

# סטטיסטיקה ב

פרק 6 - אומד חסר הטייה

תוכן העניינים

1. אומד חסר הטייה ..... 1
2. אומד חסר הטיה בעל שונות מינימלית ..... 7

## אומד חסר הטייה:

### רקע:

$\hat{\theta}$  יהיה אומד חסר הטייה ל- $\theta$ , אם התוחלת של  $\hat{\theta}$  תהיה שווה ל- $\theta$ :  $E(\hat{\theta}) = \theta$ .

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

המשתנה  $X$  הוא בעל פונקציית ההסתברות הבאה:

|           |                |           |         |
|-----------|----------------|-----------|---------|
| 3         | 2              | 1         | $X$     |
| $4\theta$ | $1 - 60\theta$ | $2\theta$ | הסתברות |

מעוניינים לאמוד את  $\theta$  על סמך שתי תצפיות מההתפלגות:  $X_1$  ו- $X_2$ .

א. הראו שהאומד:  $T_1 = \frac{2X_1 + X_2}{2}$ , הוא אומד מוטה ל- $\theta$ .

הטיה של אומד היא:  $E(\hat{\theta}) - \theta$ . כמובן שלאומד חסר הטיה אין הטיה.

ב. מהי ההטיה של האומד  $T_1$ ?

ג. תקנו את  $T_1$ , כך שיהיה אומד חסר הטיה.

אם יש שני אומדים חסרי הטיה עדיף זה עם השונות היותר קטנה.

ד. מוצא האומד הבא:  $T_3 = 1.5X_1 - X_2 - 1$ .

האם הוא עדיף על האומד שהצעת בסעיף ג'?

אם  $\hat{\theta}$  אומד חסר הטיה ל- $\theta$ , אז  $g(\hat{\theta})$  יהיה אומד חסר הטיה עבור  $g(\theta)$ , רק אם  $g$  תהיה לינארית.

ה. מצאו אומד חסר הטיה ל:  $P(X = 3)$ .

אומד חסר הטיה לשונות האוכלוסייה  $\sigma^2$ :  $S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{\sum x_i^2 - n\bar{x}^2}{n-1}$ .

ו. מצאו אומד חסר הטיה לשונות של  $X$ .

**תזכורות חשובות:**

אם:  $Y = aX + b$ , אזי:  $E(Y) = aE(X) + b$ ,  $V(Y) = a^2 \cdot V(X)$ ,  $\sigma_Y = |a| \sigma_X$ .

אם:  $X_1, X_2, \dots, X_n$  משתנים מקריים, אזי:

$$E(T) = E(X_1 + X_2 + \dots + X_n) = E(X_1) + E(X_2) + \dots + E(X_n)$$

אם:  $X_1, X_2, \dots, X_n$  משתנים מקריים בלתי תלויים בזוגות, אזי:

$$V(T) = V(X_1 + X_2 + \dots + X_n) = V(X_1) + V(X_2) + \dots + V(X_n)$$

## שאלות:

- (1) הציון במבחן מסוים של תלמידי כיתה ח' הנו משתנה מקרי בעל תוחלת  $\mu$  וסטיית תקן 10. כדי לאמוד את התוחלת  $\mu$ , נלקח מדגם של 5 ציונים:  $X_1, \dots, X_5$ . שלושה חוקרים הציעו אומדים לתוחלת על סמך מדגם זה:

$$T_1 = \frac{X_1 + \dots + X_5}{5} \quad \text{חוקר א' הציע:}$$

$$T_2 = \frac{2X_1 - X_3 + X_4}{2} \quad \text{חוקר ב' הציע:}$$

$$T_3 = \frac{2X_1 + X_3}{2} \quad \text{חוקר ג' הציע:}$$

- א. איזה מן האומדים הוא חסר הטיה?  
 ב. הציעו תיקון לאומד המוטה כך שיהיה חסר הטיה.  
 ג. במדגם התקבלו הציונים הבאים: 100, 82, 58, 78, 65. חשבו את האומדנים המתקבלים עבור האומדים חסרי ההטיה.  
 ד. איזה מבין שני האומדים חסרי ההטיה עדיף? נמקו.

- (2) כדי לאמוד את המשקל הממוצע של הנשים בארה"ב, נבחר מדגם של  $2n$  נשים. נסמן את שונות הגובה ב- $\sigma^2$ . הוצעו שני אומדים לממוצע המשקל על סמך מדגם

$$T_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad T_2 = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^{2n} X_i \quad \text{זה:}$$

- א. בדקו לגבי כל אומד אם הוא בלתי מוטה.  
 ב. איזה אומד עדיף? נמקו.

- (3)  $X \sim B(n, p)$ . כלומר,  $X$  הינו משתנה מקרי המתפלג בינומית עם פרמטר  $P$  (סיכוי להצלחה בניסיון בודד) במדגם בגודל  $n$ .

