

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה



## תוכן העניינים

|     |                                                          |     |
|-----|----------------------------------------------------------|-----|
| 1.  | קומבינטוריקה בסיסית.                                     | 1   |
| 2.  | הבינום של ניוטון                                         | 15  |
| 3.  | הכלה והדחה                                               | 17  |
| 4.  | נוסחאות נסיגה (רקורסיה).                                 | 20  |
| 5.  | שובך היונים                                              | 25  |
| 6.  | תורת הגרפים                                              | 27  |
| 7.  | יסודות ההסתברות                                          | 46  |
| 8.  | פעולות בין מאורעות (חיתוך ואיחוד) - מאורעות זרים ומכילים | 50  |
| 9.  | שאלות מסכמות בהסתברות                                    | 59  |
| 10. | קומבינטוריקה - כלל המכפלה.                               | 64  |
| 11. | תלות ואי תלות בין מאורעות                                | 68  |
| 12. | קומבינטוריקה - תמורה - סידור עצמים בשורה                 | 71  |
| 13. | הסתברות מותנית-במרחב מדגם אחיד                           | 74  |
| 14. | הסתברות מותנית - מרחב לא אחיד                            | 77  |
| 15. | דיאגרמת עצים - נוסחת בייס ונוסחת ההסתברות השלמה          | 81  |
| 16. | קומבינטוריקה - תמורה עם עצמים זהים                       | 86  |
| 17. | קומבינטוריקה - שאלות מסכמות                              | 88  |
| 18. | קומבינטוריקה - דגימה ללא סדר וללא החזרה.                 | 95  |
| 19. | קומבינטוריקה - דגימה ללא סדר ועם החזרה.                  | 98  |
| 20. | המשתנה המקרי הבדיד - פונקציית ההסתברות                   | 102 |
| 21. | קומבינטוריקה - דגימה סידורית ללא החזרה ועם החזרה.        | 106 |
| 22. | המשתנה המקרי הבדיד - טרנספורמציה לינארית                 | 108 |
| 23. | תוחלת ושונות של סכום משתנים מקריים.                      | 111 |

# תוכן העניינים

|     |                                                    |     |
|-----|----------------------------------------------------|-----|
| 24. | המשתנה המקרי הבדיד - תוחלת - שונות וסטיית תקן..... | 114 |
|-----|----------------------------------------------------|-----|

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 1 - קומבינטוריקה בסיסית

תוכן העניינים

1. מבוא לקומבינטוריקה בסיסית.....1
2. קומבינטוריקה יותר לעומק.....7

## מבוא לקומבינטוריקה בסיסית

### שאלות

(1) חשבו, ללא מחשבון :

א.  $\frac{4! \cdot 7!}{0! \cdot 10!}$

ב.  $\frac{14! \cdot 20!}{10! \cdot 17!}$

(2) הוכיחו את הזהויות הבאות :

א.  $(n-2)!(n^2-n) = n!$

ב.  $(n-1)!n^2 + n! = (n+1)!$

ג.  $\frac{1}{(n-1)!} = \frac{(n+2)^2}{(n+2)!} + \frac{n^2-2}{(n+1)!}$

(3) חשבו ללא מחשבון :

א.  $\binom{5}{3}$

ב.  $\binom{4}{1}$

ג.  $\binom{10}{0}$

ד.  $\frac{1}{13} \binom{14}{11}$

(4) הוכיחו את הזהויות הבאות :

א.  $\binom{n}{n} = \binom{n}{0} = 1$

ב.  $\frac{k}{n} \binom{n}{k} = \binom{n-1}{k-1}$

ג.  $\frac{n+1}{k+1} \binom{n}{k} = \binom{n+1}{k+1}$

ד.  $\binom{2n}{n} + \binom{2n}{n-1} = \binom{2n+1}{n}$

- (5) ענו על הסעיפים הבאים:
- א. כמה תוצאות אפשריות יש להטלת קובייה ואחר כך סביבון?  
רשמו את כל התוצאות.
  - ב. כמה תוצאות אפשריות יש להטלת קובייה ואחר כך סביבון ואחר כך מטבע? רשמו את כל התוצאות.
  - ג. עושים ניסוי ומטילים מטבע.  
אם יצא עץ אז מטילים סביבון ואם יצא פלי אז מטילים שוב את המטבע ולאחר מכן סביבון.  
כמה תוצאות אפשריות לניסוי?  
למשל (פלי, פלי, גדול) ו-(עץ, היה) הן תוצאות אפשריות.  
רשמו את כל התוצאות.
- (6) ענו על הסעיפים הבאים:
- א. מהאותיות ב, ג, ד, ה ניצור מילה בת שתי אותיות, לא בהכרח בעלת משמעות. רשמו את כל המילים האפשריות ואשרו עם עיקרון הכפל.
  - ב. מהאותיות א, ב, ג, ד, ה ניצור מילה בת שלוש אותיות, לא בהכרח בעלת משמעות. כמה מהמילים הנ"ל מתחילות באות א וגם א מופיעה פעם אחת בדיוק?  
(רמז: סעיף קודם)
- (7) במסעדה מציעים ארוחה עסקית, המורכבת ממנה ראשונה, עיקרית ושתייה. המנה הראשונה יכולה להיות סלט ירקות, סלט פטריות, סלט כבד קצוץ או מרק עוף. המנה העיקרית יכולה להיות סטייק אנטרקוט, שניצל, כבד אווז, דג, לזניה טבעונית, או שניצל מהצומח, ולשתייה מוצע, קפה, תה, לימונדה או קולה.
- א. כמה ארוחות אפשריות יש?
  - ב. כמה ארוחות אפשריות יש אם אין שתיה חמה?
  - ג. כמה ארוחות אפשריות יש למסעדה להציע לסועדת טבעונית?
- (8) כמה תת קבוצות יש לקבוצה  $A = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ ,
- א. בנות שלושה איברים? רשמו את כולן.
  - ב. בנות ארבעה איברים? השוו לסעיף א'.
  - ג. רשמו את כל התמורות של 0001111 והשוו לסעיפים קודמים.
  - ד. בכמה תמורות של המספרים 0011222222 כל 0 חייב להופיע ליד 1?
- (9) בכמה אופנים שונים ניתן להרכיב זוג מתלמידי כיתות א', אם בכיתה א' יש 20 בנים ובכיתה א' 2 יש 15 בנות, כך ש:
- א. ללא הגבלה.
  - ב. זוג מעורב (בן ובת).
  - ג. זוג חד מיני (שני בנים, או שתי בנות).

**10** בלוטו יש 45 מספרים וצריך לנחש 6 מספרים ואת המספר החזק מתוך הקבוצה  $\{1, 2, 3, 4, \dots, 10\}$ . כמה אפשרויות יש?

**11** בכמה אופנים שונים ניתן לבחור מספר תלת ספרתי כך ש:  
 א. ללא הגבלה (זכרו שמספר לא יכול להתחיל באפס).  
 ב. כל ספרותיו שונות.  
 ג. כל ספרותיו שונות וסדר הספרות לא משנה?  
 (למשל 123 ו-321 נחשבים אותו דבר)  
 ד. כל ספרותיו שונות וגם בסדר יורד. כלומר, ספרת המאות גדולה או שווה מספרת העשרות גדולה או שווה מספרת היחידות.  
 ה. כל ספרותיו שונות וגם בסדר עולה. כלומר, ספרת המאות קטנה או שווה מספרת העשרות קטנה או שווה מספרת היחידות.

**12** כמה מספרים מורכבים מהמספרים 1,2,3,4,5,6,7, יש, כך ש:  
 א. באורך 7?  
 ב. באורך 7 וכל ספרה מופיעה פעם אחת לכל היותר?  
 ג. באורך 7 וכל ספרה מופיעה פעם אחת לפחות?

**13** בכמה אופנים שונים ניתן להושיב 5 זוגות נשואים על ספסל בן 10 מקומות (ענו גם לגבי שולחן עגול) כך ש:  
 א. ללא הגבלה.  
 ב. כל אישה תשב לצד בן-זוגה.  
 ג. גבר ישב רק ליד אישה.  
 ד. אף שתי נשים לא ישבו זו לצד זו ואף שני גברים לא ישבו זה לצד זה.

**14** כמה מספרים שונים בני חמש ספרות ניתן להרכיב מהספרות 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, כך ש:

- א. ללא הגבלה.
- ב. המספר מתחיל בספרה 2.
- ג. המספר לא מתחיל בספרה 2.
- ד. כל הספרות שונות.
- ה. הספרות 1 וגם 2 לא מופיעות.
- ו. בדיוק אחת מן הספרות 1 או 2 מופיעה.
- ז. ספרות 1 וגם 2 מופיעות.
- ח. חזרו על סעיפים ה-ז כאשר כל הספרות שונות.
- ט. כל הספרות שונות והספרות 1,2 מופיעות צמודות.
- י. כל הספרות שונות והספרות 1,2 מופיעות ולא צמודות.
- יא. כל הספרות שונות והספרות 1,2,3 מופיעות וצמודות.
- יב. כמו סעיף יא וגם הספרות 6,7 מופיעות וצמודות.
- יג. כמו סעיף יא וגם הספרות 6,7 מופיעות ולא צמודות.

**15** בכמה אופנים שונים ניתן להרכיב קוד סודי המורכב מארבע ספרות מתוך הספרות  $0, 1, 2, 3, \dots, 9$ , כך ש:

- ללא הגבלה?
  - הקוד מגדיר מספר זוגי?
  - הקוד מגדיר מספר המתחלק בחמש?
  - אין בקוד ספרות זהות?
  - יש בקוד לפחות שתי ספרות זהות?
  - יש בקוד בדיוק שתי ספרות זהות?
  - אין בקוד את הספרה 5?
  - הספרה 5 חייבת להופיע בקוד?
  - יש בקוד לפחות אחד מהספרות 4, 5?
  - אין בקוד לא את הספרה 4 ולא את הספרה 5?
  - אם יש את הספרה 5 אז אין ספרה יותר גדולה מ-5?
- הדרכה: רשמו שני מספרים המקיימים את התנאי ושניים שאינם מקיימים את התנאי וכתבו מהו המשלים של סעיף זה: נסחו זאת על דרך החיוב. כלומר, בלי להשתמש במילים 'אין' ו-'לא'.

**16** נתונה הקבוצה  $A = \{1, 2, 3, \dots, 17\}$ . כמה תת קבוצות יש ל- $A$  כך ש:

- ללא הגבלה?
- בנות 3 איברים?
- בעלות 3 איברים לפחות?
- מכילות רק מספרים זוגיים? רק אי זוגיים?
- מכילים רק מספרים מאותה זוגיות?
- מכילות אי זוגי אחד לפחות?
- מכילות זוגי אחד לפחות וגם אי זוגי אחד לפחות?
- אם הן מכילות את 1 אז מכילות גם את 2?  
(סעיף קשה; אפשר לנסות בעזרת משלים)
- מכילות ממש את  $\{1, 2, 3\}$ .

**17** בכמה אופנים שונים ניתן להכניס 7 כדורים ל-13 תאים, כך ש:

- הכדורים שונים ומותר יותר מכדור בתא?
- הכדורים זהים ומותר יותר מכדור בתא?
- הכדורים שונים ואסור יותר מכדור בתא?
- הכדורים זהים ואסור יותר מכדור בתא?
- הכדורים שונים ויש תא יחיד ובו שני כדורים ובכל היתר כדור יחיד?
- הכדורים זהים ויש תא יחיד ובו שני כדורים ובכל היתר כדור יחיד?

**18** נתונים חמישה כדורים ונתונים שבעה צבעים שונים (למשל שחור, לבן, אפור, צהוב אדום כחול וסגול).  
 בכמה אופנים שונים ניתן לצבוע את הכדורים ולסדרם בשורה אם:  
 א. סדר הכדורים בשורה משנה.  
 ב. סדר הכדורים בשורה לא משנה.  
 כלומר, ארבעה כדורים שחורים ואחד לבן זה נחשבו אותו דבר לא משנה היכן הלבן ממוקם.

**19** עבור  $A = \{1, 2, 3\}$   $B = \{x, y\}$ , חשבו כמה פונקציות יש מ- $A$  ל- $B$  ומ- $B$  ל- $A$ , ואשרו עם עיקרון הכפל.

## תשובות סופיות

- (1) א.  $\frac{1}{30}$  ב.  $\frac{1001}{285}$
- (2) הוכחה.
- (3) א. 10 ב. 4 ג. 1 ד. 28
- (4) הוכחה.
- (5) א. 24 ב. 48 ג. 12
- (6) א. 16 ב. 16 ג. 16
- (7) א. 96 ב. 48 ג. 16
- (8) א. 35 ב. 35 ג. 35 ד. 180
- (9) א. 595 ב. 300 ג. 295
- (10) 81,450,600
- (11) א. 900 ב. 648 ג.  $\binom{10}{3}$  ד.  $\binom{10}{3}$  ה.  $\binom{9}{3}$
- (12) א.  $\binom{7}{7}$  ב. אין ג. אין
- (13) א. ספסל: 10!, מעגל: 9! ב. ספסל: 5!·2<sup>5</sup>, מעגל: 4!·2<sup>5</sup> ג. ספסל: 2!·(5!)<sup>2</sup>, מעגל: 4!·5! ד. ספסל: 2!·(5!)<sup>2</sup>, מעגל: 4!·5!
- (14) א. 7<sup>5</sup> ב. 7<sup>4</sup> ג. 6·7<sup>4</sup> ד. 3·4·5·6·7 ה. 5<sup>5</sup>
- ו.  $2(6^5 - 5^5)$  ז.  $7^5 - 2 \cdot 6^5 + 5^5$  ח. (ה) 5! ט. (ו) 10·5!
- י. 6·5! יא. 216 יב. 24 יג. 12
- (15) א. 10<sup>4</sup> ב. 5·10<sup>3</sup> ג. 2·10<sup>3</sup> ד. 10·9·8·7
- ה.  $10^4 - 10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7$  ו.  $9^4 \cdot \binom{4}{2} \cdot 10 \cdot 9 \cdot 8$
- ח.  $10^4 - 9^4$  ט.  $10^4 - 8^4$  י. 8<sup>4</sup> יא.  $9^4 + 6^4 - 5^4$
- (16) א. 2<sup>17</sup> ב. 680 ג. 130,918 ד. זוגיים: 2<sup>8</sup>, אי זוגיים: 2<sup>9</sup>, אותה זוגיות: 768
- ה. לפחות אי זוגי אחד: 130,816, לא מאותה זוגיות: 130,304
- ו. 98,304 ז. 16,383
- (17) א. 13<sup>7</sup> ב.  $\binom{19}{7}$  ג.  $\binom{131}{61}$  ד.  $\binom{13}{7}$
- ה.  $13 \cdot \binom{7}{2} \binom{12}{5} 5!$  ו.  $13 \cdot \binom{16}{5}$
- (18) א. 7<sup>5</sup> ב.  $\binom{11}{5}$
- (19) מ-A ל-B: 8, מ-B ל-A: 9

## קומבינטוריקה יותר לעומק

### שאלות

- (1) בכמה אופנים ניתן לסדר 10 אנשים בשורה כך ש:
  - א. ללא הגבלה.
  - ב. אבי ובני סמוכים.
  - ג. אבי, בני וגדי סמוכים.
  - ד. אבי ובני לא סמוכים.
  - ה. אבי ובני סמוכים וגם גדי ודני סמוכים.
  - ו. אבי ובני סמוכים וגדי ודני לא סמוכים.
- (2) בכיתה בה יש 10 בנים ו-15 בנות יש להרכיב נבחרת כדורסל בה יש לפחות שני בנים ולפחות שתי בנות.  
בכמה דרכים ניתן לעשות זאת?
- (3) בכמה אופנים שונים ניתן להניח 8 צריחים על לוח שחמט  $8 \times 8$  מבלי שאף צריח יאיים  
על חברו כך ש:
  - (צריח מאיים על חברו אם הוא נמצא באותה שורה או באותה עמודה של חברו)
  - א. כל הצריחים הם לבנים.
  - ב. שלושה צריחים הם לבנים וחמישה הם שחורים.
  - ג. הצריחים נלקחים מתוך שקית ובה מלאי בלתי מוגבל של צריחים לבנים ומלאי בלתי מוגבל של צריחים שחורים.
- (4) בכמה מספרים 6 ספרתיים מופיעה הספרה:
  - א. 0 פעם אחת בדיוק.
  - ב. 0 פעם אחת לפחות.
  - ג. 7 פעם אחת לפחות.
  - ד. 7 פעם אחת בדיוק.
 יש לזכור שמספר לא יכול להתחיל בספרה 0.
- (5) ענו על הסעיפים הבאים:
  - א. יהי  $n$  טבעי.
 בכמה תת קבוצות של  $\{1, 2, 3, \dots, 2n\}$  יש אי זוגי אחד לפחות?  
 ב. בכמה תת קבוצות של  $\{1, 2, 3, \dots, 2n\}$  יש לפחות  $n+1$  איברים?

