

# חדו"א ד

פרק 27 - פונקציות הומוגניות-משפט אוילר

תוכן העניינים

1. פונקציות הומוגניות.....1
2. משפט אוילר.....4

## פונקציות הומוגניות

### שאלות

בשאלות 1-3 בדקו האם הפונקציה הומוגנית ומאיזה סדר :

$$f(x, y) = x^3 \sqrt{y} + y^3 \sqrt{x} \quad (1)$$

$$h(x, y) = \frac{\ln(e^{5x})}{\sqrt[3]{ex^6 - 7y^6}} \quad (2)$$

$$f(x, y) = \ln(4^x) \cdot g\left[\frac{\sqrt{xy}}{x+7y}\right] \quad (3)$$

(4) נתון כי  $z(x, y)$  פונקציה הומוגנית מסדר 3.

בדקו האם הפונקציה  $f(x, y) = \frac{x}{y^4} + \frac{\sqrt{y}}{\sqrt{x^5}} + \frac{1}{z(x, y)} - 4$  הומוגנית.  
 במידה והפונקציה לא הומוגנית, השמיטו ממנה חלק,  
 כך שתתקבל פונקציה הומוגנית.  
 מהו סדר ההומוגניות של הפונקציה במקרה זה?

(5) מצאו עבור איזה ערך של הפרמטר  $\alpha$ , כל אחת מהפונקציות הבאות הומוגניות.  
 כמו כן, מצאו את סדר ההומוגניות עבור ה- $\alpha$  שנמצאה.

$$f(x, y) = \frac{x^4 y + xy^\alpha}{4x + 10y} \quad \text{א.}$$

$$f(x, y) = \sqrt{\frac{y}{x}} (\ln \alpha x - \ln y) \quad \text{ב.}$$

(6) בתרגיל זה נדגים את התכונה הבאה של פונקציות הומוגניות :  
אם פונקציה היא הומוגנית מסדר  $n$ , אז אם נחלק אותה ב-  $x^n$ ,

$$\text{נקבל פונקציה של } \frac{y}{x}.$$

א. הדגימו את הטענה על הפונקציות הבאות :

$$1. f(x, y) = x^2 - xy + 2y^2$$

$$2. f(x, y) = \sqrt{x+y}$$

ב. הוכיחו את הטענה לעיל.

### הערה

ניסוח פורמלי של הטענה לעיל הוא :

אם פונקציה היא הומוגנית מסדר  $n$ , אז קיימת פונקציה  $g(t)$ , כך ש-  $t = \frac{y}{x}$ ,

$$\text{המקיימת } \frac{f(x, y)}{x^n} = g(t).$$

(7) תהיינה  $f$  ו-  $g$  פונקציות ב-  $n$  משתנים, והומוגניות מסדר  $r_1$  ו-  $r_2$ , בהתאמה.  
קבעו, לכל אחת מהפונקציות הבאות, אם היא הומוגנית ומאיזה דרגה :

$$\text{א. } f \cdot g \quad \text{ב. } \frac{f}{g} \quad \text{ג. } \frac{(f)^2}{\sqrt[n]{g}} \quad \text{ד. } f + g$$

(8) נתון כי  $f$  פונקציה הומוגנית מסדר 4.

$$\text{ידוע כי } f(1, 2) = 4, \quad f_x(1, 2) = 10$$

$$\text{חשבו את } f(2, 4), f(0.5, 1), f_x(2, 4), f_x(1.5, 3).$$

(9) נתונה פונקציה  $f(x, y) = x^4 + y^2 z(x, y)$ .

