

# אנליזה מתקדמת

פרק 19 - נגזרת מכוונת וגרדיאנט

תוכן העניינים

1. נגזרת מכוונת וגרדיאנט.....1

## נגזרת מכוונת וגרדיאנט

### שאלות

(1) תהי  $f(x, y) = x^2 + y^2$ .

א. חשב את הגרדיאנט של  $f$  ואת אורכו בנקודה  $(3, 4)$ .  
 מהי משמעות התוצאה?

ב. הראה שהגרדיאנט הוא נורמל לקו הגובה של  $f$ , העובר דרך  $(3, 4)$ .

(2) תהי  $f(x, y) = 3x^2y$ .

חשב את הנגזרת המכוונת של  $f$  בנקודה  $(1, 2)$ , בכיוון הווקטור  $\vec{u} = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{j}$ .

(3) תהי  $f(x, y) = x - \sin(xy)$ .

חשב את הנגזרת המכוונת של  $f$  בנקודה  $\left(1, \frac{\pi}{2}\right)$ ,

בכיוון הווקטור  $\vec{u} = \frac{1}{2}\mathbf{i} + \frac{\sqrt{3}}{2}\mathbf{j}$ .

(4) תהי  $f(x, y) = 2x^2 - 3xy + 5y^2$ .

חשב את הנגזרת המכוונת של  $f$  בנקודה  $(1, 2)$ , בכיוון וקטור היחידה, היוצר זווית של  $45^\circ$  עם החלק החיובי של ציר ה- $x$ .

(5) תהי  $f(x, y) = xy^2$ .

חשב את הנגזרת המכוונת של  $f$  בנקודה  $(1, 3)$  בכיוון לנקודה  $(4, 5)$ .

(6) תהי  $f(x, y, z) = x^2y^2z$ .

חשב את הנגזרת המכוונת של  $f$  בנקודה  $(2, 1, 4)$ ,

בכיוון הווקטור  $\vec{u} = 1\cdot\mathbf{i} + 2\cdot\mathbf{j} + 2\cdot\mathbf{k}$ .

(7) אם הפוטנציאל החשמלי  $V$  בנקודה  $(x, y)$ , נתון על ידי  $V = \ln\sqrt{x^2 + y^2}$ , מצא את קצב השינוי של הפוטנציאל בנקודה  $(3, 4)$  בכיוון לנקודה  $(2, 6)$ .

(8) מצא את הכיוון בו הנגזרת המכוונת של  $f(x, y) = e^x(\cos y + \sin y)$  בנקודה  $(0, 0)$  היא מקסימלית, וחשב את ערכה.

9 מצא את הכיוון בו הנגזרת המכוונת של הפונקציה  $f(x, y, z) = 2x^3y - 3y^2z$  בנקודה  $(1, 2, -1)$  היא מקסימלית, וחשב את ערכה.

10 אם הטמפרטורה נתונה על ידי  $f(x, y, z) = 3x^2 - 5y^2 + 2z^2$ , ואני נמצא בנקודה  $\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{2}\right)$  ורוצה להתקרר כמה שיותר מהר, באיזה כיוון עליי ללכת?

11 נתונה הפונקציה  $f(x, y) = 4x^2y$ .

- מצא את הנגזרת המכוונת של הפונקציה בנקודה  $(1, 2)$ , בכיוון וקטור היוצר זווית של  $30^\circ$  עם הכיוון החיובי של ציר ה- $x$ .
- מצא את הנגזרת המכוונת של הפונקציה בנקודה  $(1, 2)$ , בכיוון וקטור היוצר זווית של  $30^\circ$  עם הכיוון החיובי של ציר ה- $y$ .
- מצא הצגה פרמטרית של הישר המשיק לגרף הפונקציה בנקודה  $(1, 2)$ , בכיוון הווקטור הנתון בסעיף ב'.

12 נתונה הפונקציה  $f(x, y, z) = x^2yz^4$ .

- מצא את הנגזרת המכוונת של הפונקציה בנקודה  $(1, 2, -1)$ , בכיוון וקטור היוצר זווית של  $60^\circ$  עם הכיוון החיובי של ציר ה- $x$ , ו- $60^\circ$  עם הכיוון החיובי של ציר ה- $z$ .
- הנח שהזווית עם ציר ה- $y$  חדה.

13 נתונה הפונקציה  $f(x, y) = xy^2 - x^2y^{-3}$  ונתונה הנקודה  $Q(1, 1)$ .