- (6) בכמה אופנים שונים ניתן לחלק 10 לימונדות זהות, כוס קולה 1 וכוס קינלי 1 ל-4 תלמידים צמאים, כך שכל תלמיד מקבל לפחות משקה אחד והקולה והקינלי ניתנים לתלמידים שונים?
- (7) בכמה דרכים ניתן לחלק 400 כדורים זהים ל-3 תאים, כך ש:  
 א. יש תא ובו יותר מ-200 כדורים.  
 ב. בכל תא מספר זוגי של כדורים.  
 ג. בשני תאים מתוך השלוש מספר אי זוגי של כדורים ובתא אחד מספר זוגי של כדורים.
- (8) 7 אנשים נכנסים למעלית בבניין בן 13 קומות.  
 בכמה אופנים הם יכולים ללחוץ על כפתורי המעלית כך ש:  
 א. המעלית תעצור בקומה החמישית? (יתכן ותמשיך הלאה משם)  
 ב. המעלית תעצור בקומה החמישית לכל היותר.  
 ג. המעלית תגיע לפחות עד הקומה החמישית.  
 ד. המעלית תעצור בקומה החמישית (ולא תמשיך משם הלאה).
- (9) בכמה דרכים ניתן לחלק  $n$  כדורים לבנים זהים ו- $n$  כדורים צבעוניים (שונים) ל- $2n$ , כך שבכל תא יהיה:  
 א. לכל היותר כדור אחד.  
 ב. לכל היותר כדור לבן אחד ואין מגבלה על מספר הצבעוניים.  
 ג. לכל היותר כדור צבעוני אחד ואין הגבלה על מספר הלבנים.  
 ד. מספר שווה של לבנים וצבעוניים.
- (10) במלבן בן  $k$  שורות ו- $m$  עמודות יש לסמן  $\times$  או  $\circ$  בכל משבצת.  
 א. הראו כי יש  $(2^m - 1)^k$  דרכים לעשות זאת, כך שבכל שורה יופיע  $\times$  אחד לפחות.  
 ב. בכמה דרכים ניתן לעשות זאת, כך שיופיע  $\circ$  אחד לפחות בכל עמודה.  
 ג. הסיקו כי  $2^{mk} \leq (2^m - 1)^k + (2^k - 1)^m$ .
- (11) ענו על הסעיפים הבאים:  
 א. כמה תמורות של  $1, 2, 3, \dots, n$  מספר 2 מופיע בין 1 ל-3? (לאו דווקא צמודים. למשל, עבור  $n = 7$  התמורה 4352981 חוקית, כי 2 נמצא בין 1 ל-3)  
 ב. בכמה תמורות של  $1, 2, 3, \dots, 5$  מימין למספר 3 אין מספרים קטנים מ-3. (למשל 24135 חוקית ואילו 43152 לא חוקית)

- (12) ענו על הסעיפים הבאים:
- א. בכמה אופנים שונים ניתן לחלק 12 אנשים לשלושה זוגות ושתי שלשות?
- ב. כמו סעיף א, אך בנוסף דני ודנה לא נמצאים באותה קבוצה.
- (13) כמה פתרונות בשלמים אי-שליליים יש לכל אחת מהמשוואות הבאות?
- א.  $x_1 + x_2 + \dots + x_7 = 20$
- ב.  $x_1 + x_2 + 5x_3 + x_4 = 14$
- ג.  $(x_1 + x_2 + x_3)(x_4 + x_5 + x_6) = 18$
- (14) בכמה דרכים ניתן לבחור ועדה בת  $n$  אנשים מתוך  $n$  זוגות נשואים, כך ש:
- א. בוועדה לא ישתתף אף זוג נשוי.
- ב. מספר הגברים יהיה שווה למספר הנשים.
- ג. מספר הגברים יהיה קטן ממש ממספר הנשים.
- (15) מצאו כמה פונקציות  $f: \{1, 2, 3, \dots, 3n-1, 3n\} \rightarrow \{1, 2, 3, \dots, n-1, n\}$  מקיימות את התנאי הבא: לכל איבר בתמונה יש בדיוק 3 מקורות.
- (16) מה מספר הדרכים לפזר 50 כדורים אדומים ו-20 כדורים כחולים ל-10 תאים, כך שבכל תא מספר הכדורים האדומים יהיה לפחות כמספר הכדורים הכחולים?
- (17) בכמה דרכים ניתן לחלק קבוצה בגודל  $2n$  לקבוצה בגודל  $n$  ולזוגות? (ניתן להניח כי  $n$  זוגי)
- (18) בכמה דרכים ניתן לסדר בשורה 8 פילים שונים, 2 שועלים זהים ושתי תרנגולות זהות, כך שהפילים מסודרים משמאל לימין על פי משקלם בסדר עולה, ואף שועל לא יהיה צמוד לתרנגולת?
- (19) בכמה דרכים ניתן לחלק 100 כדורים לבנים ו-100 כדורים צבעוניים (כל אחד בצבע שונה) ל-250 תאים, כך שיתקיימו שני התנאים הבאים: יהיה לפחות תא אחד שמכיל יותר מכדור לבן אחד, ויהיה לפחות תא אחד שמכיל יותר מכדור צבעוני אחד.
- (20) בכמה דרכים ניתן לסדר  $n$  גברים ו- $n$  נשים במעגל כך שבני אותו מין לא יישבו זה לצד זה? כנ"ל לגבי שורה.

(21) יש לבחור קבוצה של שישה ילדים מבין תלמידי כיתות א-ו-2, באופן ששלושה מהם יהיו מ-א-1 ושלושה מ-א-2. מספר הבנים בקבוצה צריך להיות שווה למספר הבנות בקבוצה (3-ו-3). ב-א-1 יש 10 בנים ו-15 בנות וב-א-2 יש 15 בנים ו-10 בנות. בכמה אופנים ניתן לבחור את הקבוצה?

(22) בכמה קבוצות של  $n$  כדורים ב-10 צבעים יש לפחות כדור אחד מכל צבע?

(23) כמה פונקציות  $f: \{1, 2, \dots, n\} \rightarrow \{1, 2, \dots, n\}$  (כאשר  $n \geq 1$ ) מקיימות את התנאי  $f(k) \neq f(k+1)$  לכל  $1 \leq k \leq n-1$ ?

(24) כמה פונקציות  $f: \{1, 2, 3, \dots, n\} \rightarrow \{1, 2, 3, \dots, n\}$  חח"ע ועל יש, המקיימות  $f(k) - k$  זוגי לכל  $k \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$ ?

(25) בכמה דרכים ניתן לחלק 60 כדורים צבעוניים (כל אחד בצבע שונה) ו-90 כדורים לבנים זהים ל-100 תאים, כך שיתקיימו שני התנאים הבאים גם יחד: יהיה לפחות תא אחד שמכיל יותר מכדור צבעוני אחד וכמו כן בכל תא יהיו לכל היותר 50 כדורים לבנים.

(26) בכמה דרכים ניתן לחלק 4 בנות, 2 תפוזים, ו-4 תפוחים ל-10 אנשים, כך שכל אחד יקבל בדיוק פרי אחד? שימו לב שפירות מאותו סוג נחשבים זהים.

(27) בכמה דרכים ניתן לבנות שורה מ- $k \geq 0$  כדורים לבנים זהים ו- $m \geq 0$  כדורים צבעוניים שונים (ושונים מלבן)?

(28) כמה תת קבוצות בגודל 7 יש לקבוצה  $A = \{1, 2, 3, \dots, 12, 13\}$ , שיש בהם שני איברים עוקבים?

(29) תהי  $A_n = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ , כאשר  $n \in \mathbb{N}_{\text{odd}}$ , ותהי  $a_1, a_2, \dots, a_n$  תמורה כלשהי של  $A_n$ . הוכיחו כי המכפלה  $(a_1 - 1)(a_2 - 2) \cdots (a_n - n)$  בהכרח זוגית (יש לפתור).

(30) מטילים  $n$  קוביות. כמה תוצאות יש אם:  
א. הקוביות שונות.  
ב. הקוביות זהות.

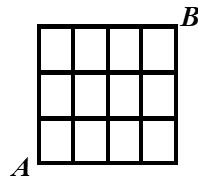
**(31)** נתונה הקבוצה  $A = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ .

כמה זוגות של קבוצות  $(C, D)$ ,  $C, D \subseteq A$ , כך ש:

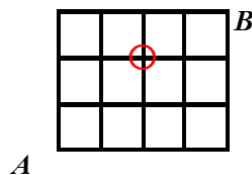
- א. ללא הגבלה. עבור  $A = \{1, 2\}$ , רשמו את כל הפתרונות.
- ב.  $C \cap D = \emptyset$ . עבור  $A = \{1, 2\}$ , רשמו את כל הפתרונות.
- ג.  $C \subseteq D$ . עבור  $A = \{1, 2\}$ , רשמו את כל הפתרונות.
- ד.  $C \cup D = A$ . עבור  $A = \{1, 2\}$ , רשמו את כל הפתרונות.
- ה. אם  $2 \in C$ , אז  $2 \in D$  (עבור  $A = \{1, 2, 3\}$ , הדגימו זוג שמקיים את הדרישה וזוג שאינו מקיים את הדרישה).
- ו. אם יש מספר אי זוגי ב- $C$ , אז יש כזה גם ב- $D$  (שימו לב שלא נתון ש- $n$  הוא זוגי).

**(32)** חרגול נמצא בנקודה  $A$  בשריג המתואר להלן. בכל שלב יכול החרגול להתקדם צעד אחד ימינה או צעד אחד למעלה.

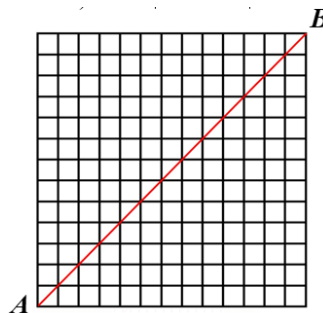
א. בכמה אופנים שונים יכול החרגול להגיע מנקודה  $A$  לנקודה  $B$ ?



ב. בכמה אופנים הוא יכול לעשות זאת מבלי לעבור דרך הנקודה המסומנת להלן  $(2, 2)$ ?



- 33** החרגול החביב מהשאלה הקודמת לא התעייף (מדובר בחרגול ספורט) ונמצא עכשיו בנקודה  $A$  בשריג  $n \times n$  המתואר להלן ( $13 \times 13$  להמחשה). תזכורת: בכל שלב יכול החרגול להתקדם צעד אחד ימינה או צעד אחד למעלה. בכמה דרכים יכול החרגול להגיע מנקודה  $A$  לנקודה  $B$ ? (שימו לב שהשריג בשאלה הוא  $n \times n$ )
- ללא הגבלה.
  - מבלי לעבור דרך אף אחד מהנקודות  $(5,9), (7,3)$ ? (מה המשלים של הסעיף?)
  - מבלי לעבור דרך אף אחד מהנקודות  $(7,9), (5,3)$ ?
  - מבלי לגעת באלכסון האדום? (פרט לנקודת ההתחלה ונקודת הסיום)



- 34** למורה צילה מאגר בלתי מוגבל של חרוזים בשלושה צבעים: אדום, צהוב וירוק (חרוזים מאותו צבע נחשבים זהים). בכיתה ג' 27 תלמידים. בשיעור מלאכה המורה צילה נותנת לכל ילד שקית והילד בוחר חמישה חרוזים ומכניס לשקית. בסוף השיעור המורה מכניסה את כל השקיות למחסן. כמה תכולות מחסן אפשריות?

## תשובות סופיות

- (1) א.  $10!$  ב.  $2!9!$  ג.  $3!8!$  ד.  $8!9!$  ה.  $4!8!$  ו.  $14!8!$   
(2) שתי דרכים.
- (3) א.  $8!$  ב.  $8! \cdot \binom{8}{3}$  ג.  $8! \cdot 2^8$
- (4) א.  $5 \cdot 9^5$  ב.  $9 \cdot 10^5 - 9^6$  ג.  $9 \cdot 10^5 - 8 \cdot 9^5$  ד.  $9^5 + 5 \cdot 8 \cdot 9^4$
- (5) א.  $2^{2n} - 2^n$  ב.  $|A| = \frac{2^{2n} - \binom{2n}{n}}{2}$
- (6)  $4 \cdot 3 \cdot \binom{11}{3}$
- (7) א.  $3 \cdot \binom{201}{2}$  ב.  $\binom{202}{2}$  ג.  $3 \cdot \binom{201}{2}$
- (8) א.  $13^7 - 12^7$  ב.  $5^7$  ג.  $13^7 - 4^7$  ד.  $5^7 - 4^7$
- (9) א.  $\binom{2n}{n} n!$  ב.  $\binom{2n}{n} \cdot (2n)^2$  ג.  $\binom{2n}{n} \cdot n! \cdot \binom{3n-1}{n}$  ד.  $(2n)^2$
- (10) א. ראו בסרטון. ב.  $(2^k - 1)^m$  ג. שאלת הוכחה.
- (11) א.  $\frac{1}{3}5!$  ב.  $\frac{1}{3}5!$
- (12) א.  $\binom{12}{2} \binom{10}{2} \binom{8}{2} \binom{6}{3} \binom{3}{3} \cdot \frac{1}{3!} \cdot \frac{1}{2!}$
- ב.  $\binom{12}{2} \binom{10}{2} \binom{8}{2} \binom{6}{3} \binom{3}{3} \cdot \frac{1}{3!} \cdot \frac{1}{2!} - \left( \binom{10}{2} \binom{8}{2} \binom{6}{3} \binom{3}{3} \cdot \frac{1}{2!} \cdot \frac{1}{2!} + 10 \binom{9}{2} \binom{7}{2} \binom{5}{2} \cdot \frac{1}{3!} \right)$
- (13) א.  $\binom{26}{20} \binom{26}{6}$  ב.  $\binom{16}{2} + \binom{11}{2} + \binom{6}{2}$  ג.  $2 \left[ 3 \cdot \binom{20}{2} + \binom{4}{2} \cdot \binom{11}{2} + \binom{5}{2} \cdot \binom{8}{2} \right]$
- (14) א.  $2^n$  ב.  $\binom{n}{\frac{n}{2}}^2$  ג.  $n$  זוגי:  $\frac{\binom{2n}{n} - \binom{n}{\frac{n}{2}}^2}{2}$ ,  $n$  אי זוגי:  $\frac{\binom{2n}{n}}{2}$
- (15)  $\frac{(3n)!}{6^n}$
- (16)  $\binom{29}{9} \binom{39}{9}$
- (17)  $\frac{(2n)!}{n! \left(\frac{n}{2}\right)! 2^{\frac{n}{2}}}$

$$1638 \quad (18)$$

$$\left( \binom{349}{100} - \binom{250}{100} \right) \left( 250^{50} - \frac{250!}{200!} \right) \quad (19)$$

