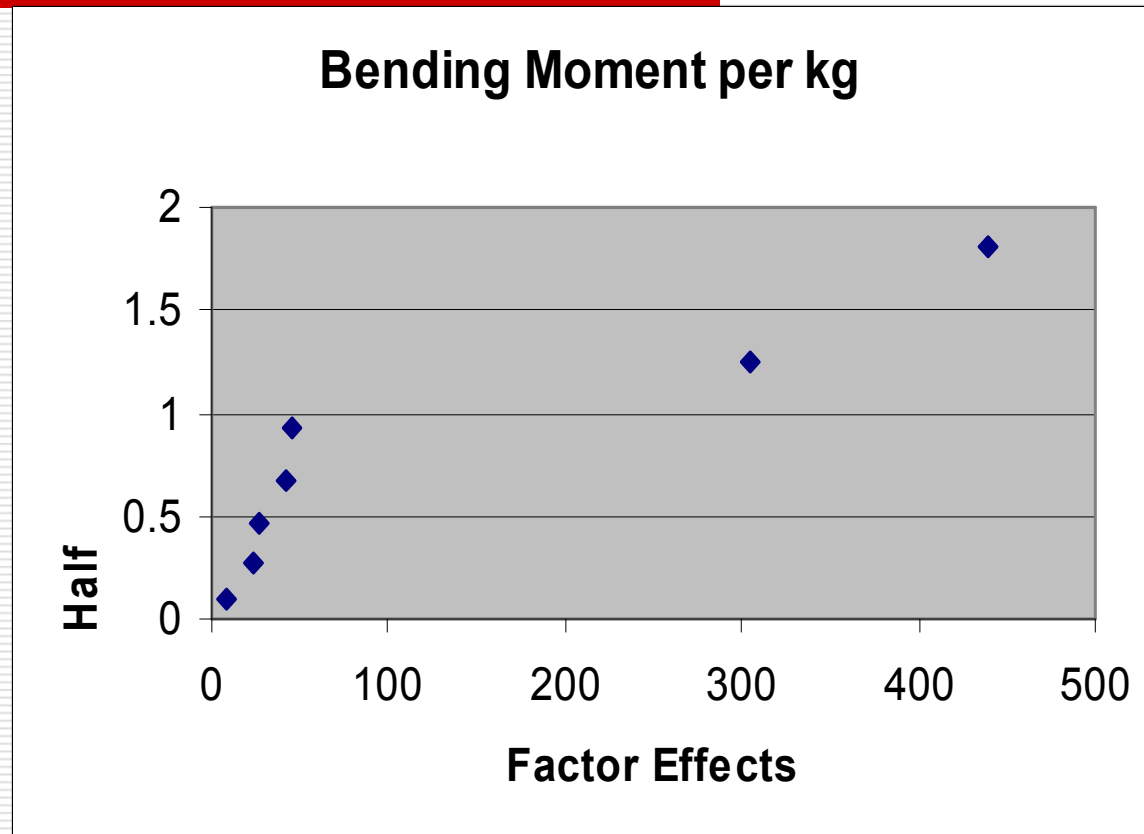
שם הניסוי	פיתוח מבנה קופסת פיתול כנף
מטרה	שיפור ביצועים, הורדת עלויות
משתנה תגובה	יעילות המבנה ועלות היעילות
גורמים	עובי, שני שטחים, מספר חיזוקים וחומר גלם
רמות הגורמים	2 רמות לכל גורם
צרופים	8 מתוך 32 ($2^5 - 2$)
גודל המדגם	חישוב אחד בכל צירוף
לוגיסטיקה	ארגון החישובים לכל צירוף בעזרת ציורי CAD
הערות	

עובי	שטח 2	חיזוקים	שטח 1	חומר	M/W	P/(M/W)
2.5	366	3	2000	א	182	52.4
4.5	366	3	900	ב	461	23.0
2.5	561	3	900	א	219	49.9
4.5	561	3	2000	ב	460	28.2
2.5	366	7	2000	ב	544	21.5
4.5	366	7	900	א	930	14.8
2.5	561	7	900	ב	645	24.3
4.5	561	7	2000	א	961	19.5

M/W מבטא מומנט כיפוף לק"ג, ביחידות של
MM.KG ל- M.KG מחולק ב- 1000.

P/(M/W) מבטא עלות ליחידת עלייה במומנט
כיפוף לק"ג ומחלק את המחיר של קופסת-הפיתול
על ידי המדד הקודם, כפול 1000.