- חשב את הנגזרת הכיוונית של הפונקציה בנקודה  $Q$ , בכיוון וקטור שיוצר זווית של  $60^\circ$  עם הכיוון החיובי של ציר ה- $x$ .

ב. מצא וקטור  $\bar{u}$ , כך ש- $\frac{\partial f}{\partial \bar{u}}(Q) = 0$ .

ג. האם קיים וקטור  $\bar{u}$ , כך ש- $\frac{\partial f}{\partial \bar{u}}(Q) = 6$ .

$$(14) \text{ נתונה הפונקציה } f(x, y) = \begin{cases} \frac{x^3 - xy^2}{x^2 + 4y^2} & (x, y) \neq (0, 0) \\ 0 & (x, y) = (0, 0) \end{cases}$$

- א. הוכח כי הפונקציה רציפה בנקודה  $(0, 0)$ .
- ב. חשב את הנגזרות החלקיות של הפונקציה בנקודה  $(0, 0)$ .
- ג. חשב את  $\nabla f(0, 0)$ .
- ד. בדוק דיפרנציאביליות הפונקציה בנקודה  $(0, 0)$ .
- ה. מצא את הנגזרת המכוונת של הפונקציה  $f$  בנקודה  $(0, 0)$ , בכיוון הווקטור  $\vec{u} = (1, -1)$ .
- ו. הסבר מדוע הפונקציה אינה דיפרנציאבילית, בדרך שונה מהדרך בסעיף ד'.

$$(15) \text{ הפונקציה } f(x, y, z) = 2x^2 + 4y^2 + z^2, \text{ מתארת טמפרטורה בנקודה } (x, y, z)$$

- א. מהי הטמפרטורה בנקודה  $(2, 4, 1)$ ?
- ב. אוסף הנקודות  $(x, y, z)$ , בהן הטמפרטורה שווה  $20^\circ$ , מהווה משטח מפורסם. מהו?
- ג. נמלה שנמצאת בנקודה  $(2, 4, 1)$  רוצה להגיע לטמפרטורה גבוהה יותר. באיזה כיוון עליה לנוע, על מנת שקצב שינוי הטמפרטורה יהיה מקסימלי?
- ד. הנמלה שלנו נמצאת כעת על שולחן בגובה 1 (מישור  $z=1$ ), בנקודה  $(2, 4, 1)$ . כמו בסעיף ג, היא רוצה להגיע לטמפרטורה גבוהה יותר, אך הפעם אסור לה לעזוב את השולחן. באיזה כיוון עליה לנוע על מנת שקצב השינוי שלה יהיה מקסימלי?

$$(16) \text{ גֵּלָה מוחזקת בנקודה } (2, 1, 14), \text{ שעל המשטח } z = 20 - x^2 - 2y^2$$

משחררים את הגֵּלָה והיא מתחילה לנוע על המשטח כלפי מטה.

- א. מהו המשטח הנתון?
- ב. מצא את הווקטור  $\vec{u} = (a, b, c)$ , המתאר את כיוון הנפילה של הגֵּלָה.

$$(17) \text{ תהי } f = f(x, y) \text{ פונקציה דיפרנציאבילית בכל המישור, המקיימת:}$$

$$1. f(x, x^2) = \frac{x^2}{2} + x^4 \text{ לכל } x$$

$$2. \text{ הנגזרת המכוונת של } f(x, y), \text{ בנקודה } (1, 1), \text{ בכיוון הווקטור } \left(\frac{4}{5}, \frac{3}{5}\right)$$

שווה 1.

חשב את הגרדיאנט של  $f$  בנקודה  $(1, 1)$ .

18 נתונה  $f = f(x, y, z)$  דיפרנציאבילית, המקיימת  $f(x, y, x^2 + y^2) = 2x + y$ .

נתון כי  $\frac{\partial f}{\partial \vec{u}}(0, 2, 4) = -\frac{5}{3}$ , כאשר  $\vec{u} = (-2, 1, 2)$ .  
חשב את  $\nabla f(0, 2, 4)$ .

19 נתונה הפונקציה  $f(x, y) = 12x^{\frac{1}{3}}y^{\frac{2}{3}}$ .

א. חשב את  $\frac{\partial f}{\partial \vec{u}}(8, 1)$  בכיוון הווקטור  $\vec{u} = (3, 4)$ .

ב. בדוק האם הפונקציה דיפרנציאבילית בנקודה  $(0, 0)$ .

ג. חשב  $\frac{\partial f}{\partial \vec{v}}(0, 0)$ , בכיוון וקטור  $\vec{v}$ , היוצר זווית  $\alpha$

עם הכיוון החיובי של ציר ה- $x$ .