$$2(n!)^2 \quad (20)$$

$$\binom{10}{3}^2 + \binom{10}{2}^2 + \binom{15}{1}^2 + \binom{10}{1}^2 \binom{15}{2}^2 + \binom{15}{3}^2 \quad (21)$$

$$\binom{n-1}{9} \quad (22)$$

$$n(n-1)^{n-1} \quad (23)$$

$$\left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil! \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor! \quad (24)$$

$$\left( 100^{60} - \frac{100!}{40!} \right) \cdot \left( \binom{189}{90} - 100 \cdot \frac{138}{39} \right) \quad (25)$$

$$\frac{10!}{4!4!2!} \quad (26)$$

$$\frac{(m+k)!}{k!} \quad (27)$$

$$2^{13} - 1 \quad (28)$$

$$\text{שאלת הוכחה.} \quad (29)$$

$$\binom{n+5}{5} \text{ ב.} \quad \text{א. } 6^n \quad (30)$$

$$4^n - \left( 2^n - 2^{\left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor} \right) 2^{\left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor} \text{ ג.} \quad 3 \cdot 4^{n-1} \text{ ה.} \quad 3^n \text{ ד.} \quad 3^n \text{ ג.} \quad 3^n \text{ ב.} \quad 4^n \text{ א.} \quad (31)$$

$$\binom{7}{4} \text{ א.} \quad \text{ב. } 17 \quad (32)$$

$$|\bar{A} \cap \bar{B}| = \binom{2n}{n} - \left( \binom{10}{3} \binom{2n-10}{n-3} + \binom{14}{5} \binom{2n-14}{n-5} \right) \text{ ב.} \quad \binom{2n}{n} \text{ א.} \quad (33)$$

$$|\bar{A} \cap \bar{B}| = \binom{2n}{n} - \left( \binom{8}{3} \binom{2n-8}{n-3} + \binom{16}{7} \binom{2n-16}{n-7} - \binom{8}{5} \binom{8}{2} \binom{2n-16}{7} \right) \text{ ג.}$$

$$\frac{1}{n+1} \binom{2n}{n} \text{ ד.}$$

$$\binom{47}{20} \quad (34)$$

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 2 - הבינום של ניוטון

תוכן העניינים

1. הבינום של ניוטון.....15

## הבינום של ניוטון

### שאלות

(1) הוכיחו אלגברית וקומבינטורית את הזהות  $\sum_{k=0}^n \binom{n}{k} 2^k = 3^n$

(2) הוכיחו לכל  $n \geq 0$  את הזהות  $6^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} 2^{2n-k}$

(3) הוכיחו את השוויון

$$2^n = 3^n - n3^{n-1} + \binom{n}{2} 3^{n-2} - \dots + (-1)^k \binom{n}{k} 3^{n-k} + \dots + (-1)^n \binom{n}{n} 3^0$$

(4) הוכיחו שלכל  $n$  טבעי מתקיים  $\sum_{k=0}^n \binom{2n+1}{k} = 2^{2n}$

(5) הוכיחו בדרך אלגברית וקומבינטורית את הזהות  $\binom{m+n}{2} = \binom{n}{2} + \binom{m}{2} + mn$

(6) הוכיחו כי  $\binom{2n}{n}$  זוגי לכל  $n \in \mathbb{N}$

(7) הוכיחו כי  $\sum_{k=1}^n k \binom{n}{k} 2^{k-1} = \frac{n}{3} \cdot 3^n$

(8) הוכיחו כי  $\forall x, y, n \in \mathbb{N}^+, \binom{x+y}{n} = \sum_{k=0}^n \binom{x}{k} \binom{y}{n-k}$

(9) הוכיחו את השוויון  $\sum_{k,j=0}^n \binom{n}{k} \binom{n}{j} \binom{n}{k+j} = \binom{3n}{n}$

(10) הוכיחו בדרך אלגברית וקומבינטורית את הזהות  $\binom{r}{m} \binom{m}{k} = \binom{r}{k} \binom{r-k}{m-k}$

**(11)** הוכיחו שלכל  $n \geq 0$  ולכל  $0 \leq k \leq n$  מתקיים

$$\binom{n}{k} + 2\binom{n}{k+1} + \binom{n}{k+2} = \binom{n+2}{k+2}$$

**(12)** הוכיחו אלגברית וקומבינטורית את הזהות

$$(2n-1) \cdot (2n-3) \cdots 1 = \frac{\binom{2n}{2} \cdot \binom{2n-2}{2} \cdots \binom{2}{2}}{n!}$$

**(13)** הוכיחו את הזהות

$$\sum_{k=1}^n k(n-k) \binom{2n}{k} \binom{3n}{n-k} = 6n^2 \binom{5n-2}{n-2}$$

**(14)** הוכיחו את השוויון

$$\sum_{n=0}^N \binom{k-1+n}{n} = \binom{k+N}{N}$$

**(15)** הוכיחו כי אם  $n > 0$  זוגי, אז  $2^n > \binom{n}{\frac{n}{2}}$ .

**(16)** כמה מבין המספרים בפיתוח הבינום  $(\sqrt{2} + \sqrt[4]{7})^{80}$  שלמים?

**(17)** הוכיחו כי לכל  $n$  טבעי מתקיים

$$n^n - (n-1)^n = \sum \binom{n}{i} (n-1)^{n-i}$$

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר [www.GooL.co.il](http://www.GooL.co.il)

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 3 - הכלה והדחה

תוכן העניינים

1. הכלה והדחה..... 17

## הכלה והדחה

### שאלות

- 1) כמה מילים באורך  $n$  יש מעל הא"ב  $\{A, B, C, D\}$ , כך שהאותיות  $A, B$  חייבות להופיע?
- 2) לארוחת ערב הוזמנו חמישה אנשים, להם המארח קנה 10 מתנות שונות. בכמה דרכים ניתן לחלק את המתנות בין האורחים, כך שכל אורח יקבל לפחות פרס אחד?
- 3) בקייטנת ההשקעות הלא-הגיוניות יש חמישה קורסים. בכל אחד מחמשת הקורסים רשומים בדיוק 55 ילדים. לכל זוג קורסים יש בדיוק 44 ילדים שרשומים לשניהם, לכל שלושה מהקורסים יש בדיוק 33 ילדים שרשומים לשלושתם, ולכל ארבעה מהקורסים יש בדיוק 22 ילדים שרשומים לארבעתם. הוכיחו כי יש לפחות ילד אחד שרשום לכל חמשת הקורסים בו זמנית.
- 4) א. בכמה מספרים קטנים ממיליון סכום הספרות הוא 23 בדיוק?  
(שאלה זו מופיעה גם בפרק על פונקציות יוצרות)  
ב. בכמה מספרים קטנים ממיליון סכום הספרות הוא 31 בדיוק?  
ג. בכמה מספרים קטנים ממיליון סכום הספרות הוא 23 לכל היותר?
- 5) קובייה הוטלה 8 פעמים ורשמו את התוצאות כסדרה של 8 מספרים. מה מספר האפשרויות לסדרות באורך 8 של הטלות, שבהן יופיעו כל ששת המספרים מ-1 עד 6 (כל מספר לפחות פעם אחת)?
- 6) במערכת שנה א של התוכנית למדעי המחשב באקדמיה המכללתית של תל-יפו-אביב יש חמישה קורסים. בכל אחד מחמשת הקורסים רשומים בדיוק 40 תלמידים. לכל זוג קורסים יש בדיוק 32 תלמידים שרשומים לשניהם, לכל שלושה מהקורסים יש בדיוק 24 תלמידים שרשומים לשלושתם, ולכל ארבעה מהקורסים יש בדיוק 16 תלמידים שרשומים לארבעתם. הוכיחו שיש לפחות תלמיד אחד שרשום לכל חמשת הקורסים בו זמנית.  
הדרכה: על סמך הנתונים כתבו ביטוי שמתאר כמה תלמידים יש בכל חמשת הקורסים יחד.
- 7) לארוחת ערב הוזמנו חמש נשים, להן המארחת קנתה 10 מתנות שונות. בכמה דרכים ניתן לחלק את המתנות בין האורחות, כך שכל אורחת תקבל לפחות פרס אחד?

8) איש ציבור מושחת לוקח כל שנה שוחד בסך 2, 4 או 6 מיליון דולר (שלא כמו איש ציבור נורמטיבי, איש ציבור מושחת יכול לקחת שוחד של 6 מיליון דולר מספר שנים ברציפות). סדרת שוחד היא סדרת סכומים שקיבל איש ציבור מושחת במשך כמה שנים, למשל 2, 4, 2, 6. כמה סדרות שוחד יניבו עבור איש ציבור מושחת סך של 20 מיליון דולר במשך 6 שנים?

9) עבור  $A = \{1, 2, 3, \dots, 10\}$ , כמה פונקציות  $f: A \rightarrow A$  חח"ע ועל יש, כך ש-  $f(k) \neq k$  עבור  $k = 1, 2, 3$ ?

10) בכמה תמורות של המספרים  $\{1, 2, 3, 4, \dots, 18\}$ , כל המספרים שמתחלקים ב-3 במקומות של מספרים שמתחלקים בשלוש ואף זוגי לא במקומו?

11) ברשותך שלושה כדורים לבנים זהים, שלושה כדורים שחורים זהים, ומאגר בלתי מוגבל של כדורים אדומים זהים. בכמה אופנים ניתן להרכיב מהם קבוצה (סדר הכדורים לא משנה) בת  $n$  כדורים? פתרו בעזרת פונקציות יוצרות ובעזרת הכלה והדחה והשוו את התוצאות.

12) שבע משפחות בנות שלוש נפשות כל אחת (אבא, אמא וילדה) מגיעות למפגש חברתי.

בכמה אופנים ניתן לסדר אותם בשלוש, כך ש:  
א. ללא הגבלה?

ב. כל שלשה תהיה מורכבת מאבא, אמא וילד אבל אף שלשה לא תרכיב משפחה שלמה?

ג. אף שלשה לא תרכיב משפחה שלמה (כלומר, יתכן שלשה המורכבת משלושה אבות או שני אבות וילד).

13) בכמה דרכים ניתן לחלק 40 כדורים לארבעה תאים, כך שאף תא לא יהיה ריק, כאשר

א. הכדורים זהים.

ב. הכדורים שונים.

14) ארבעה אנשים שונים (שנמספר 1, 2, 3, 4) אחראים יחד על ביצוע של 5 משימות שונות (שנקטלג א, ב, ג, ד, ה). לביצוע כל משימה נדרשים בדיוק שני אנשים, כאשר אין הבדל בין תפקידי שני האנשים בצוות המבצע משימה נתונה.

א. בכמה דרכים ניתן להקצות את 5 המשימות לצוותים של שני אנשים?

הנה כמה דוגמאות לדרכים לגיטימיות לעשות זאת:

**דוגמה 1:** הצוות {1, 2} יבצע את כל המשימות.

**דוגמה 2:** הצוות {1, 2} יבצע את משימות א ו-ב, הצוות {1, 3} את

משימות ג ו-ד, והצוות {2, 3} את משימה ה.

**דוגמה 3:** הצוות {1, 2} יבצע את משימות א ו-ב, הצוות {3, 4} את

משימות ג ו-ד, והצוות {2, 3} את משימה ה.

ב. בכמה דרכים ניתן להקצות את חמשת המשימות לצוותים של שני

אנשים, אם אסור שמישהו יתחמק לגמרי מעבודה, כאשר כל אחד מ-4

האנשים חייב לקחת חלק במשימה אחת לפחות (דוגמאות 1 ו-2 בסעיף א

אינן חוקיות כעת, אולם דוגמה 3 חוקית).

15) דנה, תלמידה בכיתה א', קראה בספר את המשפט המעניין: **דנה קמה דנה**

**נמה.** אחרי שקראה בהצלחה את המשפט, עלו בדעתה של דנה כמה שאלות

מעניינות לא פחות:

א. בכמה דרכים אפשר לסדר את כל 12 האותיות במשפט זה במחרוזת אחת

ללא רווחים, כגון **דנהקמהדנהנמה**?

ב. בכמה מהדרכים הללו מופיע בתוך המחרוזת הרצף **דמקה**?

ג. מה מספר הדרכים לסדר את 12 האותיות, כך **שלא** תופיע בתוך

המחרוזת **אף אחת** מארבע המחרוזות: **דמקה, קהה, ממד, נננה**?

16) בבחינה מתמטיקה בדידה בקורס זה יש 11 שאלות בארבעה נושאים:

2 שאלות בקומבינטוריקה בסיסית, 3 שאלות בפונקציות יוצרות, 2 שאלות

בגרפים ו-4 שאלות בהכלה והדחה, כאשר יש לענות על 6 שאלות לפחות (אפשר

יותר) וחייבים לענות על לפחות שאלה אחת מכל נושא.

בכמה אופנים ניתן לעשות זאת?

17) בכמה דרכים ניתן להרכיב מילה מהמספרים  $\{1, 2, 3, \dots, n\}$ , כך שכל מספר יופיע

$k$  פעמים, אבל אף מספר לא יופיע  $k$  פעמים ברצף?

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר [www.GooL.co.il](http://www.GooL.co.il)

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 4 - נוסחאות נסיגה (רקורסיה)

תוכן העניינים

1. נוסחאות נסיגה (רקורסיה) ..... 20

## נוסחאות נסיגה (רקורסיה)

### שאלות

- 1 לכל  $n$  שלם אי-שלילי נגדיר את  $a_n$  להיות מספר הסדרות היורדות הלא ריקות, שמורכבות ממספרים טבעיים בין 1 ל- $n$ , כך שההפרש בין כל שני מספרים עוקבים בסדרה הוא לפחות 3.  
כתבו נוסחת נסיגה ותנאי התחלה ל  $a_n$ .  
דוגמאות:  
- הסדרה (1,5,9,12) נספרת בחישוב של  $a_{14}$ , מכיוון שהיא יורדת, כל הספרות שבה הן בין 1 ל-14, וההפרשים בין כל שתי ספרות עוקבות בסדרה הם 3 או יותר.  
- הסדרה (14) נספרת בחישוב של  $a_{14}$ , מכיוון שהיא יורדת, כל הספרות שבה הן בין 1 ל-14, וההפרשים בין כל שתי ספרות עוקבות בסדרה הם 3 או יותר (בגלל שאין ספרות עוקבות).  
- הסדרה (1,7,9,12) אינה נספרת בחישוב של  $a_{14}$ , מכיוון שההפרש בין הספרה השנייה והשלישית בסדרה הוא 2.
- 2 א. מצאו נוסחת נסיגה ותנאי התחלה עבור מספר האפשרויות לחלק קבוצה בת  $n$  אנשים לזוגות ולבודדים.  
ב. מצאו נוסחת נסיגה ותנאי התחלה למספר הדרכים לחלק קבוצה של  $n$  אנשים לזוגות ולשלשות, כאשר הסדר בין הזוגות והשלשות ובתוך הזוגות והשלשות אינו משנה.
- 3 בחפיסת קלפי טאקי יש מספר לא מוגבל של קלפים בצבעים צהוב, אדום, כחול וירוק, ואיננו מבחינים בין קלפים שונים מאותו צבע.  
יהי  $a_n$  מספר ערימות קלפי טאקי בגודל  $n$ , שבהם מעל קלף אדום או כחול אסור לשים קלף צהוב או ירוק.  
מצאו נוסחת נסיגה ותנאי התחלה ל- $a_n$ .