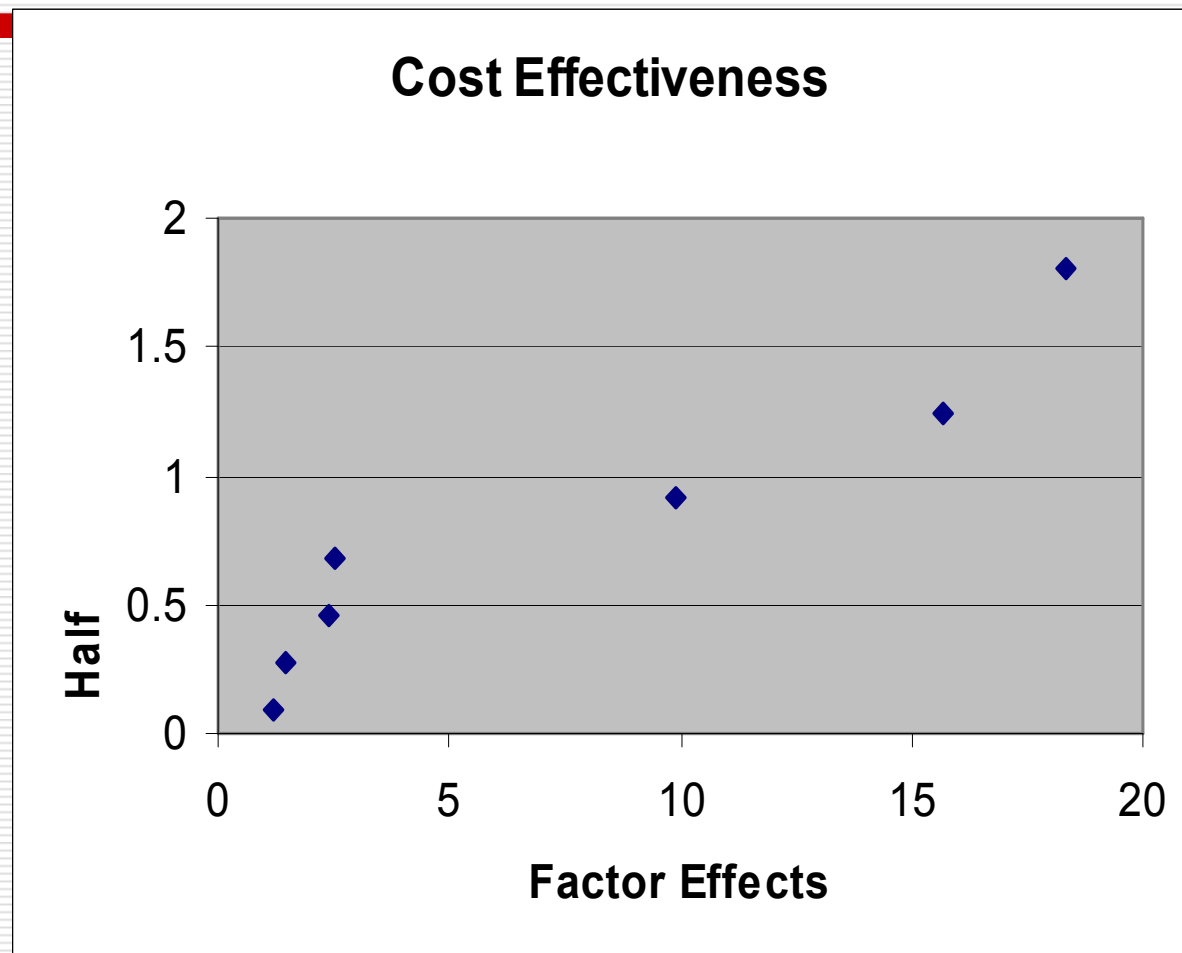
ניתוח גרפי של מומנט כיפוף לק"ג.



יש שתי השפעות בולטות:

- 1. השימוש ב-7 חיזוקים במקום 3 מעלה את המומנט לק"ג, בממוצע, ב-440.
- 2. השימוש בעובי 4.5 מ"מ במקום 2.5 מ"מ מעלה את המומנט לק"ג, בממוצע, ב-305.
- 3. לשאר הגורמים השפעות חלשות על המומנט לק"ג.

ניתוח גרפי של עלות - תועלת.



יש שלוש השפעות בולטות:

1. השימוש ב- 7 חיזוקים במקום 3 מוריד את העלות למומנט לק"ג, בממוצע, ב- \$18.4.
 2. השימוש בעובי 4.5 מ"מ במקום 2.5 מ"מ מוריד את העלות למומנט לק"ג, בממוצע, ב- \$15.7.
 3. השימוש בחומר אי במקום בי מעלה את העלות למומנט לק"ג, בממוצע, ב- \$9.9.
 4. לשאר הגורמים השפעות חלשות על העלות למומנט לק"ג.
-

דוגמה: השפעה של 5 גורמים על היבול של בוטנים מתהליך להוצאת שמנים מן הבוטנים.