- א. פתחו אומד חסר הטיה ל- $P$ .  
 ב. מהו אומד חסר הטיה לסיכוי לכישלון בניסיון בודד?  
 ג. מהו אומד חסר הטיה ל- $E(X)$ ?  
 ד. מצאו אומד חסר הטיה ל- $E(X^2)$ .

(4) בתיק מניות שתי מניות. מספר המניות שיעלו ביום מסוים הוא משתנה מקרי התלוי בפרמטר לא ידוע:  $\theta$ ,  $0 \leq \theta \leq 2$ .

פונקציית ההסתברות של  $X$  - מספר המניות שיעלו ביום מסוים:

$$P(X=0) = 1 - \frac{\theta}{2}, P(X=1) = \frac{\theta}{3}, P(X=2) = \frac{\theta}{6}$$

א. מצאו אומד בלתי מוטה ל- $\theta$ , שמתבסס על מספר המניות שיעלו ביום מסוים.

ב. מצאו אומד בלתי מוטה ל- $\theta$ , שמתבסס על מספר המניות שעלו ביום,

במשך שלושה ימים -  $X_1, X_2, X_3$  (לכל אחד מהם אותה התפלגות כנ"ל והם בלתי תלויים).

(5) בקרב המטפלות בת"א, מספר התינוקות שבטיפולן הוא משתנה מקרי בעל התפלגות התלויה בפרמטר  $\theta$  באופן הבא:

הסיכוי שמטפלת תטפל בתינוק אחד בלבד הוא  $3\theta$ ,

הסיכוי שמטפלת תטפל ב-2 תינוקות הוא  $1 - 4\theta$ ,

הסיכוי שמטפלת תטפל ב-3 תינוקות הוא  $\theta$ .

במדגם מיקרי של 4 מטפלות מת"א, נמצא כי שתיים מהם מטפלות בתינוק אחד בלבד, אחת מהן בשנים ואחת השלושה תינוקות.

א. מצאו אומד חסר הטיה לפרמטר  $\theta$  על סמך תצפית בודדת.

ב. מצאו אומד חסר הטיה לפרמטר  $\theta$  על סמך 4 תצפיות.

ג. מהו האומדן לפרמטר  $\theta$  על סמך תוצאות המדגם.

ד. מצאו אומד חסר הטיה לסיכוי שלמטפלת בת"א תטפל בתינוק בודד אחד.

ה. מצאו אומדים חסרי הטיה לתוחלת ולשונות של מספר התינוקות בטיפול אצל מטפלת מת"א. חשבו אומדנים.

(6) קבעו אילו מהטענות הבאות נכונות:

א. אם  $T$  הוא אומד בלתי מוטה עבור פרמטר  $\theta$ , אז  $5T$  אומד בלתי מוטה

עבור הפרמטר  $5\theta$ .

ב. אם  $T$  הוא אומד בלתי מוטה עבור פרמטר  $\theta$ , אז  $T^2$  אומד בלתי מוטה

עבור הפרמטר  $\theta^2$ .

- (7) במפעל שתי מכונות המייצרות מוצרים. במכונה הראשונה ההסתברות שמכשיר תקין היא  $p$ , ובמכונה השנייה ההסתברות שמכשיר תקין היא  $2p$ . דוגמים 20 מכשירים מהייצור של כל מכונה. נסמן ב-  $X$  את מספר המכשירים התקינים שיוצרו על ידי המכונה הראשונה, וב-  $Y$  את מספר המכשירים התקינים שיוצרו על ידי המכונה השנייה. איזה מבין האומדים הבאים אינו אומד חסר הטיה ל-  $p$ ?

א.  $\frac{X}{20}$ .

ב.  $\frac{Y}{20}$ .

ג.  $\frac{X+Y}{60}$ .

ד.  $\frac{2X+Y}{80}$ .

- (8) יהיו  $T_1$  ו-  $T_2$  אומדים חסרי הטיה ובלתי תלויים לפרמטר  $\theta$ .  
 א. מצאו אומד חסר הטיה ל-  $\theta^2$ , המתבסס על  $T_1$  ו-  $T_2$ .  
 ב. מצאו אומד חסר הטיה ל-  $\theta(1-\theta)$ , המתבסס על  $T_1$  ו-  $T_2$ .

- (9) נתון ש-  $X$  הינו משתנה מקרי עם תוחלת  $\mu$  ושונות  $\sigma^2$ . נדגמו  $n$  תצפיות בלתי תלויים מאותה אוכלוסיה.  
 א. הראו ש-  $\sum_{i=1}^n p_i x_i$  אומד חסר הטיה ל-  $\mu$ , כאשר:  $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ .  
 ב. נתבונן במכפלת שתי התצפיות הראשונות:  $X_1 \cdot X_2$ .  
 הראו שהוא אומד חסרי הטיה ל-  $\mu^2$ .