4 מצאו יחס רקורסיבי ותנאי התחלה עבור מספר המילים באורך  $n$  מעל  $\{A, B, C\}$  ללא הרצף:

א.  $CC$

ב.  $AB$

ג.  $AA, AB$

ד.  $AA, BA$

ה.  $AA, AB, AC$

ו.  $AB, BC$  (פתרו בשתי דרכים)

ז.  $BA, CA$

ח.  $AA, BB$

ט.  $AA, BB, CC$

י.  $BC, CB$

5 מצאו יחס רקורסיבי ותנאי התחלה עבור מספר הדרכים לרצף שביל באורך  $n$  במרצפות אדומות באורך 2, מרצפות צהובות באורך 2, מרצפות ירוקות באורך 2, ומרצפות שחורות ומרצפות לבנות באורך 1 כל אחת. לאחר מכן פתרו את יחס הנסיגה שהתקבל, קבלו נוסחה מפורשת, וחשבו את ארבעת האיברים הראשונים בשתי דרכים: אחת לפי היחס הרקורסיבי ושנייה על ידי הצבה בנוסחה המפורשת שנמצאה.

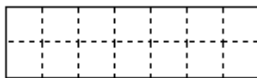
6 עבור  $n$  טבעי, מהו מספר הסדרות הפלינדרומיות באורך  $n$  מעל קבוצת הספרות העשרוניות  $\{0, 1, 2, \dots, 9\}$ ?

(סדרה  $x_1, \dots, x_n$  היא פלינדרומית, אם  $x_i = x_{n-i+1}$  לכל  $1 \leq i \leq n$ . ובעברית פשוטה: אם בקריאתה מהסוף להתחלה או מההתחלה לסוף מתקבלת אותה סדרה, למשל  $(1, 7, 2, 2, 2, 7, 1)$ ).

7) נתבונן בסדרות סופיות של סימנים, הלקוחים מתוך 6 סימנים: הספרות 0 ו-1, וארבעה סימני פעולה +, -, \*, /. ובכפוף לתנאים הבאים:

1. הסדרה נפתחת ומסתיימת בספרה.
2. אין הופעות צמודות של סימני פעולה.
- דוגמאות של סדרות העונות על התנאים:  $1010 + 11 - 101 / 0100$ ,  $001$ .
- דוגמאות של סדרות שאינן עונות על התנאים:  $-00$ ,  $+00 + 10$ ,  $101 + / 00$ .
- נסמן ב- $a_n$  את מספר הסדרות הללו שבהן בדיוק  $n$  סימנים.

- א. מצאו יחס נסיגה עבור  $a_n$ .
- ב. מצאו באופן ישיר את  $a_0, a_1, a_2, a_3$ , ובדקו בעזרת הערכים שהתקבלו את יחס הנסיגה שרשמתם.
- ג. פתרו את יחס הנסיגה וקבלו נוסחה מפורשת עבור  $a_n$ .
- בדקו בעזרת הנוסחה את תוצאות סעיף ב.



8) בידינו מספר בלתי-מוגבל של בלוקים זהים בגודל  $2 \times 1$

ומספר בלתי-מוגבל של בלוקים זהים בגודל  $2 \times 2$ .

עלינו לרצף מלבן שממדיו  $n \times 2$  (בציור להלן  $n = 7$ ).  
אסור לחרוג מגבולות המלבן.

בלוק של  $2 \times 1$  אפשר להניח כרצוננו, 'שוכב' או 'עומד'.  
יהי  $a_n$  מספר הריצופים השונים האפשריים.

- א. רשמו יחס נסיגה עבור  $a_n$  (הסבירו אותו) ותנאי התחלה מספיקים.
- ב. פתרו את יחס הנסיגה.
- ג. חשבו את  $a_4$  בשתי דרכים: מתוך יחס הנסיגה שבסעיף א' ובאופן ישיר.

9) תנו ביטוי מפורש ל- $a_n$  בנוסחאות הנסיגה הבאות וחשבו את  $a_3, a_4, a_5$  בשתי דרכים: בעזרת יחס הנסיגה ובעזרת הנוסחה המפורשת.

- |                                           |                                     |
|-------------------------------------------|-------------------------------------|
| א. $a_n = 5a_{n-1} - 6a_{n-2}$            | כאשר $a_0 = 3, a_1 = 7$             |
| ב. $a_{n+1} = 5a_n - 4a_{n-1}$            | כאשר $a_0 = 1, a_1 = 1$             |
| ג. $a_n = 4a_{n-1} - 4a_{n-2}$            | כאשר $a_0 = -1, a_1 = 4$            |
| ד. $a_{n+1} = 7a_{n-1} + 6a_{n-2}$        | כאשר $a_0 = 1, a_1 = 0, a_2 = 7$    |
| ה. $a_{n+1} = 4a_n - 5a_{n-1} + 2a_{n-2}$ | כאשר $a_0 = 1, a_1 = 4, a_2 = 11$   |
| ו. $a_n = 7a_{n-1} - 10a_{n-2} + 16n$     | כאשר $a_1 = 19, a_0 = 14$           |
| ז. $a_n = 6a_{n-1} - 8a_{n-2} - 3$        | כאשר $a_0 = 1, a_1 = 9$             |
| ח. $a_n = 6a_{n-1} - 8a_{n-2} - 3^n$      | כאשר $a_0 = 1, a_1 = 9$             |
| ט. $a_n = 6a_{n-1} - 8a_{n-2} - 2^n$      | כאשר $a_0 = 1, a_1 = 10$            |
| י. $a_n = 10a_{n-1} - 25a_{n-2} + 5^n$    | כאשר $a_0 = -1, a_1 = 7\frac{1}{2}$ |
| יא. $a_n = 3a_{n-1} - 2a_{n-2} + 2^n + n$ | כאשר $a_0 = 1, a_1 = 2$             |

10) מצאו נוסחת נסיגה ותנאי התחלה עבור הסידרה  $a_n$  המקיימת:

$$a_n = 2^{2n+1} - 3^n (n-1) + 1$$

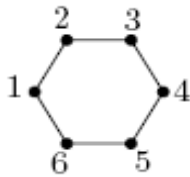
11) כתבו נוסחת נסיגה למספר הסדרות באורך  $n$  בספרות 0,1,2 ללא 00 ו-12.

12) איש ציבור נורמטיבי לוקח שוחד כל שנה בסכום 2 מיליון דולר, 4 מיליון דולר או 6 מיליון דולר. כדי לא למשוך תשומת לב, הוא לא לוקח שוחד על סך 6 מיליון דולר שנתיים ברצף. נסמן ב- $a_n$  את מספר סדרות השוחד השונות שיכול לצבור איש ציבור בשירות נורמטיבי בן  $n$  שנים. דוגמה: במשך 4 שנים ניתן לצבור את סדרת השוחד 2,2,2,2; את סדרת השוחד 2,4,2,6; את סדרת השוחד 4,2,2,6; וכן הלאה (שימו לב ששתי הסדרות האחרונות נספרות כשתי סדרות שוחד שונות). רשמו נוסחת נסיגה ותנאי התחלה ל- $a_n$ .

13) לכל  $n \in \mathbb{N}$  נסמן על ידי  $a_n$  את מספר המילים מעל  $\{A, B, C, D, E\}$  שלא מכילות אף אחד מהרצפים  $AA, BA, CA$ . מצאו נוסחה מפורשת עבור  $a_n$ .

**14)** יהי  $a_n$  מספר הסדרות באורך  $n$  שאיבריהן שייכים לקבוצה  $\{1, 2, 3, \dots, 8\}$  ומקיימות את התנאי הבא: לא מופיעים בסדרה מספרים זוגיים זה בסמוך לזה.

- א. מצאו יחס נסיגה עבור  $a_n$ , ורשמו את  $a_1$  ו- $a_0$ .  
 ב. פתרו את יחס הנסיגה וקבלו ביטוי מפורש עבור  $a_n$ .  
 ג. חשבו את  $a_2$  מנוסחת הרקורסיה ומהביטוי המפורש, ובדקו שהתקבל אותו ערך.



**15)** כמה טיולים באורך  $n$ , המתחילים בקודקוד 1 ומסתיימים בקודקוד 1 יש בגרף הבא?  
 לדוגמה: עבור  $n = 2$  יש שני טיולים כאלה והם  $1, 2, 1$  ו- $1, 6, 1$ .  
 לדוגמה: עבור  $n = 4$  יש שישה טיולים כאלה והם  
 $(1, 2, 3, 2, 1), (1, 2, 1, 2, 1), (1, 6, 5, 6, 1), (1, 6, 1, 6, 1), (1, 6, 1, 2, 1), (1, 2, 1, 6, 1)$

**16)** נתון כי  $n$  הוא חזקה טבעית של 4,  $f(n) = 16f\left(\frac{n}{4}\right) + n^2$  וכן  $f(1) = 3$ .  
 פתרו בשיטת הצבה חוזרת.

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר [www.GooL.co.il](http://www.GooL.co.il)

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 5 - שובך היונים

תוכן העניינים

1. שובך היונים ..... 25

## שובך היונים

## שאלות

- (1) תהי  $A = \{1, 2, 3, \dots, 49\}$ . הוכיחו כי לכל בחירה של קבוצה  $B \subseteq A$ , כך ש- $|B| = 26$ , יהיו ב- $B$  לפחות שני איברים שסכומם 49.
- (2) תהי  $A$  קבוצה של שישה מספרים מתוך  $\{1, \dots, 11\}$ . הוכיחו כי קיימות שתי תתי קבוצות של  $A$  שסכום אבריהן שווה.
- (3) מה הגודל המירבי של קבוצה של מספרים טבעיים, שבה אין שני מספרים שסכומם או הפרשם מתחלק ב-3009? נמקו.
- (4) תהי  $A$  קבוצה של  $n$  מספרים טבעיים כלשהם. הוכיחו שקיימת קבוצה חלקית לא-ריקה של  $A$ , שסכום איבריה מתחלק ב- $n$ .
- (5) הוכיחו כי בכל צביעה של המישור בשני צבעים, כחול ואדום, יש שתי נקודות שמרחקן אחד והן צבועות באותו צבע.
- (6) יהי  $n \in \mathbb{N}$ . הוכיחו כי קיים  $k \in \mathbb{N}$ , כך שבמס' הטבעי  $k \cdot n$  מופיעות הספרות 7 ו-0 בלבד.
- (7) הוכיחו כי מבין כל 12 מספרים דו-ספרתיים יש שניים שהפרשם בעל שתי ספרות זהות.
- (8) הוכיחו כי מבין כל בחירת 26 נקודות בתוך משולש שווה צלעות, שאורך צלעו הוא אחד, יש שתי נקודות שהמרחק ביניהן קטן מ- $\frac{1}{5}$ .
- (9) הוכיחו כי בכל בחירה של  $n+1$  מספרים מתוך הקבוצה  $\{1, 2, 3, \dots, 2n\}$ , יש שני מספרים  $x, y$  כך ש:
  - א.  $x, y$  זרים (כלומר, המחלק המשותף המקסימלי שלהם הוא 1).
  - ב.  $x$  מתחלק ב- $y$  ללא שארית.
  - ג. הראו כי החסם הנ"ל הדוק, כלומר אפשר לבחור  $n$  מספרים מבלי שיתקיימו תנאים א ו-ב.

- (10) נבחר 46 מספרים מתוך הקבוצה  $\{1, 2, 3, \dots, 81\}$ . הוכיחו כי יש שני מספרים שהפרשם הוא בדיוק 9. הוכיחו גם כי המספר הנ"ל הדוק (כלומר מצאו 45 מספרים מתוך  $\{1, 2, 3, \dots, 81\}$ , שאין בהם שניים שהפרשם הוא בדיוק 9).
- (11) תהי A קבוצה בת 20 מספרים מתוך הסדרה החשבונית  $1, 4, 7, 10, \dots, 100$ . הוכיחו כי יש שני מספרים שסכומם 104.
- (12)  $n$  אנשים נפגשו במסיבה ולחצו ידיים. הוכיחו כי יש שני אנשים שלחצו בדיוק אותו מספר ידיים.
- (13) הוכיחו כי בכל צביעה של קשתות הגרף השלם  $K_6$  בשני צבעים, יש משולש מונוכרומטי.
- (14) הוכיחו כי בכל גרף יש שני קודקודים בעלי אותה דרגה.
- (15) לפוליטיקאי נותרו 50 ימים עד לבחירות, והוא מתכנן נאומי בחירות: לפחות אחד ביום אך לא יותר מ-75 נאומים בסך הכל. הוכיחו כי קיימת סדרת ימים שבהם הוא נואם 24 נאומים.
- (16) יהי  $n \in \mathbb{N}$ . הוכיחו כי קיים  $m \in \mathbb{N}$ , כך ש- $n$  מחלק את  $2^m - 1$ . הדרכה: התבוננו בסדרה  $2^1 - 1, 2^2 - 1, 2^3 - 1, \dots, 2^{n+1} - 1$ .

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר [www.GooL.co.il](http://www.GooL.co.il)

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 6 - תורת הגרפים

תוכן העניינים

|    |                      |
|----|----------------------|
| 27 | 1. מבוא לתורת הגרפים |
| 33 | 2. גרף דו צדדי       |
| 36 | 3. עצים              |
| 40 | 4. מעגלים מיוחדים    |
| 44 | 5. איזומורפיזם       |

## מבוא לתורת הגרפים

### שאלות

הערה: חלק קטן משאלות פרק זה מסתמכות על מושג העץ. רצוי ללמוד את הפרק עצים שהוא פרק חשוב ביותר.

- (1) ענו על הסעיפים הבאים:
  - א. יהי  $G = (V, E)$  גרף על 43 צמתים: 10 צמתים מדרגה 7, 17 צמתים מדרגה 6, 12 צמתים מדרגה 4 והיתר מדרגה 1. כמה קשתות יש ב- $G$ ?
  - ב. הוכיחו כי בכל גרף מספר הצמתים מדרגה אי-זוגית הוא זוגי.
- (2) עבור  $n \in \mathbb{N}$  נגדיר גרף פשוט  $G_n$ , כך שצמתיו הם  $2^n$  הסדרות הבינאריות באורך  $n$ , ושני קודקודים מחוברים ביניהם בקשת אם ורק אם הם נבדלים בקואורדינטה אחת. מה מספר הקשתות של  $G_5$  ושל  $G_n$ ? (גרף כזה נקרא גרף הקובייה)
- (3) נגדיר גרף  $G = (V, E)$  באופן הבא:  $V = \{A \in P\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\} \mid |A| = 3\}$ 
 $E = \{\{A, B\} \mid |A \cap B| = 1\}$ , למשל  $\{\{2, 4, 7\}, \{1, 4, 6\}\} \in E$ , כי בחיתוך יש איבר אחד.
  - א. מהו מספר הצמתים? מה דרגת כל קודקוד? מה מספר הקשתות?
  - ב. האם  $G$  דו"צ?
- (4) חזרו על שאלה קודמת עבור הגרף  $G = (V, E)$  באופן הבא:
  $V$  כמו קודם ו- $E = \{\{A, B\} \mid A \cap B = \emptyset\}$ .
- (5) יהי  $G = (V, E)$  על 7 צמתים: 4 מהצמתים הם מדרגה 5 וכל יתר הדרגות קטנות מ-3.
  - א. יש גרף פשוט כזה, שהוא קשיר.
  - ב. יש גרף פשוט כזה, אבל הוא לא קשיר.
  - ג. יש גרף כזה, אבל הוא לא פשוט ולא קשיר.
  - ד. יש גרף כזה, והוא לא פשוט וקשיר.

(6) נתונים שני גרפים  $G_1, G_2$  על 5 קודקודים. סדרת דרגותיו של  $G_1$  היא  $1, 2, 3, 4, 4$  וסדרת דרגותיו של  $G_2$  היא  $2, 2, 3, 4, 5, 6$ .

לגבי כל אחד משני הגרפים קבעו איזו מן הטענות הבאות נכונה:

- יש גרף פשוט וקשיר כזה.
- יש גרף קשיר כזה, אבל הוא לא פשוט.
- יש גרף פשוט כזה, אבל הוא לא קשיר.
- יש גרף כזה, אבל הוא חייב להיות לא פשוט ולא קשיר.
- לא קיים גרף כזה.