שם הניסוי	הוצאת שמנים מבוטנים
מטרה	שיפור היבול
משתנה תגובה	יבול (באחוזים)
גורמים	בשקף הבא
רמות הגורמים	בשקף הבא
צרופים	16 מתוך 32 (2^{5-1})
גודל המדגם	אחד בכל נקודת ניסוי
לוגיסטיקה	
הערות	

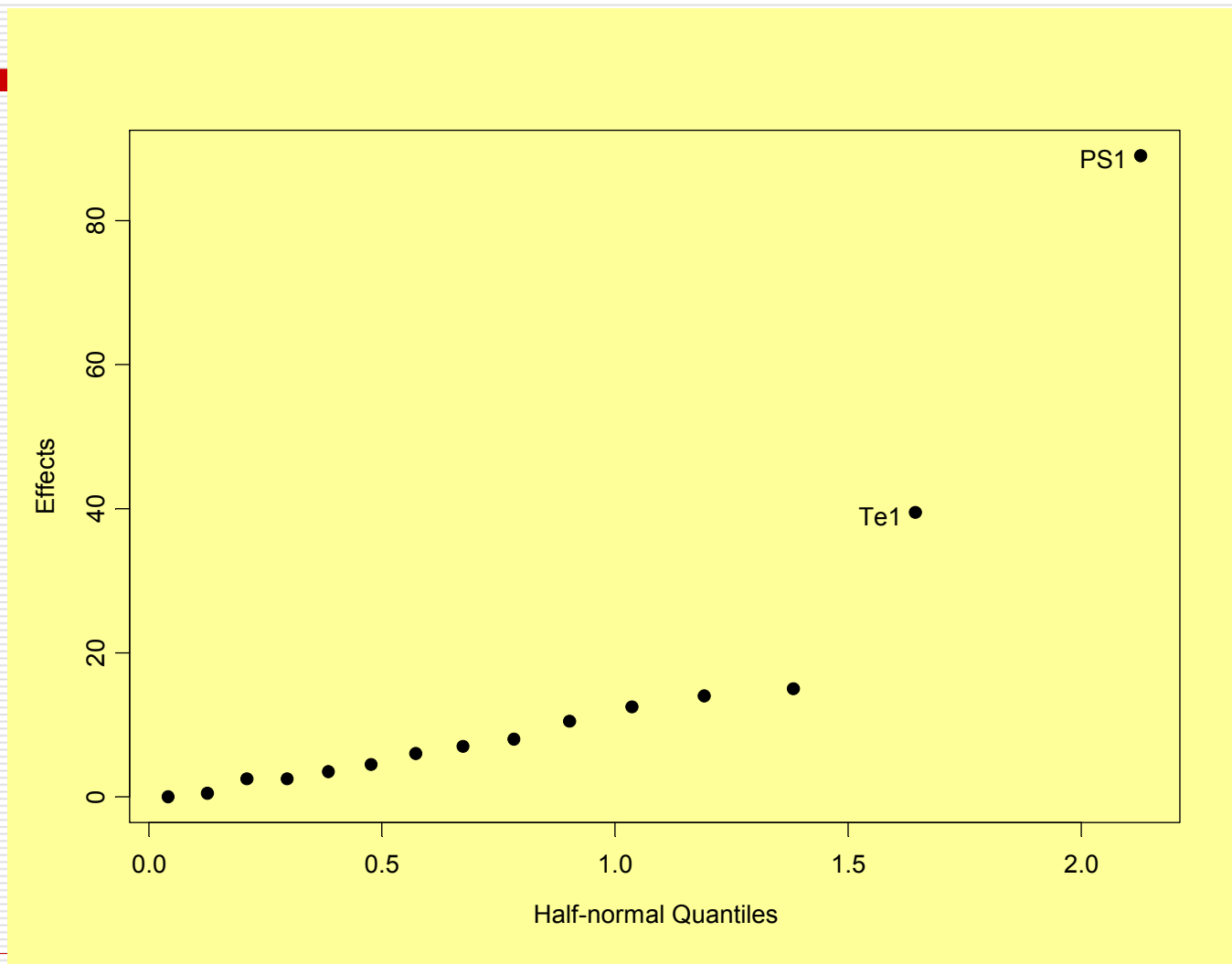
הגורמים והרמות שלהם.

גורם	רמה --	רמה +
לחץ (בברים)	415	550
טמפרטורה (במעלות C)	25	95
לחות הבוטנים (ב- %)	5	15
קצב זרימה (ליטר לדקה)	40	60
גודל ממוצע לחלקיקים (מ"מ)	1.28	4.05

תוצאות הניסוי

Pr	Te	Mo	FR	PS	Y	Pr	Te	Mo	FR	PS	Y
415	25	5	40	1.28	63	415	25	5	60	4.05	23
550	25	5	40	4.05	21	550	25	5	60	1.28	74
415	95	5	40	4.05	36	415	95	5	60	1.28	80
550	95	5	40	1.28	99	550	95	5	60	4.05	33
415	25	15	40	4.05	24	415	25	15	60	1.28	63
550	25	15	40	1.28	66	550	25	15	60	4.05	21
415	95	15	40	1.28	71	415	95	15	60	4.05	44
550	95	15	40	4.05	54	550	95	15	60	1.28	96

תרשים הסתברות חצי נורמלי של ההשפעות.



