

# מבוא להסתברות להנדסה רפואית

פרק 39 - המשתנה המקרי הדו ממדי הרציף

תוכן העניינים

1. משתנה דו ממדי רציף ..... 1

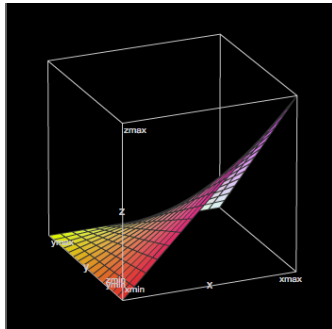
## משתנה מקרי דו ממדי רציף:

### רקע:

יהיו  $X$  ו- $Y$  משתנים מקריים רציפים המוגדרים בתחום  $R$  מסוים. פונקציית הצפיפות המשותפת שלהם תסומן על ידי  $f(x, y)$ . פונקציית צפיפות משותפת צריכה לקיים את שני התנאים הבאים:

$$f(x, y) \geq 0 \quad \text{לכל } (x, y) \in R \quad (1)$$

$$\iint_R f(x, y) dx dy = 1 \quad (2)$$



### דוגמה (פתרון בהקלטה):

$$f(x, y) = \begin{cases} 4x(1-y) & 0 \leq x, y \leq 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} : \text{נתונה הפונקציה}$$

הראו שפונקציה זו יכולה להיות פונקציית צפיפות משותפת.

### פונקציית צפיפות שולית:

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dy : \text{פונקציית הצפיפות השולית של } X \text{ תתקבל באופן הבא}$$

$$f(y) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dx : \text{פונקציית הצפיפות השולית של } Y \text{ תתקבל באופן הבא}$$

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

$$f(x, y) = \begin{cases} 4x(1-y) & 0 \leq x, y \leq 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} : \text{מצאו לפונקציית הצפיפות}$$

את פונקציית הצפיפות השולית של  $X$ , וחשבו את  $E(X)$  דרכה.

### אי-תלות בין משתנים רציפים:

$X$  ו- $Y$  יהיו משתנים מקרים בלתי תלויים, אם עבור כל  $X$  ו- $Y$  בתחום ההגדרה  $R$  מתקיים ש:

$$f(x, y) = f(x) \cdot f(y)$$

**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

האם  $X$  ו- $Y$ , המתפלגים לפי פונקציית הצפיפות המשותפת:

$$f(x, y) = \begin{cases} 4x(1-y) & 0 \leq x, y \leq 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

הם משתנים בלתי תלויים?

**חישוב הסתברויות עבור משתנה מקרי רציף דו ממדי:**

הנפח הכלוא מתחת למשטח  $f(x, y)$  בתחום מסוים ייתן את ההסתברות ש- $X$

$$\text{ו-} Y \text{ יהיו בתחום הזה: } P[(x, y) \in A] = \iint_A f(x, y) dx dy$$

**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

$$f(x, y) = \begin{cases} 4x(1-y) & 0 \leq x, y \leq 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{משתנים מתפלגים לפי פונקציית הצפיפות:}$$

חשבו את הסיכוי:  $P(X < 0.5 \cap Y < 0.5)$ .

**פונקציית התפלגות מצטברת משותפת:**

פונקציית התפלגות מצטברת משותפת הינה פונקציה של שני משתנים רציפים המחזירה את הסיכוי שהמשתנים יהיו קטנים מערכים מסוימים:

$$F(s, t) = P(X \leq s \cap Y \leq t) = \int_{-\infty}^t \int_{-\infty}^s f(x, y) dx dy$$

**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

$$f(x, y) = \begin{cases} 4x(1-y) & 0 \leq x, y \leq 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{משתנים מתפלגים לפי פונקציית הצפיפות:}$$

מצאו את פונקציית ההתפלגות המצטברת המשותפת

ועל פיה חשבו את הסיכוי:  $P(X < 0.5 \cap Y < 0.5)$ .

**פונקציית צפיפות מותנית:**

אם ל-  $X$  ול-  $Y$  ישנה פונקציית צפיפות משותפת  $f(x, y)$ , אז מגדירים את פונקציית הצפיפות המותנית של  $X$ , בהינתן ש-  $Y = y$  לכל ערכי  $y$

$$. f(x|y) = \frac{f(x, y)}{f(y)} \quad : f(y) > 0 \text{ על ידי}$$

באופן דומה, פונקציית הצפיפות המותנית של  $Y$  בהינתן ש-  $X = x$  לכל ערכי  $x$

$$. f(y|x) = \frac{f(x, y)}{f(x)} \quad : f(x) > 0 \text{ על ידי}$$

**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

$$. f(x, y) = \begin{cases} 4x(1-y) & 0 \leq x, y \leq 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad : \text{משתנים מתפלגים לפי פונקציית הצפיפות}$$

. מצאו את:  $f(x|y)$

**תוחלת מותנית:**

ל-  $X$  ול-  $Y$  ישנה פונקציית צפיפות משותפת  $f(x, y)$ .