(7) ענו על הסעיפים הבאים:

- א. יהי  $G$  גרף פשוט בעל  $n$  קודקודים. הוכיחו כי אם לכל שני קודקודים  $x, y \in V$  מתקיים  $d(x) + d(y) \geq n - 1$ , אז  $G$  קשיר.
- ב. הוכיחו באינדוקציה כי גרף על  $n$  קודקודים ופחות מ- $n - 1$  קשתות אינו קשיר.

(8) יהי  $G$  גרף פשוט בעל  $n$  קודקודים.

הוכיחו כי אם:  $|E| > \binom{n-1}{2}$  (\*) אז  $G$  קשיר, כאשר  $|E|$  מספר הקשתות.

הראו גם כי חסם זה הדוק. כלומר, הראו גרף פשוט  $G$ , עבורו  $|E| = \binom{n-1}{2}$ , כך ש- $G$  אינו קשיר. זה מראה שלא ניתן לשפר את אי השוויון (\*).

(9) יהי  $G = (V, E)$  גרף פשוט ויהיו  $x, y \in V$  שני קודקודים לא שכנים.

הוכיחו כי אם  $d(x) + d(y) \geq n$ , אז יש ל- $x$  ול- $y$  לפחות שני שכנים משותפים.

(10) יהי  $G$  גרף פשוט על  $n \geq 2$  צמתים, ויהיו  $u, v \in V$  קודקודים שאינם שכנים.

הוכיחו כי אם:  $d(u), d(v) \geq \frac{n+1}{2}$  אז יש ל- $u, v$  לפחות שלושה שכנים משותפים.

(11) יהי  $G = (V, E)$  גרף, כך ש- $(n \geq 2)$ ,  $V = P_2(\{1, 2, \dots, n\})$ ,  $A \cap B = \emptyset$ ,  $e \in E \Leftrightarrow A, B \in V$  כאשר  $A, B \in V$ .

- א. חשבו את  $|V|$ .
- ב. מהי דרגת כל צומת?
- ג. הוכיחו כי אם  $n \geq 5$  אזי  $G$  קשיר (רמז: דרך השלילה).

- (12) יהי  $G$  גרף פשוט על 10 קודקודים שיש בו 41 קשתות. הוכיחו:
- א. יש לפחות שני קודקודים ב- $G$  שדרגתם היא 9.
- ב.  $G$  קשיר.
- (13) יהי  $G = (V, E)$  גרף פשוט. הוכיחו כי אם  $|V| = |E|$ , אז ב- $G$  יש מעגל, ואם  $G$  קשיר, אז המעגל יחיד.
- (14) יהי  $G$  גרף פשוט קשיר בן 7 קודקודים, שסדרת דרגותיו היא 3, 2, 2, 2, 1, 1, 1. כמה מעגלים פשוטים יש בגרף?
- (15) יהי  $G$  גרף פשוט בעל  $n$  קודקודים. הוכיחו כי אם לכל קודקוד  $x \in V$  מתקיים  $d(x) \geq \frac{n}{2}$ , אז ב- $G$  מעגל באורך 4.
- (16) הוכיחו כי בכל גרף פשוט על 100 קודקודים, שבו כל הדרגות הן לפחות 10, יש מעגל באורך  $\geq 4$ .
- (17) יהי  $G$  גרף פשוט. הוכיחו כי לפחות אחד מבין הגרפים  $G, \bar{G}$  קשיר. בניסוח שקול: הוכיחו כי בכל צביעת קשתות הגרף השלם  $K_n$  בשני צבעים לפחות, אחד הגרפים החד צבעיים הוא קשיר.
- (18) הוכיחו כי בכל צביעת קשתות הגרף השלם  $K_6$  בשני צבעים, יש משולש מונוכרומטי (משולש חד צבעי).
- (19) הוכיחו כי בכל קבוצה של 9 אנשים יש בהכרח לפחות 4 המכירים זה את זה או לפחות 3 שאף שניים מהם אינם מכירים זה את זה.
- (20) יהי  $G$  גרף שקודקודיו הם תתי קבוצות בנות 4 אברים של הקבוצה  $\{1, 2, \dots, n\}$ , (כאשר  $n$  גדול מ-6). שני קודקודים מחוברים בקשת בגרף אם בחיתוך שלהם יש שני אברים בדיוק. לדוגמה, הקודקוד  $\{1, 2, 3, 4\}$  שכן של  $\{1, 2, 7, 8\}$ , אך לא של  $\{1, 2, 3, 7\}$ .
- כמה קודקודים בגרף הם שכנים של  $\{1, 2, 3, 5\}$ ,  $\{1, 2, 3, 4\}$  או  $\{1, 2, 4, 5\}$ ?

(21) הוכיחו כי בכל צביעת קשתות הגרף השלם  $K_{17}$  ב-8 צבעים יש מעגל שכל קשתותיו צבועות בצבע אחד (מעגל מונוכרומטי).

(22) כמה מעגלים פשוטים באורך  $3 \leq k \leq n$  יש בגרף השלם  $K_n$  על קבוצת הקודקודים  $\{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$ ?

שני מעגלים המתקבלים אחד מהשני על ידי סיבוב נחשבים זהים. למשל, עבור  $n=5$ , שני המעגלים  $1, 2, 3, 4, 5, 1$  ו- $3, 4, 5, 1, 2, 3$  נחשבים זהים, ואילו המעגלים  $1, 2, 3, 1$  ו- $1, 3, 2, 1$  אינם זהים.

(23) נצבע ב- $n \geq 2$  צבעים את קשתות הגרף השלם  $K_n$ , כך שכל צבע מופיע לפחות פעם אחת. הוכיחו כי קיים מעגל שכל קשתותיו צבועות בצבעים שונים.

(24) יהי  $G$  גרף קשיר על 13 קודקודים, שניתן לצבוע בשלושה צבעים (כלומר, אפשר לצבוע את הקודקודים בשלושה צבעים, כך שאין שני קודקודים מאותו צבע שמחוברים בקשת). הוכיחו שיש בגרף אנטי קליקה בגודל 5 (כלומר, 5 קודקודים שאף אחד מהם לא מחובר לאף אחד אחר).

(25) נתונים שלושה גרפים בעלי אותה קבוצת קודקודים  $G_1 = (V, E_1)$ ,  $G_2 = (V, E_2)$  ו- $G_3 = (V, E_3)$ . נגדיר  $G = (V, E_1 \cup E_2 \cup E_3)$  כאיחוד שלושת הגרפים, ונניח כי לכל קודקוד ב- $V$  דרגתו ב- $G$  היא לפחות 6. הוכיחו כי לפחות אחד מהגרפים  $G_1, G_2, G_3$  אינו חסר-מעגלים. שאלה זו מופיעה גם בפרק עצים.

(26) יהי  $G_n$  גרף פשוט שקודקודיו הם כל תתי-קבוצות של  $\{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$ , למעט  $\emptyset$  ו- $\{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$  עצמה. שני קודקודים הם שכנים אם ורק אם אף אחד אינו מוכל במשנהו.

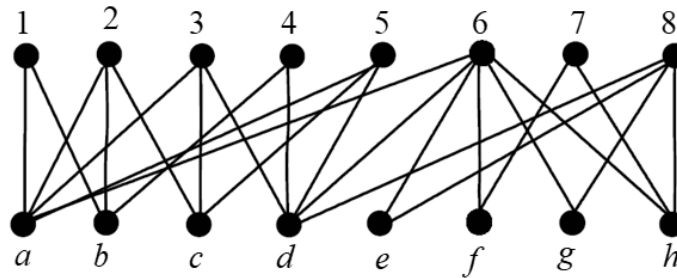
א. הוכיחו כי לכל  $n \geq 2$ ,  $G_n$  קשיר.

ב. הוכיחו כי אם  $v$  תת קבוצה בת  $k$  אברים של  $\{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$  אז דרגתה כקודקוד ב- $G_n$  היא:  $2^n - 2^{n-k} - 2^k + 1$ .

ג. הוכיחו כי לכל  $n \geq 3$  קיים מעגל המילטון ב- $G_n$ . מותר להסתמך על סעיפים קודמים ועל העובדה ש- $2^{n-1} + 2 \leq 2^{n-k} + 2^k$ .

- (27) כמה זיווגים מושלמים יש, (שאלה זו מופיעה גם בפרק גרף דו צדדי)  
 א. בגרף המלא  $K_5$  ?  
 ב. בגרף המלא  $K_6$  ?  
 ג. בגרף הדו"צ המלא  $K_{5,5}$  ?  
 (הגדרת גרף דו"צ בפרק גרף דו צדדי)  
 ד. בגרף הדו"צ המלא  $K_{5,5}$ , כאשר מחקנו שלוש קשתות שיש להן צומת משותף?

- (28) ענו על הסעיפים הבאים:  
 א. הוכיחו כי בגרף הבא אין זיווג מושלם.  
 ב. מצאו זיווג מקסימום.  
 ג. מהו המספר המינימלי של קשתות שיש להוסיף לגרף כך שיהיה זיווג?



- (29) יהי  $G = (V, E)$  גרף פשוט, ונגדיר גרף חדש  $H = (V, E')$  באופן הבא:  

$$E' = \{ \{x, y\} \mid x, y \in V \wedge \exists z \in V : \{ \{x, z\}, \{y, z\} \} \subseteq E \}$$
  
 הוכיחו או הפריכו כל אחת מהטענות הבאות:  
 א. אם  $G$  קשיר, אז  $H$  קשיר.  
 ב. אם  $G$  קשיר, אז  $H$  לא קשיר.  
 ג. אם  $H$  קשיר, אז  $G$  קשיר.  
 ד. אם  $H$  קשיר, אז  $G$  לא קשיר.

- (30) נתון גרף  $G$ .  
 הוכיחו כי אם  $\bar{G}$  לא קשיר, אז לכל שני קודקודים  $x, y$  ב- $G$  מתקיים  $d(x, y) \leq 2$  (כאשר  $d(x, y)$  הוא המרחק בין  $x$  ל- $y$ ).  
 (31) נתונה קבוצה בת 5 קודקודים  $V = \{v, u, t, s, r\}$ .  
 כמה גרפים שונים על קבוצת הקודקודים  $V$  מקיימים שדרגת כל קודקוד קטנה ממש מ-4?

**(32)** יהי  $G$  גרף חסר מעגלים כעל 20 קודקודים ו-15 קשתות. כמה רכיבי קשירות בגרף?

**(33)** הוכיחו כי בכל צביעה של קשתות  $K_{2t+1}$  ב- $t$  צבעים, נקבל מעגל חד צבעי.

## גרף דו צדדי

## שאלות

- (1) נגדיר גרף  $G = (V, E)$  באופן הבא:  $V = \{A \in P\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\} \mid |A| = 3\}$   
 $E = \{\{A, B\} \mid |A \cap B| = 1\}$   
 א. האם  $G$  דו צדדי?  
 ב. האם  $G$  דו קשיר?
- (2) יהי  $G = (V, E)$  גרף, כאשר כל צומת של  $G$  היא סדרה בינארית באורך 6. למשל, 000000 צומת של  $G$ . שני צמתים הם מחוברים אם הם נבדלים זה מזה בשני מקומות בדיוק. למשל, 010111 מחובר ל-011101, כי הם נבדלים במקומות השלישי והחמישי.  
 א. כמה קשתות יש ל- $G$ ?  
 ב. האם  $G$  קשיר? כמה רכיבי קשירות יש ל- $G$ ?  
 ג. האם  $G$  דו"צ?  
 ד. (למי שלמדו גרפים מישוריים, האם  $G$  מישורי?)
- (3) מחקו  $n-1$  קשתות מן הגרף הדו-צדדי השלם  $K_{2,n}$  (כאשר  $n \geq 1$ ) והתקבל גרף  $G$  שאין בו קודקודים מבודדים (כלומר, אין בו קודקודים שדרגתם אפס). הוכיחו ש- $G$  הוא עץ (שאלה זו מופיעה גם בפרק עצים).
- (4) מה הגרף המשלים של הגרפים הדו"צ  $K_{4,4}, K_{5,5}$ , ובאופן כללי  $K_{n,n}$ ?
- (5) יהיו  $G_1 = (V_1, E_1)$  ו- $G_2 = (V_2, E_2)$  שני גרפים, כאשר האיחוד שלהם מוגדר להיות  $G_1 \cup G_2 = (V, E)$  כש- $V = V_1 \cup V_2, E = E_1 \cup E_2$ .  
 הוכיחו או הפריכו:  
 א. איחוד של שני גרפים דו"צ הוא גרף דו"צ.  
 ב. איחוד של שני גרפים דו"צ על קבוצות צמתים זרות הוא גרף דו"צ.  
 ג. איחוד של  $n$  גרפים דו"צ על קבוצות צמתים זרות הוא גרף דו"צ.  
 ד. איחוד של  $n$  גרפים דו"צ על קבוצות צמתים זרות בזוגות הוא גרף דו"צ.
- (6) הציגו את  $K_{16}$  כאיחוד של 4 גרפים דו"צ.

(7) הוכיחו או הפריכו :

אם  $G = (V, E)$  גרף דו"צ  $k$  רגולרי שצדדיו הם  $A, B$ , אז  $|A| = |B|$ .(8) יהיו  $G_1, G_2, G_3, \dots, G_7$  שבעה גרפים דו"צ שונים על אותה קבוצת צמתים  $V$ .לכל גרף צדדים  $A_i, B_i$ , כאשר  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ . כמוכן שבסימונים אלהמתקיים  $A_i \cup B_i = V$ ,  $A_i \cap B_i = \emptyset$  לכל  $1 \leq i \leq 7$ .יהי  $G$  איחוד כל הגרפים האלה, כאשר אם יש קשר המופיע בכמה גרפים ניקח

רק קשת אחת, כך שאין קשתות מרובות והגרף שהגדרנו הוא גרף פשוט.

לכל צומת ב- $G$  נתאים סדרה בת שבע אותיות לפי הצדדים אליה הוא שייךבגרפים  $G_1, G_2, G_3, \dots, G_7$ , בהתאמה.למשל, אם  $v$  שייך לקבוצות  $A_1, A_2, B_3, B_4, B_5, A_6, A_7$ , כלומר בשני הגרפיםהראשונים הוא בצד  $A$ , בשלושת הגרפים הבאים בצד  $B$ , ובשני הגרפיםהאחרונים בצד  $A$ , אז נשמיט את האינדקסים ונתאים לו את המילה  $AABBBAA$ .כלומר, ל- $v$  שלנו תתאים המילה  $AABBBAA$ , ובאופן דומה, לכל צומת תתאים

מילה בת 7 אותיות.

הוכיחו כי אם לשני צמתים  $u, v$  מתאימה אותה מילה אז אין צומת ב- $G$  בין  $u$ לבין  $v$ .(9) יהי  $G$  גרף דו צדדי  $V = V_1 \cup V_2$ ,  $V_1 \cap V_2 = \emptyset$ , ונתון כי  $G$  הוא  $d$  רגולרי,  $d \geq 1$ .הוכיחו כי  $|V_1| = |V_2|$ .

(10) הוכיחו או הפריכו :

א. אם לגרף יש שני רכיבי קשירות בדיוק, אז הגרף המשלים הוא דו צדדי.

ב. אם לגרף יש שני רכיבי קשירות בדיוק, אז הגרף המשלים אינו דו צדדי.

(11) כמה זיווגים מושלמים יש,

(שאלה זו מופיעה גם בפרק גרף דו צדדי)

א. בגרף המלא  $K_5$ ?ב. בגרף המלא  $K_6$ ?ג. בגרף הדו"צ המלא  $K_{5,5}$ ?

(הגדרת גרף דו"צ בפרק גרף דו צדדי)

ד. בגרף הדו"צ המלא  $K_{5,5}$  כאשר מחקנו שלוש קשתות שיש להן צומת משותף?(12) יהי  $G = (V, E)$  גרף דו-צדדי פשוט, וכן  $|V| = n$ .הוכיחו כי  $|E| \leq \frac{n^2}{4}$ .