ד. באיזה כיוון  $\alpha$ , הנגזרת המכוונת  $\frac{\partial f}{\partial \vec{v}}(0, 0)$  תהיה מקסימלית?

מהו הערך המקסימלי של הנגזרת?

20 נתונה הפונקציה  $f(x, y) = \begin{cases} x^2 \sin \frac{1}{x^2} + 20x + 21y & x \neq 0 \\ 21y & x = 0 \end{cases}$

א. עבור אלו ערכים של  $m$  מתקיים  $\frac{\partial f}{\partial \hat{u}}(0, 0) < m$ , לכל וקטור יחידה  $\hat{u}$ ?

ב. מצא וקטור יחידה  $\hat{u}$ , המקיים  $\frac{\partial f}{\partial \hat{u}}(0, 0) = 0$ .

### הערות סימון

1 במישור  $\mathbb{R}^2$ :  $\mathbf{i} = (1, 0)$ ,  $\mathbf{j} = (0, 1)$ , ולכן ניתן לסמן וקטור במישור בשתי דרכים:

$$\vec{u} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} \text{ או } \vec{u} = (x, y)$$

$$\vec{u} = (3, 4) \Leftrightarrow \vec{u} = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{j}$$

במרחב  $\mathbb{R}^3$ :  $\mathbf{i} = (1, 0, 0)$ ,  $\mathbf{j} = (0, 1, 0)$ ,  $\mathbf{k} = (0, 0, 1)$

ולכן ניתן לסמן וקטור במרחב בשתי דרכים:  $\vec{v} = (x, y, z)$ , או  $\vec{v} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$ .

$$\vec{u} = (3, 4, 5) \Leftrightarrow \vec{u} = 3 \cdot \mathbf{i} + 4 \cdot \mathbf{j} + 5 \cdot \mathbf{k}$$

2 יש המסמנים וקטור  $\vec{u}$  גם  $\underline{u}$  או  $\mathbf{u}$ .

3 וקטור יחידה יסומן  $\hat{u}$ .

## תשובות סופיות

- (1) א. הגרדיאנט  $(6, 8)$ . ב. אורך הגרדיאנט 10.
- (2)  $\frac{48}{5}$  (3)  $\frac{1}{2}$  (4)  $7.5\sqrt{2}$
- (5)  $3\sqrt{13}$  (6)  $\frac{88}{3}$  (7)  $\frac{1}{5}\sqrt{5}$
- (8) הנגזרת המכוונת מקסימלית בכיוון הווקטור  $(1, 1)$  ושווה ל- $\sqrt{2}$ .
- (9) הנגזרת המכוונת מקסימלית בכיוון הווקטור  $(12, 14, -12)$  ושווה ל-22.
- (10) בכיוון הווקטור  $(-2, 2, -2)$ .
- (11) א.  $8\sqrt{3} + 2$ . ב.  $8 + 2\sqrt{3}$ . ג.  $\ell: (1, 2, 4) + t\left(\frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}, 8 + 2\sqrt{3}\right)$
- (12)  $\frac{1}{\sqrt{2}} - 2$
- (13) א.  $-\frac{1}{2} + \frac{5}{2}\sqrt{3}$ . ב.  $\vec{u} = (5, 1)$  (יש עוד). ג. לא.
- (14) א. הוכחה. ב.  $f_x = 1, f_y = 0$ . ג.  $\nabla f(0, 0) = (1, 0)$
- (15) א. 73 מעלות. ב. אליפסואיד. ג. בכיוון הווקטור  $(8, 32, 2)$ . ד. בכיוון הווקטור  $(8, 32)$ .
- (16) א. פרבולואיד. ב.  $\vec{u} = (4, 4, -32)$
- (17)  $\nabla f(1, 1) = \begin{pmatrix} -1 \\ 3 \end{pmatrix}$
- (18)  $\nabla f(0, 2, 4) = (2, -3, 1)$
- (19) א.  $\frac{67}{5}$ . ב. לא דיפרנציאבילית. ג.  $12(\cos \alpha - \cos^3 \alpha)^{\frac{1}{3}}$
- ד.  $\text{Max} \frac{\partial f}{\partial \vec{v}}(0, 0) = 12\left(2/\sqrt{27}\right)^{\frac{1}{3}}, \alpha = 54.73^\circ$
- (20) א.  $m > 29$ . ב.  $\hat{u} = (21/29, -20, 29)$  (יש אחרים).