

פרויקט הנדסת איכות

חלק ד

28/1/2023



קבוצה 1

עדן יונית טורי ת.ז. 205867971,
עביר אבומוך ת.ז. 207150509

חלק א

א. בחלק זה של הפרויקט נעסוק בשיפור תהליך באמצעות תכנון ניסויים מבוקרים.

ב. נתון שישנם 5 גורמים משפיעים:

X1- כמות גובה החומר במיכל.

X2- שומן האבקה.

X3- טמפ' האבקה.

X4- מהירות החילוץ.

X5- קוטר החילוץ.

ג. חישוב עלויות עודפי משקל בהתאם לנתונים מקובץ project DOE מצב נוכחי: נתונים מחלק א, מספר היחידות המיוצרות בשנה- 3.24 מיליון יחידות, משקל יחידה תקין- 70 גרם, עלות 1 ק"ג חומר גלם- 30 ₪. פירוט החישוב:

ראשית, נאמוד את המשקל הממוצע ליחידה עבור 125 הדגימות הנתונות במדגם. לאחר מכן נחשב את עודף המשקל הממוצע ליחידה בגרם. נכפיל את עודף המשקל שהתקבל ליחידה במספר היחידות המיוצרות בשנה. לבסוף, נחלק ב-1000 על מנת לעבור מיחידות של גרם ליחידות של ק"ג ונכפיל בעלות של 1 לק"ג.

ניתן לראות זאת בחישוב הבא:

$$\text{עלות ההפסד} = \frac{(\bar{Y} - 70) * 3,240,000}{1000} * 30 = 720,516.25$$

כלומר, **עלות הספד בגין עודף משקל בשנה הוא 720,516.25 ₪.**

ד. נתון שכל הגורמים משפיעים לינארית.

ה. נתון שהאינטראקציות מסדר 3 הינן מובהקות. כלומר, בשל נתון זה אנו מבינים שלא ניתן לבצע ניסוי פקטוריאלי חלקי ולא ניתן לצמצם ולכן נבצע ניסוי מלא בעל 32 דגימות.

חישוב מספר דגימות: 2 בחזקת מספר הגורמים ונקבל $2^5 = 32$.

ו. נדרשנו לבנות מטריצת ניסוי הרזה ביותר ולכן נקבל 5 גורמים עיקריים, 10 גורמים מסדר 2, 10 גורמים מסדר שלישי וגורם 1 עבור הממוצע. נשים לב, שמאחר והאינטראקציות מסדר 3 מובהקות אנו צריכים לכלול אותן במטריצה.

בנוסף, נתון שמצעים את הניסוי ב-3 חזרות לכן עלינו לדגום מתוך קובץ הנתונים project DOE מצב משופר 96 דגימות. חישוב: 32 ניסויים עבור כל חזרה * 3 חזרות = 96 דגימות.

ז. המשקלים שהתקבלו עבור 3 החזרות מופיעים בקובץ האקסל בלשונית **הצבה project DOE**.

ח. חישוב מובהקות הגורמים ברמת מובהקות של 5%:

נבצע מבחן T כאשר ההשערות הן:

$$H_0: Coef(x_i) = 0$$
$$H_1: else$$

על מנת לבדוק אילו גורמים מובהקים נדרש לבצע מספר פעולות:

1. נחשב את הממוצע עבור כל הצבה בגורמים העיקריים והאינטראקציות. ואחר מכן נחשב את הממוצע של הממוצעים. במקרה שלנו התקבל שמוצע הממוצעים הינו $\bar{Y} = 77.674$.
2. עבור כל הצבה בגורמים העיקריים ובאינטראקציות נחשב את סטיית התקן, וסטיית התקן בריבוע. נחשב את הממוצע של סטיית התקן בריבוע ולאחר מכן את האומד לסטיית התקן $Sexp$. במקרה שלנו $Sexp = 1.503$.
כעת נחשב את $SE Coef$ באמצעות הנוסחה $SE Coef = \frac{Sexp}{\sqrt{n}}$. כאשר n שווה ל-96 כמספר הדגימות הכולל שביצענו (32 עבור כל חזרה * מספר החזרות). הערך שהתקבל הוא $SE Coef = 0.153$.
3. חישוב האפקט עבור הגורמים העיקריים והאינטראקציות באמצעות הנוסחה:

$$effect(x_i) = \overline{Y(x_i = 1)} - \overline{Y(x_i = -1)}$$

4. חישוב $Coef$ עבור הגורמים העיקריים והאינטראקציות באמצעות הנוסחה:

$$Coef = \frac{effect(x_i)}{2}$$

5. חישוב T -value שנוכל לקבוע האם הגורם מובהק או לא באמצעות מבחן T , נחשב את הערך הסטטיסטי באמצעות הנוסחה:

$$T - value = T_{st} = \frac{Coef(x_i)}{SE Coef}$$

6. מציאת הערך הקריטי בטבלת T :
רמת מובהקות- נתון לנו שהיא 5%.
דרגות החופש: ידוע לנו שישנם 96 ניסויים ונחסיר מכך את 26 (5 גורמים עיקריים, 10 גורמים מסדר שני, 10 גורמים מסדר שלישי וגורם אחד עבור הממוצע). לכן התקבל שדרגות החופש הם $70 (96-26=70)$.
נסתכל בטבלת T ונבחר בערך בעל דרגת חופש הכי קרוב ל-70 במקרה שלנו זה 75 ולכן ערך הקריטי הוא $T_{cr} = 1.992$.

7. מאחר ומדובר במבחן דו צדדי נסתכל על הערך הסטטיסטי בערך מוחלט. נבחר בגורמים בהם מתקיים ש- $|T_{st}| > T_{cr}$.

לכן ראשית חישבנו את הערך המחולט עבור T_{st} ולאחר מכן בדקנו האם התנאי מתקיים במידה וכן הגדרנו את הערך 1 בעמודה "מובהק".
על מנת להדגיש אילו גורמים עיקריים ואינטראקציות מובהקות סימנו אותם בצבע כחול כפי שניתן לראות בטבלה הבאה:

	Effect	Coef	T-value	ABS(T-value)	מובהק
Constant		77.67484	506.1731	506.1730849	1
X1	1.531392	0.765696	4.989708	4.989707987	1
X2	1.91701	0.958505	6.246158	6.246158422	1
X3	-1.75669	-0.87835	-5.7238	5.723798876	1
X4	-0.8546	-0.4273	-2.78454	2.784542849	1
X5	0.664111	0.332056	2.163862	2.163862235	1
X1*X2	1.251068	0.625534	4.076332	4.076331858	1
X1*X3	0.13148	0.06574	0.428398	0.42839781	0
X1*X4	-1.00524	-0.50262	-3.27535	3.275352605	1
X1*X5	0.368916	0.184458	1.202033	1.202033045	0
X2*X3	0.275542	0.137771	0.897794	0.897794283	0
X2*X4	-0.25138	-0.12569	-0.81908	0.819079677	0
X2*X5	-0.38725	-0.19362	-1.26176	1.261763859	0
X3*X4	-0.16585	-0.08293	-0.5404	0.540399744	0
X3*X5	-0.21865	-0.10932	-0.71242	0.712421976	0
X4*X5	-0.28601	-0.143	-0.9319	0.931897776	0
X1X2X3	-2.35492	-1.17746	-7.673	7.67300452	1
X1X2X4	-0.12854	-0.06427	-0.41881	0.418809734	0
X1X2X5	1.361974	0.680987	4.437697	4.437696784	1
X2X3X4	1.004709	0.502354	3.273625	3.273624774	1
X2X3X5	-0.38431	-0.19216	-1.25221	1.252205462	0
X1X3X4	-0.12991	-0.06496	-0.42329	0.423293591	0
X1X3X5	-0.06419	-0.0321	-0.20916	0.209157065	0
X1X4X5	0.648741	0.32437	2.11378	2.113779844	1
X2X4X5	-0.0852	-0.0426	-0.2776	0.27760232	0
X3X4X5	0.086016	0.043008	0.280264	0.280263865	0