- 13** נגדיר גרף שצמתיו הם  $P(\{1, 2, 3, \dots, n\})$  (יש  $2^n$  צמתים), ושני צמתים מחוברים, אם אחד מהם מכיל את השני והם נבדלים באיבר אחד.  
(למשל,  $\{1, 2, 5, 7\}$ ,  $\{1, 5, 7\}$  מחוברים)
- א. הוכיחו כי  $G$  קשיר.  
 ב. הוכיחו כי  $G$  רגולרי.  
 ג. הוכיחו כי  $G$  הוא גרף דו"צ.

- 14** הוכיחו או הפריכו: אם  $G = (V, E)$  אוילרי דו צדדי, אז:  $|V| \in \mathbb{N}_{\text{even}}$ .  
(שאלה זו מופיעה גם בפרק מעגלים מיוחדים)

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר [www.GooL.co.il](http://www.GooL.co.il)

## עצים

## שאלות

- (1) יהי  $T$  עץ שעל  $n \geq 2$  קודקודים שלו בדיוק שני עלים.  
מהן דרגות קודקודי  $T$ ? רשמו אותן לכל  $n \geq 2$ , בסדר עולה משמאל לימין (סדרת הדרגות) והוכיחו נכונות תשובתכם.
- (2) יהי  $T = (V, E)$  עץ.  
הוכיחו שאם כל דרגותיו אי-זוגיות, אזי גם  $|E|$  הוא מספר אי-זוגי.
- (3) יהי  $T$  עץ על  $n \geq 4$  קודקודים. אורך המסלול הפשוט הארוך ביותר ב- $T$  הוא  $n-2$  (יש מסלול פשוט באורך  $n-2$  ואין מסלול ארוך יותר).  
מהן דרגות קודקודי  $T$ ? רשמו אותן בסדר עולה משמאל לימין (סדרת הדרגות).
- (4) יהי  $T$  עץ. נוסף ל- $T$  קודקוד שנקרא לו  $v$ , וקשתות מ- $v$  לחלק מקודקודי  $T$ .  
מה צריכה להיות דרגת  $v$  כדי שבגרף המתקבל יהיה בדיוק מעגל פשוט אחד? הוכיחו שאם דרגת  $v$  תהיה גדולה יותר, בגרף יהיה יותר ממעגל פשוט אחד.
- (5)  $G$  גרף עם 20 קודקודים ו-15 קשתות ללא מעגלים.  
כמה רכיבי קשירות בגרף?
- (6) נתונה קבוצה של 10 קודקודים, ואוסף שקפים שעליהם מצוירים עצים על אותם עשרה קודקודים. גיורא מניח מספר כלשהו של שקפים זה על זה ומקפיד שאף קשת משקף אחד לא תכסה על אותה קשת בשקף אחר (כלומר, אין אף קשת משותפת לשני עצים שונים).  
הוכיחו שהגרף שגיורא מקבל מאיחוד העצים שמצוירים על השקפים לא יכול להיות גרף שכל דרגותיו שוות ל-5.  
רמז: חשבו את מספר הקשתות בגרף.
- (7) יהיו  $T_1 = (V, E_1)$ ,  $T_2 = (V, E_2)$  שני עצים על אותה קבוצת קודקודים, ונגדיר גרף  $G$  על אותה קבוצת קודקודים, שקשתותיו  $E = E_1 \cup E_2$ .  
הוכיחו כי קיים  $x \in V$ , כך ש- $d(x) \leq 3$  (דרגתו של  $x$  ב- $G$ ).

(8) יהיו  $T_1 = \langle V_1, E_1 \rangle$ ,  $T_2 = \langle V_2, E_2 \rangle$  עצים, ונגדיר גרף  $G$  כך:  $G = \langle V_1 \cup V_2, E_1 \cup E_2 \rangle$ .

א. נתון כי  $V_1 \cap V_2 = \{v\}$ .

האם  $G$  בהכרח עץ? נמקו.

ב. נתון כי  $E_1 \cap E_2 = \{e\}$ .

האם  $G$  בהכרח עץ? נמקו.

(9) יהי  $T$  עץ על  $n \geq 3$  קודקודים ויהי  $v$  קודקוד ב- $T$  מדרגה 2. יהי  $k$  מספר רכיבי הקשירות של  $T-v$  (שהוא תת הגרף של  $T$  המתקבל ממחיקת  $v$ , והקשתות ש- $v$  קצה שלהן). מה הם הערכים האפשריים עבור  $k$ ? הוכיחו.

(10) יהי  $T$  עץ בעל  $n$  קודקודים, ונתון שדרגותיו הן 1, 3, 5 בלבד. יש 7 קודקודים מדרגה 3 ו-10 מדרגה 5. כמה עלים יש בעץ?

(11) יהי  $T = (V, E)$  עץ, שבו  $|V| = n$ . דרגות צמתי  $T$  הן 1, 3, 5 בלבד. מספר הצמתים שלהם מדרגה 3 הוא 10 ומספר הצמתים שלהם מדרגה 5 הוא 12. כמה עלים (צמתים מדרגה 1) יש לעץ?

(12) הוכיחו כי בכל צביעת קשתות הגרף השלם  $K_n$  בשני צבעים קיים עץ פורש מונוכרומטי. הערה: עץ פורש הוא עץ שקודקודיו הם כל קודקודי  $G$  וקשתותיו הן חלק מקשתות  $G$ .

(13) יהי  $G = (V, E)$ ,  $|V| = n$ , גרף פשוט וחסר מעגלים, שבו  $k$  רכיבי קשירות. הוכיחו כי  $|E| = n - k$ .

(14) מהי העוצמה הגדולה ביותר האפשרית לקבוצה של עצים על קבוצת הקודקודים  $V = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ , שאף שניים מהם אינם איזומורפיים? (שאלה זו מופיעה גם בפרק איזומורפיזם)

(15) מחקו  $n-1$  קשתות מן הגרף הדו-צדדי השלם  $K_{2,n}$  (כאשר  $n \geq 1$ ), והתקבל גרף  $G$  שאין בו קודקודים מבודדים (כלומר, אין בו קודקודים שדרגתם אפס). הוכיחו ש- $G$  הוא עץ (שאלה זו מופיעה גם בפרק גרף דו צדדי).

16) ענו על הסעיפים הבאים :

א. נתונים שלושה גרפים בעלי אותה קבוצת קודקודים  $G_1 = (V, E_1)$ ,

$$G_2 = (V, E_2) \text{ ו- } G_3 = (V, E_3).$$

נגדיר  $G = (V, E_1 \cup E_2 \cup E_3)$  כאיחוד שלושת הגרפים, ונניח כי לכל

קודקוד ב- $V$  דרגתו ב- $G$  היא לפחות 6.

הוכיחו כי לפחות אחד מהגרפים  $G_1, G_2, G_3$  אינו חסר-מעגלים.

ב. יהיו  $G_1 = (V_1, E_1), G_2 = (V_2, E_2), G_3 = (V_3, E_3)$  שלושה עצים על אותה

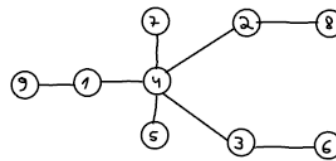
קבוצת צמתים  $V$ .

לכל צומת  $v \in V$  נסמן ב- $d_i(v)$  את הדרגה של  $v$  ב- $G_i$ , אשר  $i = 1, 2, 3$ .

$$\sum_{i=1}^3 d_i(v) \leq 5, v \in V, \text{ שעבורו } v \in V \text{ הוכיחו כי קיים צומת}$$

17) מיהו העץ הממוספר המותאם למילה  $(1, 1, 3, 4, 3, 6, 10, 1)$ ?

18) מהי סדרת פרופר של העץ הבא?



19) בכמה עצים שונים על קבוצת הצמתים  $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$  אין שום צומת מדרגה זוגית?

20) בכמה עצים על קבוצת הקודקודים  $\{1, 2, 3, 4, \dots, 10\}$  כל העלים הם מספרים זוגיים?

21) כמה עצים שונים יש על הקודקודים  $\{1, \dots, n\}$ , שלהם בדיוק שני עלים?

22)  $T$  הוא עץ בעל 60 צמתים, מתוכם בדיוק 10 צמתים מדרגה 3 ואין בצמתים מדרגה גדולה מ-3.

א. הדגימו עץ כזה.

ב. מצאו את מספר העלים ללא שימוש בקוד פרופר.

ג. מצאו את מספר העלים בעזרת קוד פרופר.

23) בכמה עצים על הקודקודים  $\{1, 2, 3, \dots, 10\}$  יש שלושה עלים והם (ורק הם) : 8, 9, 10?

**(24)** יהי  $G$  גרף פשוט על  $n$  קודקודים המכיל מעגל המילטון, ונתון כי על ידי השמטת קשתות המעגל מתקבלת גרף של  $G$  שהוא עץ. האם ניתן על סמך הנתונים לקבוע כמה קשתות בגרף  $G$ ? אם כן, מהו מספר הקשתות?  
(שאלה זו מופיעה גם בפרק מעגלים מיוחדים)

**(25)** מהי העוצמה הגדולה ביותר האפשרית לקבוצה של עצים על קבוצת הקודקודים  $V = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ , שאף שניים מהם אינם איזומורפיים?  
(שאלה זו מופיעה בפרק איזומורפיזם)

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר [www.GooL.co.il](http://www.GooL.co.il)

## מעגלים מיוחדים

הערה: חלק קטן משאלות פרק זה מסתמכות על מושג העץ. רצוי ללמוד את הפרק עצים שהוא פרק חשוב ביותר.

### דוגמאות

(1) צפו בסרטון על מעגלי המילטון והוכיחו כי:

- א. תנאי אורה אינו תנאי הכרחי.
- ב. החסם במשפט אורה הוא הדוק.

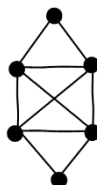
(2) בשאלה זו נחקור את הקשר בין המושג מעגל אוילר לבין מעגל המילטון. הוכיחו או הפריכו:

- א. אם  $G$  המילטוני, אז  $G$  אוילרי.
- ב. אם  $G$  המילטוני, אז  $G$  לא אוילרי.
- ג. אם  $G$  לא המילטוני, אז  $G$  אוילרי.
- ד. אם  $G$  לא המילטוני, אז  $G$  לא אוילרי.
- ה. לעניין הקשר בין המושגים, מה המסקנה המתבקשת מסעיפים א-ד?
- ו. אם  $G$  הוא גם אוילרי וגם המילטוני, אז יש בו מסלול שהוא בעת ובעונה אחת גם מסלול אוילר וגם מסלול המילטון.
- ז. אם  $G$  אוילרי וגם המילטוני, אז  $G$  הוא מעגל פשוט.
- ח. אם יש ב- $G$  מסלול שהוא בעת ובעונה אחת מעגל אוילר וגם מעגל המילטון, אז  $G$  הוא מעגל פשוט.

### שאלות

(1) ענו על הסעיפים הבאים:

- א. מצא מעגל אוילר, מעגל המילטון, ומסלול המילטון שאינו מעגל המילטון בגרף הבא:



- ב. הוכיחו את הטענה הבאה, או תנו דוגמה נגדית והסבר שמראה שאכן מדובר בדוגמה נגדית: אם בגרף יש מעגל המילטון, אז יש בו מעגל אוילר.

- (2) נגדיר גרף  $G = (V, E)$  באופן הבא:  $V = \{A \in P\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\} \mid |A| = 3\}$   
 $E = \{\{A, B\} \mid |A \cap B| = 1\}$ . למשל,  $\{\{2, 4, 7\}, \{1, 4, 6\}\} \in E$ .
- א. מהו מספר הצמתים? מה דרגת כל קודקוד? מה מספר הקשתות?  
 ב. האם  $G$  דו"צ?  
 ג. האם  $G$  אוילרי?  
 ד. האם  $G$  המילטוני?
- (3) מהו האורך המירבי של מסלול ב- $K_{2n+1}$ ? נמקו.
- (4) הוכיחו בכל גרף שכל דרגותיו 4 ניתן לצבוע את קשתותיו כך מכל קודקוד יצאו בדיוק שתי קשתות מכל צבע.
- (5) ענו על הסעיפים הבאים:  
 א. יהי  $G$  גרף שקודקודיו הן תתי קבוצות בנות 4 איברים של  $\{1, 2, 3, \dots, 8\}$ , כאשר שני קודקודים מחוברים אם ורק אם בקבוצות יש 2 איברים בדיוק. האם ב- $G$  יש מעגל המילטון?  
 ב. יהי  $K_{m,n}$  גרף דו צדדי שלם. הוכיחו כי  $K_{m,n}$  המילטוני  $\Leftrightarrow m = n$ .
- (6) יהיו  $G_1 = (V_1, E_1)$ ,  $G_2 = (V_2, E_2)$ ,  $V_1 \cap V_2 = \emptyset$ ,  $E_1 \cap E_2 = \emptyset$  שני גרפים אוילריים פשוטים. נגדיר  $G = (V, E)$  באופן הבא:  $V = V_1 \cup V_2$ ,  $E = E_1 \cup E_2$ , ומלכדים צומת  $u_1 \in V_1$  עם צומת  $u_2 \in V_2$ . האם  $G$  אוילרי? אם נחבר את  $u_1$  עם  $u_2$  במקום ללכד אותם, האם כעת  $G$  אוילרי?
- (7) יהי  $G = (V, E)$  גרף אוילריאני בעל מספר אי זוגי של צמתים. הוכיחו כי יש ב- $G$  לפחות שלושה צמתים בעלי אותה דרגה. (שובך היונים, מספר הקודקודים  $2n+1$  ויש  $n$  דרגות אפשריות כי כולן זוגיות)
- (8) יהי  $G$  גרף בעל שני רכיבי קשירות,  $T_1$  ו- $T_2$ , שכל אחד מהם עץ. נוסיף שתי קשתות חדשות ל- $G$  (קבוצת הקודקודים נשארת ללא שינוי) ויתקבל גרף חדש  $\tilde{G}$ .  
 א. הוכיחו שב- $\tilde{G}$  בהכרח יש מעגל.  
 ב. בנו דוגמה שבה ב- $\tilde{G}$  יש מעגל המילטון.

(9) יהי  $G$  גרף פשוט על  $n \geq 3$  קודקודים.  
נתון:

1.  $n$  מספר זוגי.
  2. כל הדרגות ב- $G$  שוות (כלומר  $G$  גרף רגולרי).
  3. גם  $G$  וגם  $\bar{G}$  קשירים.
- הוכיחו שלפחות באחד מבין  $G$  ו- $\bar{G}$  יש מעגל המילטון.

(10) הוכיחו או הפריכו: אם  $G$  אוילרי דו"צ, אז מספר הצמתים של  $G$  הוא זוגי.

(11) עבור  $A = \{1, 2, 3\}$ , נגדיר  $G = (V, E)$ , כאשר  $V = A \times A$  (9 צמתים), ואת  $E$

קבוצת הצמתים נגדיר באופן הבא:  $\{(a, b), (c, d)\} \in E$  אם ורק אם  $a + b \neq c + d$ .

א. הוכיחו כי  $G$  קשיר.

ב. מה דרגת הצומת  $(1, 1)$  ומה דרגת הצומת  $(2, 3)$ ? כמה קשתות יש ב- $G$ ?

ג. הוכיחו כי אין ב- $G$  מסלול אוילר.

(12) יהי  $G$  גרף פשוט 3-רגולארי על  $n \geq 4$  קודקודים. נתון שב- $G$  יש מעגל המילטון. הוכיחו שתת הגרף של  $G$ , המתקבל ממחיקת כל הקשתות ששייכות למעגל

המילטון, הוא בעל  $\frac{n}{2}$  רכיבי קשירות (בפרט, יש להוכיח ש- $n$  זוגי).