$$\text{ידוע כי } z \text{ פונקציה הומוגנית מסדר 2 וכי } f(4, 10) = 1.$$

$$\text{א. חשבו את } f(2, 5).$$

$$\text{ב. ידוע כי } f_x(1, 1) = 4.$$

$$\text{חשבו את } f_x(a, a), \text{ לכל קבוע } a.$$

## תשובות סופיות

- (1) הומוגנית מסדר 3.5.
- (2) הומוגנית מסדר -1.
- (3) הומוגנית מסדר 1.
- (4) הפונקציה לא הומוגנית. על ידי השמטת חלקים מהפונקציה אפשר לקבל:
- $$f(x, y) = \frac{x}{y^4} + \frac{1}{z(x, y)} \quad \text{הומוגנית מסדר } -3.$$
- $$f(x, y) = \frac{\sqrt{y}}{\sqrt{x^5}} \quad \text{הומוגנית מסדר } -2.$$
- $$f(x, y) = -4 \quad \text{הומוגנית מסדר } 0.$$
- (5) א. עבור  $\alpha = 4$  הפונקציה הומוגנית מסדר 4. ב. הומוגנית מסדר 0 לכל  $\alpha > 0$ .
- (6) א. 1.  $g(t) = 1 - t + 2t^2$  2.  $g(t) = \sqrt{1+t}$  ב. הוכחה.
- (7) א. הומוגנית מדרגה  $r_1 + r_2$ . ב. הומוגנית מדרגה  $r_1 - r_2$ .
- ג. הומוגנית מדרגה  $2r_1 - \frac{r_2}{n}$ .
- ד. הומוגנית מדרגה  $r_1$  רק אם  $r_1 = r_2$ . אחרת לא הומוגנית.
- (8)  $f_x(2, 4) = 80$ ,  $f_x(1.5, 3) = 33.75$ ,  $f(2, 4) = 64$ ,  $f(0.5, 1) = \frac{1}{4}$
- (9) א.  $f(2, 5) = \frac{1}{16}$  ב.  $f_x(a, a) = 4a^3$

## משפט אוילר

## שאלות

(1) נתונה הפונקציה  $f(x, y) = x^2 - xy + 2y^2$ .

- א. הוכיחו שהפונקציה הומוגנית ומצאו את דרגתה.  
ב. הראו שמשפט אוילר מתקיים.

(2) ענו על הסעיפים הבאים:

א. נניח ש-  $f = f(x, y)$  הומוגנית מסדר 0.

הוכיחו כי  $\frac{f_x}{f_y} = -\frac{y}{x}$ .

ב. נתון כי  $f(x, y) = \frac{e^{\frac{x}{y}}(x+y)}{(x-y)(\ln x - \ln y)}$ .

הוכיחו כי  $x \cdot f_x = -y \cdot f_y$ .

(3) ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו כי פונקציית התועלת  $u(x, y) = \left(\frac{1}{2}x^m + \frac{1}{2}y^m\right)^{1/m}$  הומוגנית.

הניחו כי  $m$  קבוע חיובי.

ב. הוכיחו, ללא חישוב ישיר של הנגזרות, כי  $u_y(a, a) = u_y(1, 1)$ .

ג. הוכיחו, ללא חישוב ישיר של הנגזרות, כי  $u_x(2, 2) + u_y(1, 1) = 1$ .

(4) תהי  $f$  פונקציה הומוגנית מסדר 2,

ונגדיר  $h(x, y) = x^2 - y^2 + f\left(\frac{x^2}{y}, \frac{y^2}{x}\right)$ .

א. הוכיחו כי  $h$  הומוגנית מסדר 2.

ב. נתון:  $f(8, 1) = 16$ ,  $h'_x(6, 3) = 9$ .

מצאו את  $h(2, 1)$  ואת  $h'_y(2, 1)$ .

(5)  $g$  ו- $h$  הינן פונקציות הומוגניות מסדר 2 ו-10, בהתאמה. נגדיר:

$$f(x, y) = (x + y)h(x, y) + \frac{\sqrt{g(x, y)}}{x^2 + y^2}$$

א. הוכיחו כי  $f$  הומוגנית מסדר 3.

ב. נתון:  $h(4, 32) = 16$ ,  $f'_y(1, 8) = 3$ ,  $f'_x(2, 16) = 12$ ,

מצאו את  $f(1, 8)$  ואת  $g(1, 8)$ .

(6)  $f$  הומוגנית מסדר 4,  $g$  הומוגנית מסדר 2 ו- $h$  הומוגנית מסדר 0.

נגדיר פונקציה  $p(x, y) = f(x, y) + g(x, y) - h(x, y)$ .

נתון:  $p(1, 2) = \frac{7}{2}$ ,  $h\left(\frac{1}{2}, 1\right) = \frac{5}{2}$ ,  $f'_y(-1, -2) = -4$ ,  $f'_x(2, 4) = 64$ .

חשבו את  $g\left(\frac{1}{2}, 1\right)$ .

(7) הפונקציה  $f(x, y)$  הומוגנית מסדר 3. הנתונים בשרטוט.

א. מצאו את שיעורי הנקודה B.

ב. מצאו את ערך הסכום  $f_x(4, 8) + 2f_y(4, 8)$ .