עיגלנו את המקדמים לעד 3 ספרות אחרי הנקודה והמודל שהתקבל הוא:

$$Y = 77.675 + 0.766 * X1 + 0.959 * X2 - 0.878 * X3 - 0.427 * X4 + 0.332 * X5 \\ + 0.626 * X1 * X2 - 0.503 * X1 * X4 - 1.177 * X1 * X2 * X3 \\ + 0.681 * X1 * X2 * X5 + 0.502 * X2 * X3 * X4 + 0.324 * X1 * X4 * X5$$

ט. על מנת לבחור את רמות הגורמים שיביאו לקבלת המשקל המזערי נבצע חישוב אופטימיזר ידני.

נחשב את ערך הפונקציה Y בהתאם למודל שבנינו בסעיף הקודם.
מאחר ואנו רוצים להביא למינימום את הפונקציה נחשב את ערך d באמצעות הנוסחה הבאה:

$$d = \frac{Y_{max} - Y_{est}}{Y_{max} - Y_{min}}$$

את ערכי Y_{max} , Y_{min} לקחנו מתוך הנתונים שהתקבלו עבור בניית המטריצה המלאה ומציאת הגורמים המובהקים.

במקרה שלנו ישנה רק פונקציה אחת ולכן $D=d$.
 נחשב את ערך Y וערך D עבור כל שורה בטבלה, ולבסוף נבחר את הרמות
 אשר עבורן התקבל ערך D הגבוה ביותר, רשומה זו מסומנת בצבע צהוב
 בטבלה הבאה:

Constant	X1	X2	X3	X4	X5	X1*X2	X1*X4	X1X2X3	X1X2X5	X2X3X4	X1X4X5	Y	d = D
77.675	0.766	0.959	-0.878	-0.427	0.332	0.626	-0.503	-1.177	0.681	0.502	0.324	78.88	0.473901
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	76.206	0.670726
	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	79.088	0.458591
	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	77.71	0.560021
	1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	81.986	0.245278
	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	79.312	0.442103
	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	84.202	0.082165
	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	82.824	0.183595
	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	75.698	0.708118
	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	75.748	0.704438
	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	77.914	0.545005
	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	79.26	0.44593
	1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	1	76.104	0.678234
	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	76.154	0.674553
	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	76.312	0.662923
	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	77.658	0.563849
	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	77.446	0.579453
	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	78.792	0.480378
	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	76.938	0.616845
	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	76.988	0.613165
	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	75.844	0.697371
	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	77.19	0.598297
	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	77.344	0.586961
	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	77.394	0.583281
	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	74.784	0.775395
	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	73.406	0.876825
	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	76.284	0.664984
	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	73.61	0.861809
	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	79.898	0.398969
	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	78.52	0.500399
	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	79.39	0.436361
	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	76.716	0.633186

לסיכום, רמות הגורמים העיקריים שיביאו לקבלת משקל מזערי הם:
 $X1=-1, X2=-1, X3=1, X4=1, X5=-1$

י. חישוב עלויות עודפי המשקל עבור המצב המשופר:
 על מנת לחשב זאת נדגום שוב 32 דגימות מתוך קובץ הנתונים **project DOE**
מצב משופר עבור הרמות שהתקבלו למזעור המשקל בסעיף הקודם, הנתונים
 שהתקבלו מופיעים בלשונית **עלות עודף משקל במצב החדש**.
 בדומה לסעיף ג' נבצע את החישוב.
 ראשית, נאמוד את המשקל הממוצע ליחידה עבור 32 הדגימות שדגמנו. לאחר
 מכן נחשב את עודף המשקל הממוצע ליחידה בגרם. נכפיל את עודף המשקל
 שהתקבל ליחידה במספר היחידות המיוצרות בשנה. לבסוף, נחלק ב-1000 על
 מנת לעבור מיחידות של גרם ליחידות של ק"ג ונכפיל בעלות של 1 לק"ג.
 ניתן לראות זאת בחישוב הבא:

$$\text{עלות ההפסד} = \frac{(\bar{Y} - 70) * 3,240,000}{1000} * 30 = 245,748.09$$