(13) יהיו  $G_1 = (V, E_1)$ ,  $G_2 = (V, E_2)$  שני גרפים על אותה קבוצת קודקודים  $V$ . נגדיר

את הגרף  $G = (V, E_1 \oplus E_2)$ , כאשר  $E_1 \oplus E_2$  הוא ההפרש הסימטרי של שתי

קבוצות הקשתות (כל הקשתות שנמצאות ב- $E_1$  או ב- $E_2$  אבל לא בשניהן).

הוכיחו כי אם ב- $G_1, G_2$  יש מעגל אוילר ו- $G$  קשיר, אז גם בו יש מעגל אוילר.

(14) יהי  $G = (V, E)$  גרף על  $n$  צמתים.

א. הוכיחו כי אם  $|E| > \binom{n-1}{2} + 1$ , אז  $G$  המילטוני.

ב. הוכיחו כי החסם הנ"ל הדוק. כלומר, כי הטענה:

אם  $|E| \geq \binom{n-1}{2} + 1$ , אז  $G$  המילטוני – איננה נכונה.

(15) נתון  $G = (V, E)$  גרף אוילרי שיש בו שלוש קשתות  $e_1, e_2, e_3 \in E$ , שלאחר

הסרתן מהגרף,  $G$  נשאר אוילרי.

א. הדגימו גרף כזה.

ב. הוכיחו כי  $G$  לא דו"צ.

**(16)** נתון  $G$  גרף אוילר, ונגדיר שיטה: נבחר קודקוד, נתחיל ממנו מסלול, ונמשיך אותו כרצוננו כל עוד אפשר בלי לחזור על קשת פעמיים.  
 א. הוכיחו כי בשיטה זו תמיד נקבל מעגל.  
 ב. האם בשיטה זו מתקבל תמיד מעגל אוילר?  
 ג. נתון כי  $G$  גם המילטוני.  
 האם בהכרח יש בו מסלול שהוא גם מעגל אוילר וגם מעגל המילטון?

**(17)** יהי  $G$  גרף פשוט על  $n$  קודקודים, המכיל מעגל המילטון, ונתון כי על ידי השמטת קשתות המעגל מתקבלת תת גרף של  $G$  שהוא עץ.  
 האם ניתן על סמך הנתונים לקבוע כמה קשתות בגרף  $G$ ? אם כן, מהו מספר הקשתות?  
 (שאלה זו מופיעה גם בפרק מעגלים מיוחדים)

**(18)** יהי  $G$  גרף, לאו דווקא קשיר, שכל דרגותיו אי זוגיות. נבנה גרף  $H$  שקודקודיו הם קודקודי  $G$  ועוד קודקוד חדש  $v$ , שקשתותיו הם קשתות  $G$  וכל הקשתות האפשריות בין  $v$  לקודקודי  $G$ .  
 הוכיחו שב- $H$  יש מעגל אוילר.

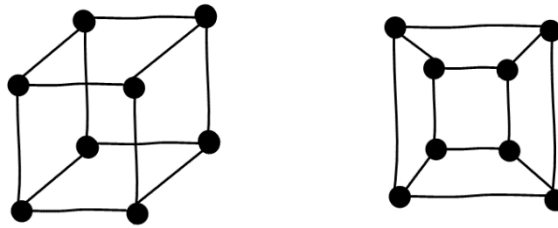
**(19)** הוכיחו או הפריכו: אם  $G = (V, E)$  אוילרי דו צדדי, אז:  $|V| \in \mathbb{N}_{\text{even}}$ .  
 (שאלה זו מופיעה גם בפרק גרף דו צדדי)

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר [www.GooL.co.il](http://www.GooL.co.il)

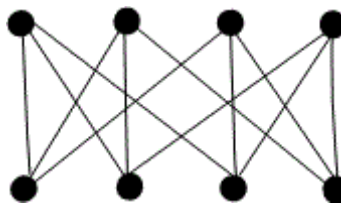
## איזומורפיזם

## שאלות

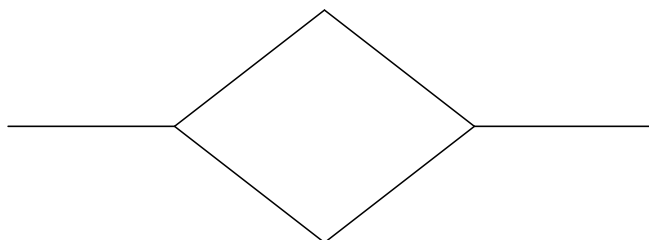
- (1) הוכיחו כי הגרפים הבאים איזומורפיים זה לזה.  
זה אומר שגרף הקובייה התלת מימדי הוא מישורי (כלומר, ניתן לשכן אותו במישור [למצוא גרף איזומורפי לו] מבלי שאף צלע חותכת צלע אחרת).



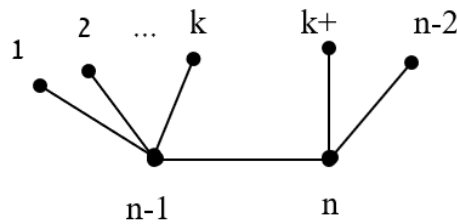
- (2) הוכיחו כי ניתן לשכן במישור את הגרף הבא.  
כלומר, קיים גרף  $G$  איזומורפי לו, מבלי שאף צלע ב- $G$  חותכת צלע אחרת.



- (3) יהיו  $G_1, G_2$  שני גרפים איזומורפיים.  
הוכיחו כי  $G_1$  חסר מעגלים  $\Leftrightarrow G_2$  חסר מעגלים, והסיקו כי  $G_1 \Leftrightarrow G_2$  עץ.
- (4) כמה גרפים שונים זה מזה ואיזומורפיים לגרף שמצויר להלן אפשר לבנות על קבוצת הקודקודים  $\{a, b, c, d, e, f\}$ ?

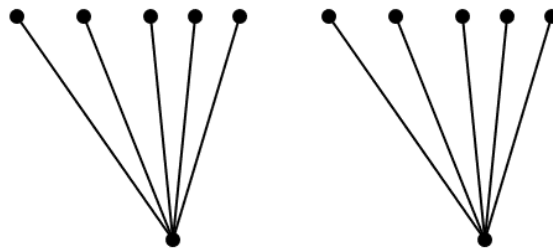


(5) כמה גרפים שונים על קבוצת הקודקודים  $V = \{1, 2, \dots, n\}$  איזומורפיים לגרף הבא:



תנו תשובה לכל  $k, n$  טבעיים המקיימים  $2 \leq k \leq n-3$ .  
הפרידו בין המקרים  $n = 2k+2$ ,  $n \neq 2k+2$ .

(6) כמה גרפים שונים על קבוצת הקודקודים  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{12}\}$  איזומורפיים לגרף הבא:



(7) הוכיחו או הפריכו:  
אם לשני גרפים אותה רשימת דרגות (כלומר, אם נסדר את דרגות קודקודי כל אחד מהגרפים בסדר עולה, נקבל אותה סדרה), אז הגרפים איזומורפיים.

(8) נגדיר  $C_n$  להיות מעגל על  $n$  קודקודים.  
לאילו ערכים של  $n$  מתקיים ש- $C_n$  איזומורפי ל- $\bar{C}_n$ ?  
(כאשר  $\bar{C}_n$  הוא הגרף המשלים)

(9) יהי  $T$  עץ.  
מהי העוצמה הגדולה ביותר האפשרית לקבוצה של עצים על קבוצת הקודקודים  $V = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ , שאף שניים מהם אינם איזומורפיים? (שאלה מאתגרת)

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר [www.GooL.co.il](http://www.GooL.co.il)

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 7 - יסודות ההסתברות

תוכן העניינים

1. כללי ..... 46

## הגדרות יסודיות:

### רקע:

**ניסוי מקרי:** תהליך לו כמה תוצאות אפשריות. התוצאה המתקבלת נודעת רק לאחר ביצוע התהליך. למשל: תוצאה בהטלת קובייה, מזג האוויר בעוד שבועיים.

**מרחב מדגם:** כלל התוצאות האפשריות בניסוי המקרי. לדוגמה, בהטלת קובייה:  $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ , או: מזג האוויר בעוד שבועיים:  $\{\text{נאה, שרבי, מושלג, גשום, מעונן, חלקית, אביד}\}$ .

**מאורע:** תת קבוצה מתוך מרחב במדגם. מסומן באותיות:  $A, B, C$ . בהטלת קובייה למשל, המאורע 'לקבל לפחות 5' יסומן:  $A = \{5, 6\}$ . המאורע 'לקבל תוצאה זוגית' יסומן:  $B = \{2, 4, 6\}$ .

**גודל מרחב המדגם:** מספר התוצאות האפשריות במרחב המדגם. בהטלת קובייה למשל נקבל:  $|\Omega| = 6$ .

**גודל המאורע:** מספר התוצאות האפשריות במאורע עצמו. למשל, בהטלת הקובייה האירועים הקודמים יסומנו:  $|A| = 2, |B| = 3$ .

**מאורע משלים:** מאורע המכיל את כל התוצאות האפשריות במרחב המדגם פרט לתוצאות במאורע אותו הוא משלים. למשל, בהטלת הקובייה:  $\bar{A} = \{1, 2, 3, 4\}$ ,  $\bar{B} = \{1, 3, 5\}$ .

**מרחב מדגם אחיד (סימטרי):** מרחב מדגם בו לכל התוצאות במרחב המדגם יש את אותה עדיפות, אותה סבירות למשל, קובייה הוגנת, אך לא כמו מזג האוויר בשבוע הבא.

**הסתברות במרחב מדגם אחיד:** במרחב מדגם אחיד הסיכוי למאורע יהיה:  $P(A) = \frac{|A|}{|\Omega|}$ .

דוגמה: מה הסיכוי בהטלת קובייה לקבל לפחות 5?  $P(A) = \frac{|A|}{|\Omega|} = \frac{2}{6}$ .

דוגמה: מה הסיכוי בהטלת קובייה לקבל תוצאה זוגית?  $P(B) = \frac{|B|}{|\Omega|} = \frac{3}{6}$ .

**הסתברות במרחב לא אחיד:** תחושב לפי השכיחות היחסית:  $\frac{f}{n}$ .

**דוגמה:**

להלן התפלגות הציונים בכיתה מסוימת:

| הציון $x$ | מספר התלמידים – השכיחות $f$ |
|-----------|-----------------------------|
| 5         | 2                           |
| 6         | 4                           |
| 7         | 8                           |
| 8         | 5                           |
| 9         | 4                           |
| 10        | 2                           |

מה ההסתברות שתלמיד אקראי שניבחר בכיתה קיבל את הציון 8?  $\frac{f}{n} = \frac{5}{25} = 0.2$ .

מה ההסתברות שתלמיד אקראי שניבחר בכיתה יכשל?  $\frac{f}{n} = \frac{2}{25} = 0.08$ .

**הסתברות למאורע משלים:** הסתברות לקבוצת המשלים של המאורע ביחס למרחב המדגם:  $P(\bar{A}) = 1 - P(A)$ . למשל, בדוגמה הקודמת הסיכוי לעבור את הבחינה יכול

להיות מחושב לפי הסיכוי להיכשל:  $P(A) = 1 - \frac{2}{25} = \frac{23}{25}$ .

## שאלות:

(1) מהאותיות  $E, F$  ו- $G$  יש ליצור מילה בת 2 אותיות, לא בהכרח בת משמעות.

א. הרכיבו את כל המילים האפשריות.

ב. רשמו את המקרים למאורע:

i. במילה נמצאת האות  $E$ .

ii. במילה האותיות שונות.

ג. רשמו את המקרים למאורע  $\bar{A}$ .

(2) מטילים זוג קוביות.

א. רשמו את מרחב המדגם של הניסוי. האם מרחב המדגם אחיד?

ב. רשמו את כל האפשרויות לאירועים הבאים:

i. סכום התוצאות 7.

ii. מכפלת התוצאות 12.

ג. חשבו את הסיכויים לאירועים שהוגדרו בסעיף ב'.

(3) נבחר באקראי ספרה מבין הספרות 0-9.

א. מה ההסתברות שהספרה שנבחרה גדולה מ-5?

ב. מה ההסתברות שהספרה שנבחרה היא לכל היותר 3?

ג. מה ההסתברות שהספרה שנבחרה היא אי זוגית?

(4) להלן התפלגות מספר מקלטי הטלוויזיה עבור כל משפחה בישוב מסוים:

| מספר משפחות | 22 | 28 | 18 | 22 | 10 |
|-------------|----|----|----|----|----|
| מספר מקלטים | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  |

נבחרה משפחה באקראי מהישוב.

א. מה ההסתברות שאין מקלטים למשפחה?

ב. מה ההסתברות שיש מקלטים למשפחה?

ג. מה ההסתברות שיש לפחות 3 מקלטים למשפחה?

(5) להלן התפלגות מספר המכוניות למשפחה ביישוב "עדן":

| מספר משפחות  | 20 | 40 | 100 | 30 | 10 |
|--------------|----|----|-----|----|----|
| מספר מכוניות | 0  | 1  | 2   | 3  | 4  |

נבחרה משפחה אקראית מן הישוב.

א. מה ההסתברות שאין לה מכוניות?

ב. מה ההסתברות שבבעלות המשפחה לפחות 3 מכוניות?

ג. מה הסיכוי שבבעלותה פחות מ-3 מכוניות?

- (6) נטיל מטבע רגיל 3 פעמים. בצד אחד של המטבע מוטבע עץ ובצד השני פלי.  
 א. רשמו את מרחב המדגם של הניסוי. האם מרחב המדגם הוא אחיד?  
 ב. רשמו את כל האפשרויות לאירועים הבאים:  
 i. התקבל פעם אחת עץ.  
 ii. התקבל לפחות פלי אחד.  
 ג. מהו המאורע המשלים ל-D?  
 ד. חשבו את הסיכויים לאירועים שהוגדרו בסעיפים ב-ג.

### תשובות סופיות:

- (1) א.  $\Omega = \{EE, EF, EG, FE, FF, FG, GE, GF, GG\}$   
 ב.  $A = \{EE, EF, EG, FE, GE\}$ ,  $B = \{EF, EG, FE, FG, GE, GF\}$   
 ג.  $\bar{A} = \{FF, FG, GF, GG\}$
- (2) א.  $\Omega = \left\{ \begin{pmatrix} (1,1) & (2,1) & (3,1) & (5,1) & (4,1) & (6,1) \\ (1,2) & (2,2) & (3,2) & (4,2) & (5,2) & (6,2) \\ (1,3) & (2,3) & (3,3) & (4,3) & (5,3) & (6,3) \\ (1,4) & (2,4) & (3,4) & (4,4) & (5,4) & (6,4) \\ (1,5) & (2,5) & (3,5) & (4,5) & (5,5) & (6,5) \\ (1,6) & (2,6) & (3,6) & (4,6) & (5,6) & (6,6) \end{pmatrix} \right\}$   
 ב.  $A = \{(1,6), (2,5), (3,4), (4,3), (5,2), (6,1)\}$ ,  $C = \{(2,6), (3,4), (4,3), (6,2)\}$   
 ג. הסיכוי ל-A:  $\frac{1}{6}$ . הסיכוי ל-B:  $\frac{1}{9}$ .
- (3) א. 0.4 ב. 0.4 ג. 0.5  
 (4) א. 0.22 ב. 0.78 ג. 0.32  
 (5) א. 0.1 ב. 0.2 ג. 0.8  
 (6) א.  $\Omega = \{PPP, PPE, PEP, EPP, PEE, EPE, EEP, EEE\}$   
 ב.  $A = \{PPE, PEP, EPP\}$ ,  $D = \{PPP, PPE, PEP, EPP, PEE, EPE, EEP\}$   
 ג.  $\bar{D} = \{EEE\}$   
 ד.  $\frac{1}{8}$

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 8 - פעולות בין מאורעות (חיתוך ואיחוד) - מאורעות זרים ומכילים

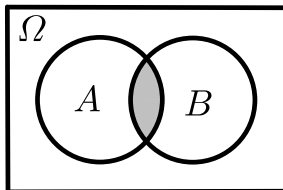
תוכן העניינים

1. כללי..... 50

## פעולות בין מאורעות (חיתוך ואיחוד) – מאורעות זרים ומכילים:

**רקע:**

**פעולת חיתוך:**

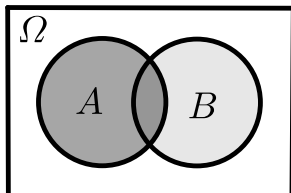


נותנת את המשותף בין המאורעות הנחתכים.  
חיתוך בין המאורע  $A$  למאורע  $B$  יסומן כך:  $A \cap B$ .  
מדובר בתוצאות שנמצאות ב- $A$  וגם ב- $B$ .