	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	54.250	NA	NA	NA
Pr1	3.750	NA	NA	NA
Te1	9.875	NA	NA	NA
M	0.625	NA	NA	NA
FR1	0.000	NA	NA	NA
PS1	-22.250	NA	NA	NA
Pr1:Te1	2.625	NA	NA	NA
Pr1:M	0.625	NA	NA	NA
Pr1:FR1	-2.000	NA	NA	NA
Pr1:PS1	-3.500	NA	NA	NA
Te1:M	1.500	NA	NA	NA
Te1:FR1	-0.875	NA	NA	NA
Te1:PS1	-0.125	NA	NA	NA
M:FR1	1.125	NA	NA	NA
M:PS1	3.125	NA	NA	NA
FR1:PS1	-1.750	NA	NA	NA

ניתוח לפי השיטה של Lenth.

$$s_0 = 2.63 \quad \text{PSE} = 2.25$$

$$t(0.05) = 2.16 \quad t(0.01) = 3.63 \quad t(0.001) = 6.54$$

PR	1.67	Interactions
Te	4.39	all less than 1.6
Mo	0.28	
FR	0.00	
PS	- 9.89	

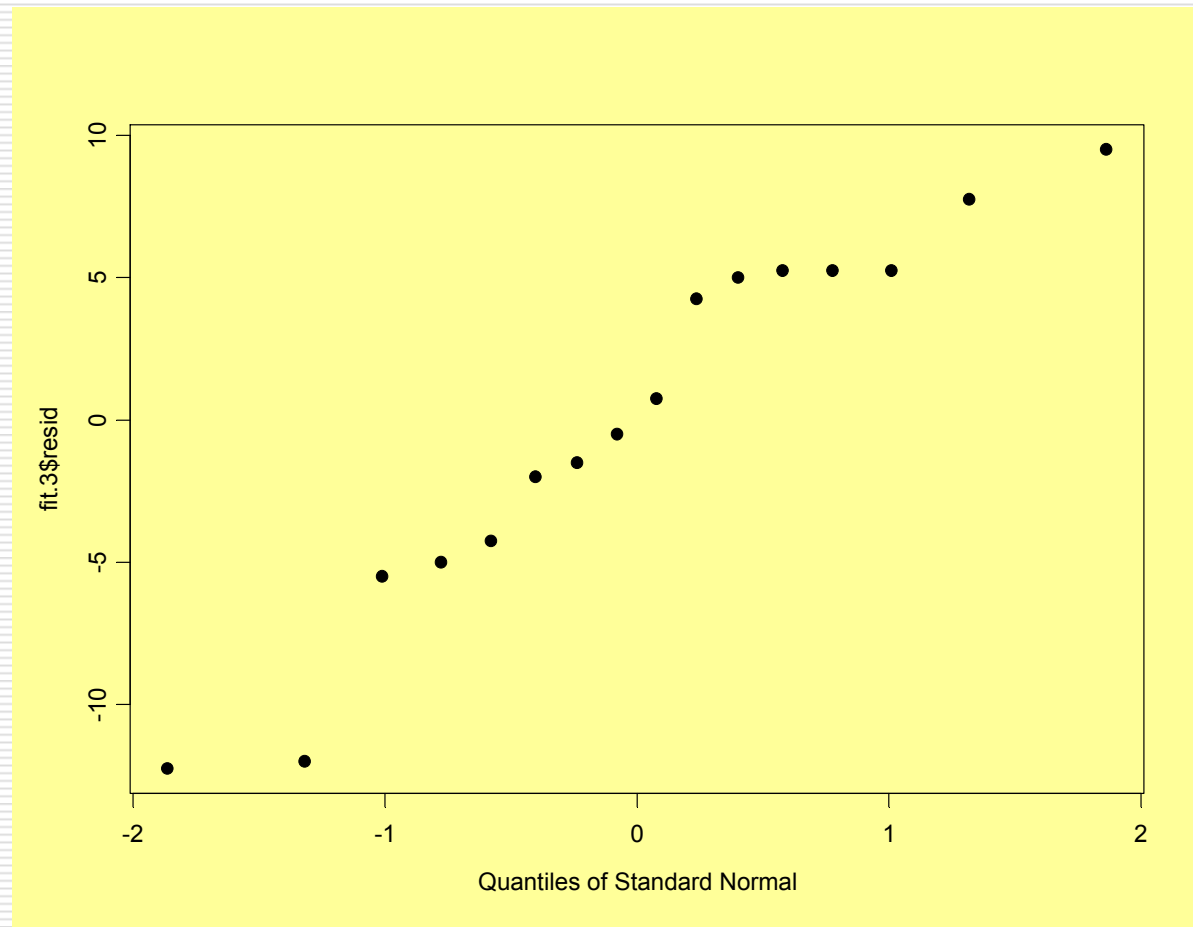
התאמת מודל עם השפעות עיקריות בלבד

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	54.2500	2.0163	26.9052	0.0000
Pr1	3.7500	2.0163	1.8598	0.0925
Te1	9.8750	2.0163	4.8975	0.0006
M	0.6250	2.0163	0.3100	0.7629
FR1	0.0000	2.0163	0.0000	1.0000
PS1	-22.2500	2.0163	-11.0348	0.0000