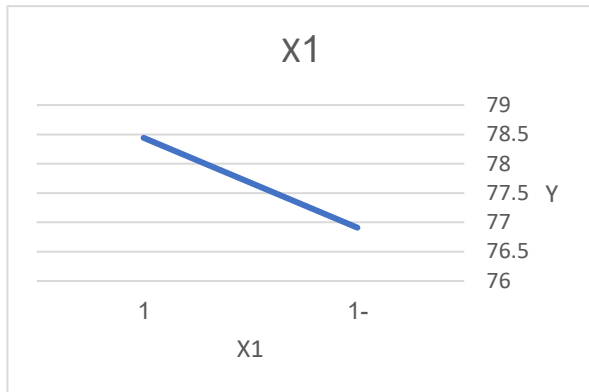
כלומר, **עלות הספד בגין עודף משקל בשנה הוא 245,748.09 ₪.**

ניתן לראות שישנו שיפור ניכר וחסכון משמעותי בעלות בגין עודף משקל
 (חסכון של 474,768.17 ₪ בשנה).

עבור גורמים מסדר ראשון:

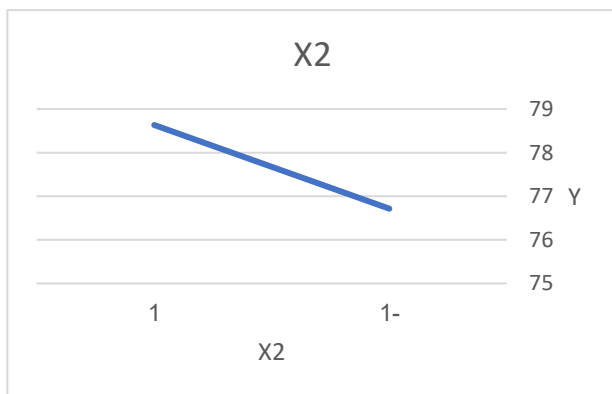
X1- כמות גובה החומר במיכל

ניתן לראות שככל שכמות גובה החומר במיכל עולה כך כמות המשקל של כל יחידה עולה. לכן נרצה להשתמש בכמות נמוכה יחסית של חומר גלם במיכל על מנת למזער את המשקל העודף.



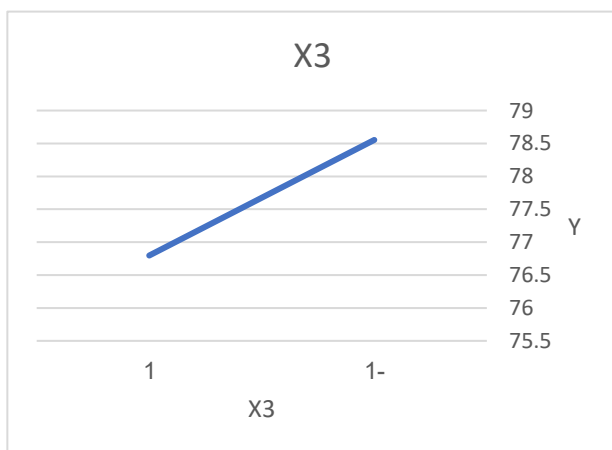
X2- שומן האבקה

ניתן לראות שכאשר שומן האבקה הוא גבוה יותר כך ממוצע משקל יחידה הוא גבוה יותר. על מנת למזער את כמות המשקל העודף נרצה להשתמש בשומן אבקה נמוך.