ג. נגדיר פונקציה חדשה  $u(x, y)$ ,

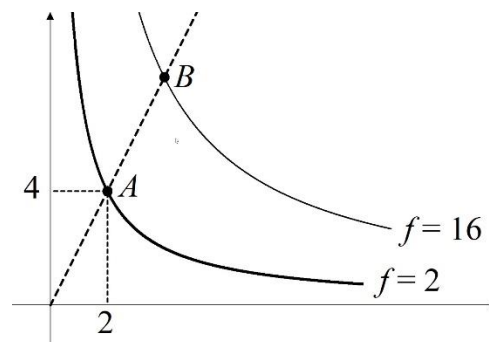
$$u(x, y) = (f(x, y))^2$$

1. לפי כללי הגזירה, מתקיים  $u_x(x, y) = 2 \cdot f(x, y) \cdot f'_x(x, y)$ .

הסבירו זאת בקצרה.

2. הוכיחו כי  $x \cdot u_x(x, y) + y \cdot u_y(x, y) = 6(f(x, y))^2$ .

היעזרו בסעיף הקודם ובנתונים על  $f$ .



(8) תהי  $f(x, y)$  פונקציה הומוגנית מסדר  $m$ ,

המקיימת  $f(6, 3) = 243$  ו-  $f(2, 1) = 27$ .

א. מצאו את סדר ההומוגניות,  $m$ .

ב. בנקודה  $(2, 1)$  עוברת עש"ע של  $f$ .

העבירו משיק לעש"ע בנקודה הנ"ל.

המשיק הוא  $2x + 3y = 7$ .

מצאו את  $f_x(2, 1)$ ,  $f_y(2, 1)$ ,  $f_x(1, 0.5)$ .

(9) תהי  $g(t)$  פונקציה של משתנה אחד.

על הפונקציה  $g$  ידוע, כי  $g'(8) = 2$ ,  $g(1) = 3$ ,  $g(4) = 5$ .

המשתנה  $t$  תלוי במשתנים החיוביים  $(x, y)$ , כך:  $t = \frac{4y}{x}$ .

נגדיר תועלת  $u$  כפונקציה של המשתנים  $(x, y)$ , באופן הבא:

$$u(x, y) = g(t) = g\left(\frac{4y}{x}\right)$$

א. באיור שלהלן קרן עם שיפוע 1.

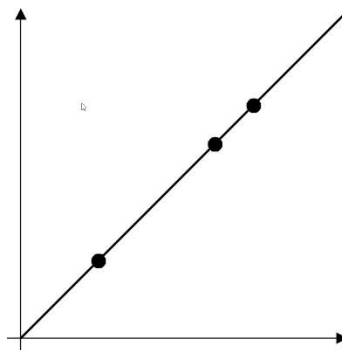
מה הערך של התועלת בנקודות המסומנות על הקרן?

ב. הוכיחו כי הקרן  $4y - x = 0$  היא עקומת אדישות של התועלת.

ציירו את הקרן הזאת ורשמו באיור מה הערך של התועלת.

ג. הוכיחו כי התועלת היא פונקציה הומוגנית. מהו סדר ההומוגניות?

ד. הוכיחו כי  $u_x(1, 2) = -16$ .



(10) נניח ש-  $f = f(x, y)$  הומוגנית מסדר 1.

הוכיחו כי  $x^2 f_{xx} + 2xy f_{xy} + y^2 f_{yy} = 0$ .

**(11)** הוכיחו או הפריכו כל אחת מהטענות הבאות :

א. אם  $f_x(x, y)$  הומוגנית מסדר 4, אז  $f(x, y)$  הומוגנית מסדר 5.

ב. אם פונקציה  $f(x, y)$  מקיימת  $f(2, 4) = 2^3 f(1, 2)$ ,

אז הפונקציה הומוגנית מסדר 3.

### תשובות סופיות

(1) שאלת הוכחה.

(2) שאלת הוכחה.

(3) שאלת הוכחה.

(4) א. שאלת הוכחה. ב.  $h(2, 1) = 4$   $h'_y(2, 1) = 8$

(5) א. שאלת הוכחה. ב.  $g(1, 8) = 0$ ,  $f(1, 8) = 9$

(6)  $-\frac{3}{4}$

(7) א.  $B(4, 8)$  ב. 12 ג. שאלת הוכחה והסבר.

(8) א. 2 ב.  $f_x(1, 0.5) = \frac{54}{7}$ ,  $f_y(2, 1) = \frac{3\left(\frac{108}{7}\right)}{2}$ ,  $f_x(2, 1) = \frac{108}{7}$

(9) א. 5 ב-ד. שאלות הוכחה.

(10) שאלת הוכחה.

(11) א. הטענה אינה נכונה. ב. הטענה אינה נכונה.