Residual standard error: 8.065 on 10 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.9372

תרשים הסתברות נורמלית של השאריות



דוגמה: תהליך הלחמת גל (wave soldering)

שם הניסוי	הלחמת גל
מטרה	הורדת היקף הקצרים
משתנה תגובה	2 סוגי קצרים, ממוצע על 4 לוחות
גורמים	בשקף הבא
רמות הגורמים	בשקף הבא
צרופים	32 מתוך 32 (2^{8-3})
גודל המדגם	4 לוחות בכל נקודת ניסוי
לוגיסטיקה	
הערות	

הגורמים והרמות שלהם.

	Factor	Level - -	Level + +
A	Preheat Temperature	180	220
B	Solder Wave Height	.25	.40
C	Wave Temperature	490	510
D	Conveyor Angle	5.0	6.1
E	Flux Type	A857	K192
F	Direction of Boards	0	90

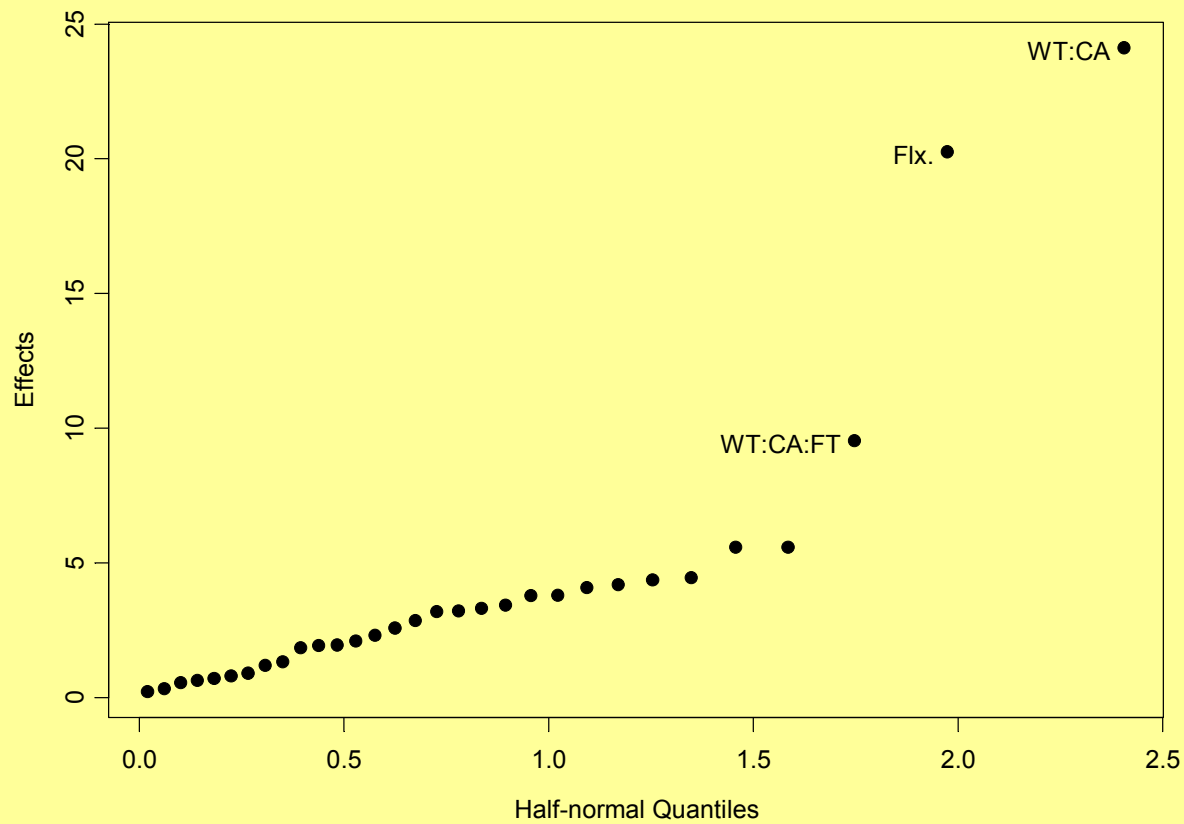
המפתח לתכנון הניסוי:

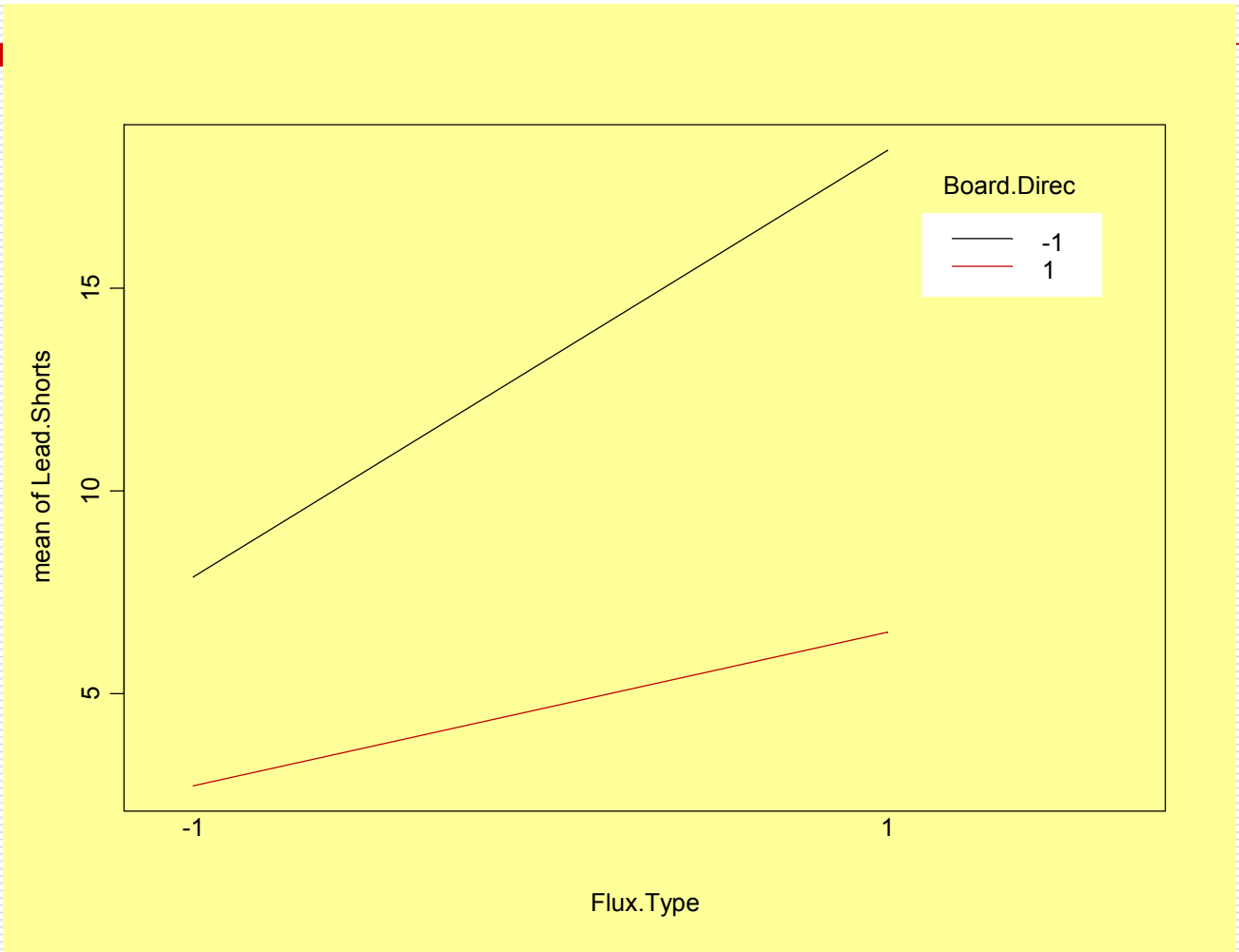
$$F = - CD$$

$$G = - AB$$

$$H = - ABCD$$

תרשים חצי נורמלי – מודל ל- Lead Shorts עם השפעות עיקריות ואנטראקציות זוגיות





ניתוח לפי השיטה של Lenth, מודל עם E-A בלבד.