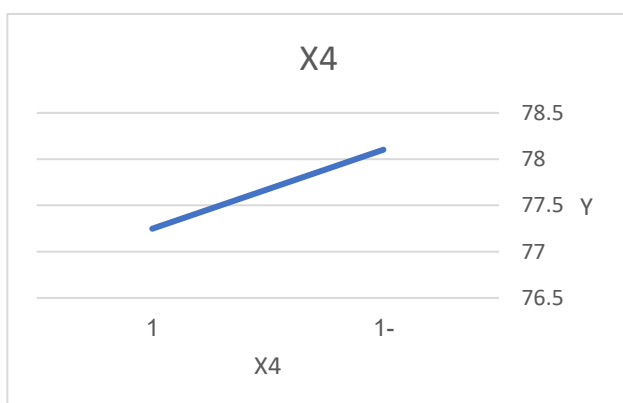
X3- טמפ' האבקה

ניתן לראות שכאשר הטמפרטורה האבקה גבוהה יחסית כמות המשקל הממוצע ליחידה נמוך יותר. לכן נשאף לחמם את טמפ' האבקה ובכך לחסוך בעלויות בגין עודף משקל.

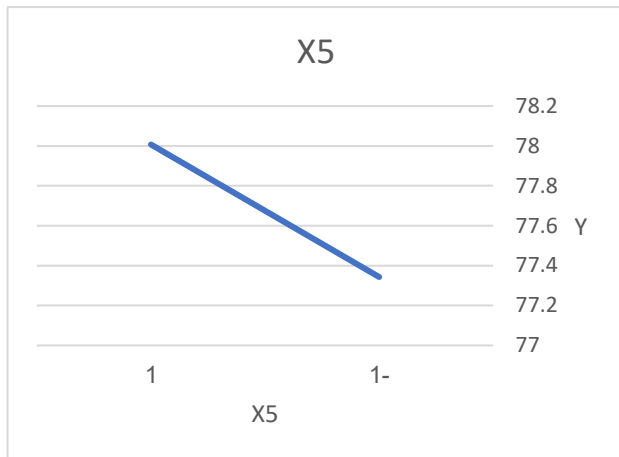


X4- מהירות החילוץ

ניתן לראות שכאשר המהירות גבוהה כך ממוצע משקל יחידה נמוך יחסית. לכן אנו נשאף שהחילוץ יעבוד במהירות גבוהה יחסית ובכך נחסוך עלות בגין עודף משקל.



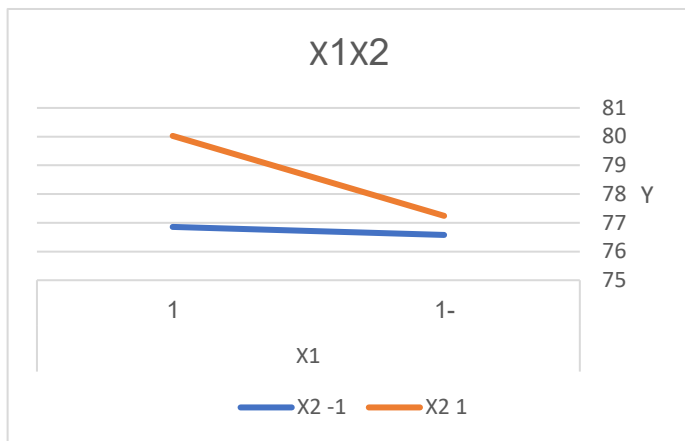
X5- קוטר החילזון



ניתן לראות שכאשר הקוטר של החילזון צר יותר ממוצע המשקל בכל יחידה נמוך יותר. לכן, אנו נשאף להשתמש בחילזון בעל קוטר קטן ובכך נוכל לחסוך בעלות בגין עודף משקל.