$$. E(X|Y=y) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x|y) dx \quad : \text{בהינתן ש- } Y = y \text{ תהיה}$$

ובאופן דומה, התוחלת של  $Y$  בהינתן ש-  $X = x$  תהיה:

$$. E(Y|X=x) = \int_{-\infty}^{\infty} y \cdot f(y|x) dy$$

**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

$$. f(x, y) = \begin{cases} 4x(1-y) & 0 \leq x, y \leq 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad : \text{משתנים מתפלגים לפי פונקציית הצפיפות}$$

. מצאו את:  $E(X|Y)$

## שאלות:

- (1) נתונה פונקציית הצפיפות הבאה:  $f(x, y) = x + y$ , המוגדרת בתחום שבו:  $0 \leq x \leq 1$  וגם:  $0 \leq y \leq 1$ . הוכיחו שמדובר בפונקציית צפיפות.
- (2) נתונה פונקציית הצפיפות הבאה:  $f(x, y) = Ax(x - y)$ , המוגדרת בתחום שבו:  $0 \leq x \leq 2$  וגם:  $-x \leq y \leq x$ . מצאו את ערכו של הפרמטר  $A$ .
- (3) נתונה פונקציית הצפיפות הבאה:  $f(x, y) = \frac{(x \cdot y)^3 + x \cdot y}{C}$ , המוגדרת בתחום שבו:  $0 \leq x \leq 1$  וגם:  $0 \leq y \leq 1$ .
- מצאו את ערכו של  $C$ .
  - מצאו את  $f(y)$ .
  - האם  $X$  ו- $Y$  הינם משתנים בלתי תלויים?
- (4) משתנה מקרי דו ממדי מתפלג לפי פונקציית הצפיפות הבאה:  $f(x, y) = \frac{1}{800}$ , המוגדרת בתחום שבו:  $60 \leq x \leq y$  וגם:  $60 \leq y \leq 100$ .
- הראו שפונקציה זו מקיימת את התנאים של פונקציית צפיפות.
  - מצאו את פונקציית הצפיפות השולית של  $Y$ .
  - חשבו את  $E(X)$ ,  $V(X)$ .
  - האם  $X$  ו- $Y$  הם משתנים בלתי תלויים?
  - חשבו את מקדם המתאם בין  $X$  ל- $Y$ .
  - חשבו את הסיכוי:  $P(Y > X + 10)$ .
- (5) משתנה מקרי דו ממדי מתפלג לפי פונקציית הצפיפות הבאה:
- $$f(x, y) = \lambda \mu \cdot e^{-(\lambda x + \mu y)}$$
- בתחום שבו:  $x, y > 0$ .
- מצאו את פונקציית הצפיפות של  $X$  ואת פונקציית הצפיפות של  $Y$ .
  - האם  $X$  ו- $Y$  הם משתנים תלויים?
  - מהו מקדם המתאם בין  $X$  ל- $Y$ ?
  - חשבו את הסיכוי:  $P(Y > X)$ .

(6)  $Y$  הינו משתנה מקרי אחיד רציף המתפלג בקטע:  $[2, 4]$ .

בנוסף, נתון ש- $X$  הינו משתנה מקרי רציף המקיים:  $0 \leq x \leq y$ ,  $f(x|y) = \frac{2x}{y^2}$ .  
מצאו את השונות המשותפת של  $X$  ו- $Y$ .

(7) נתונים שני משתנים מקרים רציפים  $X$  ו- $Y$ . פונקציות הצפיפות

המשותפות שלהם היא:  $f(x, y) = \begin{cases} x & 0 < y < 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$   $1 - y \leq x \leq 1 + y$

א. מצאו את  $f(x)$ .

ב. מצאו את  $f(y|x)$ .

ג. מצאו את  $E(Y|X)$ .

(8) יהיו  $X$  ו- $Y$  משתנים רציפים המתפלגים אחיד בתוך משולש

שקדקודיו:  $(-1, 2)$ ,  $(-1, 0)$ ,  $(0, 1)$ .

א. רשמו את פונקציית הצפיפות המשותפת.

ב. מצאו את פונקציית הצפיפות השולית של  $X$  ו- $Y$ .

ג. חשבו את התוחלת של  $X$  ו- $Y$ .

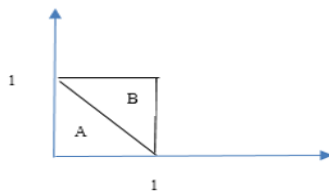
ד. האם  $X$  ו- $Y$  משתנים בלתי מתואמים?

ה. האם  $X$  ו- $Y$  משתנים בלתי תלויים?

(9) פונקציית צפיפות משותפת מקבלת ערך אחיד באופן הבא:

הצפיפות על פני משולש  $A$  הינה 1.5 והצפיפות על פני משולש  $B$  היא 0.5.

האם פונקציית הצפיפות המשותפת היא לגיטימית?



א. מצאו את  $f(x)$ .

ב. מצאו את  $f(x|y)$ .