## תשובות סופיות:

- (1) א.  $T_1$  ו-  $T_2$ . ב.  $\frac{2}{3}T_3$ . ג.  $T_1 = 76.6$ ,  $T_2 = 110$ . ד.  $T_1$ .
- (2) א. ראו בוידאו. ב.  $T_2$ .
- (3) א.  $\frac{x}{n}$ . ב.  $1 - \frac{x}{n}$ . ג.  $X$ . ד.  $\theta$ .
- (4) א.  $\frac{3x}{2}$ . ב.  $\frac{3\bar{x}}{2}$ .
- (5) א.  $1 - \frac{x}{2}$ . ב.  $1 - \frac{1}{2}\bar{x}$ . ג.  $0.125$ . ד.  $3\left(1 - \frac{1}{2}\bar{x}\right)$ .
- ה. לשונות  $0.917$ .
- (6) א. נכון. ב. לא נכון.
- (7) ב'.
- (8) א.  $T_1 \cdot T_2$ . ב.  $T_1 - T_1 \cdot T_2$ .
- (9) א. שאלת הוכחה. ב. שאלת הוכחה.

## אומדן חסר הטייה בעל שונות מינימלית:

אומדן חסר הטייה יעיל ביותר – MVUE (Minimum-variance unbiased estimator).

### רקע:

$T$  יהיה MVUE, אם מתקיים ש- $T$  אומדן חסר הטייה ל- $\theta$ , ובנוסף מתקיים ש:  
 $V(T) \leq V(\hat{\theta})$  לכל חסר הטייה אחר.

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

לרשת חנויות ישנם שני סניפים. מספר הלקוחות הנכנסים לכל סניף ביום מתפלג פואסונית עם קצב של  $\lambda$  בסניף A וקצב של  $2\lambda$  בסניף B. נדגמו  $n$  ימים מכל סניף, ונבדק בכל יום:

$X_i$  - מספר הלקוחות שנכנסו לסניף A ביום  $i$ .

$Y_j$  - מספר הלקוחות שנכנסו לסניף B ביום  $j$ .

על מנת לאמוד את  $\lambda$ , מוצע האומדן:  $\alpha \bar{X} + \beta \bar{Y}$ .

א. מה התנאי, שצריך להתקיים על  $\alpha$  ו- $\beta$ , כדי שהאומדן יהיה חסר הטייה?

ב. מה צריכים להיות  $\alpha$  ו- $\beta$  כדי שהאומדן יהיה גם בעל שונות מינימלית?

## שאלות:

- (1)  $T_1$  ו- $T_2$  הינם אומדים חסרי הטייה ובלתי תלויים לפרמטר  $\theta$ .  
 כמו כן, נגדיר:  $T = aT_1 + bT_2$ .  
 א. מה צריך להיות התנאי על  $a$  ו- $b$ , כדי ש- $T$  יהיה אומד חסר הטייה?  
 ב.  $\sigma_1^2$  ו- $\sigma_2^2$  הם השונות של  $T_1$  ו- $T_2$ , בהתאמה.  
 מצאו  $a$  ו- $b$ , כך ש- $T$  יהיה אומד חסר הטייה ל- $\theta$ , ובעל שונות מינימלית.
- (2) במפעל 3 מכונות המייצרות את אותו חלק.  
 תוחלת הקוטר של החלקים המיוצרים בכל מכונה זהה.  
 השונות של כל מכונה שונות, ומקיימות:  $\sigma_2^2 = 2\sigma_1^2$ ,  $\sigma_3^2 = 3\sigma_1^2$ .  
 הוחלט לדגום  $n$  חלקים מכל מכונה, ולחשב את ממוצע הקוטר המתקבל.  
 $\bar{X}_i$  - יהיה הממוצע המתקבל במכונה  $i$ .  
 יהי:  $W = \sum_{i=1}^3 a_i \bar{X}_i$  האומד לתוחלת קוטר החלקים המיוצרים על ידי מכונה כלשהי.  
 א. מה התנאי שצריך להתקיים על המשקלים  $a_i$ , כדי שהאומד המוצע יהיה בלתי-מוטה?  
 ב. נניח ש- $a_1 = a_2$ .  
 מה במקרה זה המשקלים המביאים את האומד להיות MVUE?

## תשובות סופיות:

- (1) א.  $a + b = 1$ .  
 ב.  $a = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ ,  $b = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ .
- (2) א.  $\sum_{i=1}^3 a_i = 1$ .  
 ב.  $a_1 = a_2 = 0.4$ ,  $a_3 = 0.2$ .