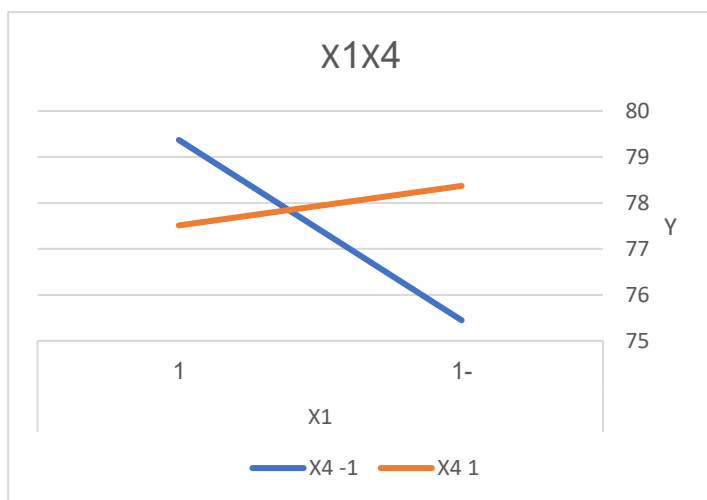
עבור גורמים מסדר שני:

X1X2- כמות גובה החומר במיכל ושומן האבקה



ניתן לראות שישנה אינטראקציה חלשה. כאשר שומן האבקה נמוך יחסית אין כל כך השפעה בין אם גובה החומר במיכל הוא גבוהה או נמוך. אך לעומת זאת כאשר שומן האבקה גבוה ישנה חשיבות וניתן לראות הבדל בין אם כמות גובה החומר במיכל היא נמוכה לבין מקרה בו כמות גובה החומר במיכל נמוכה על השפעת המשקל ליחידה. כאשר שומן האבקה גבוהה נעדיף שכמות החומר במיכל תהיה נמוכה על מנת להפחית עלויות עודף משקל.

X1X4- כמות גובה החומר במיכל ומהירות החילזון



ניתן לראות שישנה אינטראקציה חזקה, כלומר ההתנהגות של כמות גובה החומר שונה מהותית בהתאם למהירות החילזון. כאשר מהירות החילזון נמוכה וגובה החומר במיכל נמוך אנו מקבלים את המשקל הממוצע ליחידה הכי נמוך והוא המצב המועדף בהתאם לתרשים זה. לעומת זאת כאשר מהירות החילזון נמוכה וגובה החומר במיכל גבוהה מתקבל המשקל הממוצע ליחידה הגבוהה ביותר.

בנוסף, ניתן לראות כאשר מהירות החילזון גבוהה וגם כמות החומר במיכל גבוהה מתקבל המשקל הממוצע הנמוך לעומת המשקל הממוצע ליחידה כאשר כמות החומר במיכל נמוכה יותר.

יב. סיכום ומסקנות:

בחלק זה ראינו שישנה חשיבות גבוהה מבחינת עלות אי איכות עבור הגדרת רמות לגורמים ולאינטראקציות השונות. באמצעות ניסוי ובחינה ניתן לסייע לארגון ולהקטין את עלויות עודף המשקל ולקבל מוצר מתאים יותר להגדרתו, לדוגמא במקרה שלנו לקבלת מוצר קרוב יותר למשקל יחידה הרצוי. בנוסף, אנו משערות כאשר אנו משתמשים בכלים טכנולוגיים בצורה שמטיבה עם התהליך זה עשוי אף להועיל ולסייע לאריכות ותפוקת המכונות בתהליך, למשל במידה ונשים כמות גובה חומר נמוכה נוכל להפחית עומס על המכונה.

בנוסף לכך, ראינו שישנן אינטראקציות מסדר 3 שהן מובהקות ולא רק הגורמים העיקריים ואינטראקציות מסדר שני. יתרה מכך, כאשר בדקנו אילו גורמים ואינטראקציות מובהקים גילינו שכל הגורמים העיקריים מובהקים כפי שציפינו אך התגלו רק 2 אינטראקציות מסדר שני מובהקות ולא כולן כפי שציפינו.