(10) נתונה פונקציית הצפיפות המשותפת:  $f(x, y) = cx$ . פונקציה זו מוגדרת

בתחום שבו:  $0 \leq x \leq 1$  וכן:  $0 \leq y \leq x^2$ .

א. מצאו את הקבוע  $C$ .

ב. חשבו את ההסתברות ש- $6Y < 1 - X$ .

**(11)** נתונים  $X$  ו- $Y$  שני משתנים מקריים רציפים כך ש:  $Y \sim U(0,1)$

ו- $X|Y=y \sim U(0, \sqrt{y})$ . חשבו את:  $E(Y|X=0.5)$ .

**(12)** נתונה פונקציית הצפיפות:  $f(x, y) = 2e^{-x} \cdot e^{-2y}$  בתחום שבו:  $x, y \geq 0$ .

חשבו את הסיכוי:  $P(X < Y)$ .

**(13)** נתונה פונקציית הצפיפות המשותפת:  $f(x, y) = \frac{e^{-y} \cdot e^{-\frac{x}{y}}}{y}$ , המוגדרת לרביע

הראשון. חשבו את:  $P(X > 1|Y = 2)$ .

**(14)** יוסי וערן עובדים באותו המשרד. הם מגיעים לעבודה בכל יום בין 8:00 ל-9:00.

נניח שזמן ההגעה של כל אחד מתפלג אחיד ובאופן בלתי תלוי זה בזה.

מה הסיכוי שיוסי יצטרך לחכות לערן יותר מ-10 דקות?

**(15)** נתונים שני משתנים מקרים רציפים:  $X \sim N(Y, 1)$  ו- $Y \sim U(0, 2)$ .

א. מצאו את פונקציית הצפיפות המשותפת של  $X$  ו- $Y$ .

ב. מצאו את  $E(X^2|Y)$ .

ג. מצאו את  $E(X)$ .

**(16)** פונקציית הצפיפות המשותפת של  $X$  ו- $Y$  היא:  $f(x, y) = 1$ .

פונקציה זו מוגדרת בתחומי:  $0 \leq x, y \leq 1$ .

הוכיחו ש:  $E(|X - Y|^n) = \frac{2}{(n+1)(n+2)}$ .

**(17)**  $X \sim \exp(1)$  וכן:  $Y \sim \exp(1)$ , הינם משתנים מקרים בלתי תלויים.

נגדיר את:  $Z = \frac{X}{X+Y}$ .

הוכיחו:  $Z \sim U(0, 1)$ .

## תשובות סופיות:

(1) שאלת הוכחה.

(2)  $A = \frac{1}{8}$ .

(3) א.  $\frac{5}{16}$  ב.  $f(y) = 0.8y^3 + 1.6y$  ג. תלויים.

(4) א. שאלת הוכחה. ב.  $f(y) = \frac{y-60}{800}$  ג.  $E(X) = 73\frac{1}{3}$ ,  $V(X) = 88\frac{8}{9}$ .

ד. לא. ה. 0.5 ו. 0.5625

(5) א.  $f(y) = \mu e^{-\mu y}$ ,  $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$  ב. לא.

ג. 0 ד.  $\frac{\lambda}{\lambda + \mu}$

(6)  $\frac{2}{9}$

(7) א.  $f(x) = \begin{cases} x^2 & 0 \leq x < 1 \\ 2x - x^2 & 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$

$$E(y|x) = \begin{cases} 1 - \frac{x}{2} & 0 \leq x < 1 \\ \frac{x}{2} & 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{ג.}$$

$$f(y|x) = \begin{cases} \frac{1}{x} & 0 \leq x < 1 \quad 1 - x < y < 1 \\ \frac{1}{2-x} & 1 \leq x \leq 2 \quad x-1 < y < 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{ב.}$$

(8) א.  $f(x, y) = \begin{cases} 1 & 1+x < y < 1-x-1 < x < 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$

$$f(y) = \begin{cases} y & 0 \leq y < 1 \\ 2-y & 1 \leq y \leq 2 \\ 0 & \text{else} \end{cases}, \quad f(x) = \begin{cases} -2x & -1 < x < 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{ב.}$$

ג.  $E(X) = -\frac{2}{3}$ ,  $E(Y) = 1$  ד. כן.

ה. לא.

$$f(x) = \begin{cases} 1.5-x & 1 < x < 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{ב.} \quad \text{9) א. כן.}$$

$$f(x|y) = \begin{cases} \frac{1.5}{1.5-y} & 0 \leq x < 1-y \\ \frac{0.5}{1.5-y} & 1-y \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{ג.}$$

$$\text{10) א. 4.} \quad \text{ב. 0.0947.}$$

$$\text{11) } \frac{7}{12}$$

$$\text{12) } \frac{1}{3}$$

$$\text{13) } e^{-\frac{1}{2}}$$

$$\text{14) } \frac{25}{72}$$

$$f(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-y)^2}{2}} & 0 < y < 2 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{א. 15)$$

$$\text{ב. } y^2 + 1$$

$$\text{ג. 1.}$$

16) שאלת הוכחה.

17) שאלת הוכחה.