$$s_0 = 0.76 \quad \text{PSE} = 0.68$$

$$t(0.05) = 2.06 \quad t(0.01) = 3.04 \quad t(0.001) = 4.52$$

$$\text{W Temp} * \text{Con Ang} \quad 6.25$$

$$\text{Flux} \quad 5.25$$

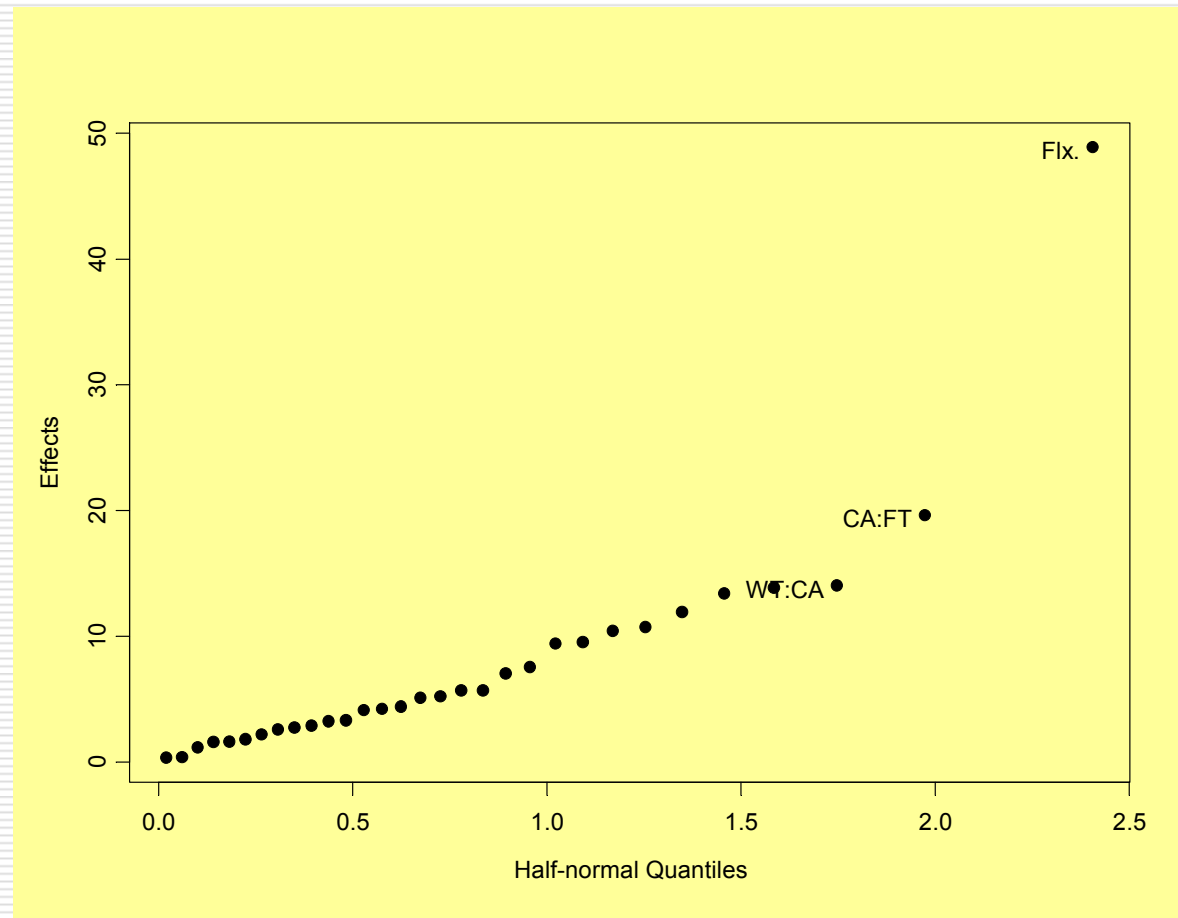
$$\text{W Temp} * \text{Con Ang} * \text{Flux} \quad 2.47$$

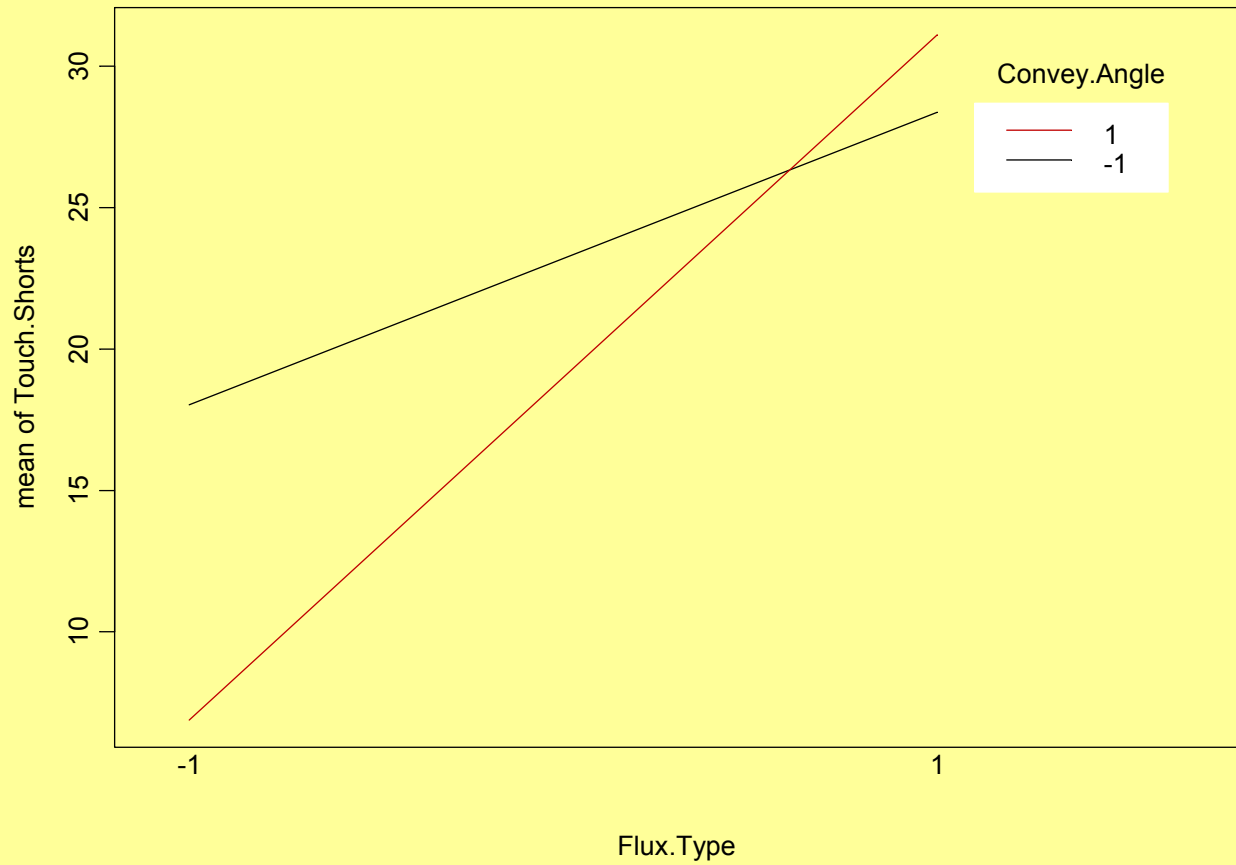
פלט ממודל עם השפעות עיקריות והאנטראקציה בין סוג הפלקס וכיוון הלוח.

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	8.8778	0.5212	17.0321	0.0000
Preheat.Temp	-0.2341	0.5212	-0.4490	0.6578
Solder.Wave.Ht	-0.3703	0.5212	-0.7104	0.4849
Wave.Temp	-0.6691	0.5212	-1.2836	0.2126
Convey.Angle	0.3409	0.5212	0.6541	0.5198
Flux.Type	3.5809	0.5212	6.8700	0.0000
Board.Direc	-4.2628	0.5212	-8.1782	0.0000
Wave.Width	0.1109	0.5212	0.2129	0.8335
Convey.Speed	0.9859	0.5212	1.8915	0.0718
Flux.Type:Board.Direc	-1.6847	0.5212	-3.2321	0.0038

Residual standard error: 2.949 on 22 degrees of freedom

תרשים חצי נורמלי – מודל ל-Touch Shorts עם השפעות עיקריות ואנטראקציות זוגיות





פלט ממודל עם השפעות עיקריות והאנטראקציות בין סוג הפלקס וגובה הגל וסוג הפלקס וזווית המשואה

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	21.0953	0.9850	21.4173	0.0000
Preheat.Temp	0.2859	0.9850	0.2903	0.7744
Wave.Temp	1.2453	0.9850	1.2643	0.2200
Flux.Type	8.6422	0.9850	8.7741	0.0000
Solder.Wave.Ht	2.4466	0.9850	2.4839	0.0215
Convey.Angle	-2.1078	0.9850	-2.1400	0.0443
Board.Direc	-2.4797	0.9850	-2.5175	0.0200
Wave.Width	-0.5722	0.9850	-0.5809	0.5675
Convey.Speed	0.7784	0.9850	0.7903	0.4382
Flux.Type:Solder.Wave.Ht	2.3684	0.9850	2.4046	0.0255
Flux.Type:Convey.Angle	3.4703	0.9850	3.5233	0.0020

Residual standard error: 5.572 on 21 degrees of freedom

ניתוח לפי השיטה של Lenth.

$$s_0 = 0.75 \quad \text{PSE} = 0.66$$

$$t(0.05) = 2.06 \quad t(0.001) = 4.52$$

FR - 1.05

Ca x Te 10.09

Ca 14.86

Te x Co - 8.38

AR - 0.48

Te 8.19

Co - 4.76

ניתוח לפי השיטה של Lenth, מודל עם E-A בלבד.

$$s_0 = 1.35 \quad \text{PSE} = 1.17$$

$$t(0.05) = 2.06 \quad t(0.01) = 3.04 \quad t(0.001) = 4.52$$

Flux	7.40
Flux * Con Ang	2.97
W Temp * Con Ang	2.12
W Height	2.10
W Height * Flux	2.03
Con Angle	- 1.81