**דוגמה:**

בהטלת קובייה, למשל, האפשרויות לקבל לפחות 5 הן:  $A = \{5, 6\}$ .  
האפשרויות לקבל תוצאה זוגית הן:  $B = \{2, 4, 6\}$ .  
החיתוך שביניהם הוא:  $A \cap B = \{6\}$ .

**פעולת איחוד:**



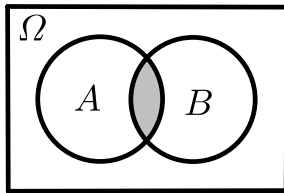
נותנת את כל האפשרויות שנמצאות לפחות באחת מהמאורעות, ומסומנת:  $A \cup B$ .  
הפעולה נותנת את אשר נמצא ב- $A$  או ב- $B$ .  
כלומר, לפחות אחד מהמאורעות קורה.

**דוגמה:**

בהטלת קובייה האפשרויות לקבל לפחות 5 הן:  $A = \{5, 6\}$ .  
האפשרויות לקבל תוצאה זוגית:  $B = \{2, 4, 6\}$ .  
האפשרויות לקבל לפחות 5 וגם תוצאה זוגית:  $A \cup B = \{2, 4, 5, 6\}$ .

**דוגמה (הפתרון נמצא בהקלטה):**

סטודנט ניגש בסמסטר לשני מבחנים. מבחן בסטטיסטיקה ומבחן בכלכלה. ההסתברות שלו לעבור את המבחן בסטטיסטיקה הוא 0.9, ההסתברות שלו לעבור את המבחן בכלכלה הוא 0.8 וההסתברות לעבור את המבחן בסטטיסטיקה ובכלכלה היא 0.75. מה ההסתברות שלו לעבור את המבחן בסטטיסטיקה בלבד? מה ההסתברות שלו להיכשל בשני המבחנים? מה ההסתברות לעבור לפחות מבחן אחד?

**נוסחת החיבור לשני מאורעות:**

ההסתברות של איחוד מאורעות תחושב ע"י הקשר הבא:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

**חוקי דה מורגן לשני מאורעות:**

$$\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B}$$

$$\overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B}$$

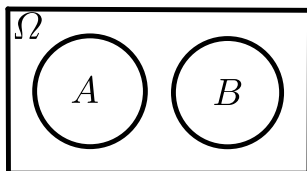
$$P(A \cap B) = 1 - P(\bar{A} \cup \bar{B})$$

$$P(A \cup B) = 1 - P(\bar{A} \cap \bar{B})$$

**שיטת ריבוע הקסם:**

השיטה רלבנטית רק אם יש שני מאורעות במקביל בדומה לתרגיל הקודם:

|           | $\bar{A}$                 | $A$                 |              |
|-----------|---------------------------|---------------------|--------------|
| $B$       | $P(\bar{A} \cap B)$       | $P(A \cap B)$       | $P(B)$       |
| $\bar{B}$ | $P(\bar{A} \cap \bar{B})$ | $P(A \cap \bar{B})$ | $P(\bar{B})$ |
|           | $P(\bar{A})$              | $P(A)$              | 1            |

**מאורעות זרים:**

מאורעות זרים הם כאשר אין להם אף איבר משותף:  
 $A \cap B = \{ \}$ . כלומר, הם לא יכולים להתרחש בו זמנית.

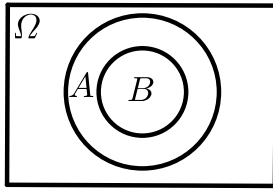
ההסתברות של חיתוך המאורעות היא אפס:  $P(A \cap B) = 0$ .

ההסתברות של איחוד המאורעות תחושב:  $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ .

דוגמה:

בהטלת קובייה, האפשרויות לקבל לפחות 5 הן:  $A = \{5, 6\}$  והאפשרות לקבל 3

היא:  $B = \{3\}$ , ולכן החיתוך ביניהם הוא אפס, כלומר:  $A \cap B = \{ \}$ .

**מאורעות מוכלים:**

נתונים שני מאורעות  $A$  ו- $B$ , השונים מאפס.  
נאמר שהמאורע  $B$  מוכל במאורע  $A$  אם כל איברי  
המאורע  $B$  כלולים במאורע  $A$  ונרשום:  $B \subset A$ .

מאורע  $A$  מכיל את מאורע  $B$  כל התוצאות שנמצאות ב- $B$   
מוכלות בתוך מאורע  $A$ .

קשר זה מסומן באופן הבא:  $B \subset A$ .

$$A \cap B = B \quad P(A \cap B) = P(B)$$

$$A \cup B = A \quad P(A \cup B) = P(A)$$

$$\begin{aligned} A &= \{2, 4, 6\} \\ B &= \{2, 4\} \end{aligned} \quad \text{למשל:}$$

## שאלות:

- (1) מהאותיות  $E, F$  ו- $G$  יוצרים מילה בת 2 אותיות – לא בהכרח בת משמעות. נגדיר את המאורעות הבאים:
- $A$  - במילה נמצאת האות  $E$ .
  - $B$  - במילה אותיות שונות.
- א. רשמו את כל האפשרויות לחיתוך  $A$  עם  $B$ .
- ב. רשמו את כל האפשרויות לאיחוד של  $A$  עם  $B$ .
- (2) תלמיד ניגש בסמסטר לשני מבחנים מבחן בכלכלה ומבחן בסטטיסטיקה. נגדיר את המאורעות הבאים:
- $A$  - לעבור את המבחן בסטטיסטיקה.
  - $B$  - לעבור את המבחן בכלכלה.
- היעזרו בפעולות חיתוך, איחוד ומשלים בלבד כדי להגדיר את המאורעות הבאים וסמנו בדיאגרמת וון את השטח המתאים:
- א. התלמיד עבר רק את המבחן בכלכלה.
  - ב. התלמיד עבר רק את המבחן בסטטיסטיקה.
  - ג. התלמיד עבר את שני המבחנים.
  - ד. התלמיד עבר לפחות מבחן אחד.
  - ה. התלמיד נכשל בשני המבחנים.
  - ו. התלמיד נכשל בכלכלה.
- (3) נתבקשתם לבחור ספרה באקראי. נגדיר את  $A$  להיות הספרה שנבחרה היא זוגית. נגדיר את  $B$  להיות הספרה שנבחרה קטנה מ-5.
- א. רשמו את כל התוצאות למאורעות הבאים:
- $$A \cup B, A \cap B, \bar{B}, B, A$$
- ב. חשבו את ההסתברויות לכל המאורעות מהסעיף הקודם.
- (4) נסמן ב- $\Omega$  את מרחב המדגם וב- $\phi$  קבוצה ריקה.
- נתון כי  $A$  הינו מאורע בתוך מרחב המדגם.
- להלן מוגדרים מאורעות שפתרונם הוא  $\Omega$  או  $\phi$  או  $A$ .
- קבעו עבור כל מאורע מה הפתרון שלו:
- $$A \cup \bar{A}, \bar{\phi}, A \cap \bar{A}, A \cup \Omega, A \cap \Omega, A \cup \phi, A \cap \phi, \bar{A}$$

(5) הוגדרו המאורעות הבאים :

$A$  - אדם שגובהו מעל 1.7 מטר

$B$  - אדם שגובהו מתחת ל-1.8 מטר.

קבעו את גובהם של האנשים הבאים :

א.  $A \cap B$

ב.  $A \cup B$

ג.  $\overline{A} \cap B$

ד.  $\overline{A} \cup \overline{B}$

ה.  $\overline{\overline{A}}$

(6) נגדיר את המאורעות הבאים :

$A$  - אדם דובר עברית.

$B$  - אדם דובר ערבית.

$C$  - אדם דובר אנגלית.

השתמשו בפעולות איחוד, חיתוך והשלמה לתיאור המאורעות הבאים :

א. אדם דובר את כל שלוש השפות.

ב. אדם דובר רק עברית.

ג. אדם דובר לפחות שפה אחת מתוך השפות הללו.

ד. אדם אינו דובר אנגלית.

ה. קבוצת התלמידים שדוברים שתי שפות בדיוק (מהשפות הנ"ל).

(7) שתי מפלגות רצות לכנסת הבאה. מפלגת "גדר" תעבור את אחוז החסימה בהסתברות של 0.08 ומפלגת "עתיד" תעבור את אחוז החסימה בהסתברות של 0.20. בהסתברות של 76% שתי המפלגות לא תעבורנה את אחוז החסימה.

א. מה ההסתברות שלפחות אחת מהמפלגות תעבור את אחוז החסימה?

ב. מה ההסתברות ששתי המפלגות תעבורנה את אחוז החסימה?

ג. מה ההסתברות שרק מפלגות "עתיד" תעבור את אחוז החסימה?

(8) במקום עבודה מסוים 40% מהעובדים הם גברים. כמו כן, 20% מהעובדים הם אקדמאים. 10% מהעובדים הינן נשים אקדמאיות.

א. איזה אחוז מהעובדים הם גברים אקדמאיים?

ב. איזה אחוז מהעובדים הם גברים או אקדמאיים?

ג. איזה אחוז מהעובדים הם נשים לא אקדמאיות?

(9) הסיכוי של מניה A לעלות הנו 0.5 ביום מסוים והסיכוי של מניה B לעלות ביום מסוים הנו 0.4. בסיכוי של 0.7 לפחות אחת מהמניות תעלה ביום מסוים. חשבו את ההסתברויות הבאות לגבי שתי המניות הללו ביום מסוים:

א. ששתי המניות תעלנה.

ב. שאף אחת מהמניות לא תעלנה.

ג. שמניה A בלבד תעלה.

(10) מטילים זוג קוביות, אדומה ושחורה. נגדיר את המאורעות הבאים:

A - בקובייה האדומה התקבלה התוצאה 4 ובשחורה 2.

B - סכום התוצאות משתי הקוביות הוא 6.

C - מכפלת התוצאות בשתי הקוביות היא 10.

א. האם A ו-B מאורעות זרים?

ב. האם המאורע B מכיל את המאורע A?

ג. האם A ו-C מאורעות זרים?

ד. האם A ו-C מאורעות משלימים?

(11) עבור המאורעות A ו-B ידועות ההסתברויות הבאות:  $P(A) = 0.6$ ,

$$P(\bar{A} \cap \bar{B}) = 0.1, P(B) = 0.3$$

א. האם A ו-B מאורעות זרים?

ב. חשבו את  $P(\bar{A} \cap B)$ .

(12) מטבע הוטל פעמיים. נגדיר את המאורעות הבאים:

A - קיבלנו עץ בהטלה הראשונה.

B - קיבלנו לפחות עץ אחד בשתי ההטלות.

איזו טענה נכונה?

א. A ו-B מאורעות זרים.

ב. A ו-B מאורעות משלימים.

ג. B מכיל את A.

ד. A מכיל את B.

(13) בהגרלה חולקו 100 כרטיסים. על 3 מהם רשום חופשה ועל 2 מהם רשום מחשב. שאר הכרטיסים ריקים. אדם קיבל כרטיס אקראי.

א. מה הסיכוי לזכות בחופשה או במחשב? האם המאורעות הללו זרים?

ב. מה ההסתברות לא לזכות בפרס?

14 נתון כי:  $P(A) = 0.3$ ,  $P(B) = 0.25$ ,  $P(A \cup B) = 0.49$

- א. חשבו את הסיכוי ל- $P(A \cap B)$ .
- ב. האם  $A$  ו- $B$  מאורעות זרים?
- ג. מה ההסתברות שרק  $A$  יקרה או שרק  $B$  יקרה?

15  $A$  ו- $B$  מאורעות זרים. נתון ש:  $2 \cdot P(B \cap \bar{A}) = P(A \cap \bar{B}) = P(\bar{A} \cap \bar{B})$

מה הסיכוי למאורע  $A$  ומה ההסתברות למאורע  $B$ ?

16 קבעו אילו מהטענות הבאות נכונות:

- א.  $A \cap B = B \cap A$ .
- ב.  $\overline{A \cup B} = A \cap B$ .
- ג.  $A \cap B \cap C = A \cap B \cap (C \cup B)$ .
- ד.  $\overline{A \cap B \cap C} = \bar{A} \cup \bar{B} \cup \bar{C}$ .

17 נתון ש- $A$  ו- $B$  מאורעות במרחב מדגם. נתון ש- $P(A) = 0.3$ ,  $P(B) = 0.2$ .

- א. האם יתכן ש- $P(A \cup B) = 0.4$ ?
- ב. האם יתכן ש- $P(A \cup B) = 0.6$ ?
- ג. אם  $A$  ו- $B$  זרים מה הסיכוי  $P(A \cup B)$ ?
- ד. אם  $A$  מכיל את  $B$  מה הסיכוי  $P(A \cup B)$ ?

18 מתוך אזרחי המדינה הבוגרים ל-30% חשבון בבנק הפועלים. ל-28% חשבון בבנק לאומי ול-15% חשבון בבנק מזרחי. כמו כן נתון כי 6% מחזיקים חשבון בבנק לאומי ובבנק הפועלים. ל-5% חשבון בבנק פועלים ומזרחי. ול-4% חשבון בבנק לאומי ומזרחי. כמו כן ל-1% מהאוכלוסייה הבוגרת חשבון בנק בשלושת הבנקים יחד.

- א. מה אחוז האזרחים להם חשבון בבנק לאומי בלבד?
- ב. מה ההסתברות שאזרח כלשהו יחזיק חשבון בבנק פועלים ולאומי אבל לא בבנק מזרחי?
- ג. מה ההסתברות שלאזרח יהיה חשבון בפועלים או במזרחי אבל לא בבנק לאומי?
- ד. מה אחוז האזרחים שיש להם חשבון בנק אחד בלבד?
- ה. מה אחוז האזרחים שיש להם בדיוק חשבון בשני בנקים בלבד?
- ו. מה ההסתברות שלאזרח בוגר אין חשבון בנק באף אחד מהבנקים הללו?
- ז. לאיזה אחוז מהאזרחים יש חשבון בנק בלפחות אחד מהבנקים הללו?

- 19** חברה מסוימת פרסמה את הנתונים הבאים לגבי האזרחים מעל גיל 21. הנתונים שהתקבלו היו: 40% מהאנשים מחזיקים כרטיס "ויזה", 52% מחזיקים כרטיס "ישראכרט", 20% מחזיקים כרטיס "אמריקן אקספרס", 15% מחזיקים כרטיס ויזה וגם ישראכרט, 8% מחזיקים כרטיס ישראכרט וגם אמריקן אקספרס ו-7% מחזיקים כרטיס ויזה וגם אמריקן אקספרס. כמו כן, 13% לא מחזיקים באף אחד משלושת הכרטיסים הנ"ל.
- א. מה אחוז מחזיקי שלושת כרטיסי האשראי גם יחד?
- ב. מה אחוז מחזיקי ישראכרט וויזה אך לא את אמריקן אקספרס?
- ג. מה אחוז מחזיקי כרטיס אחד בלבד?

**20** הוכיחו:  $P(\bar{A} \cap \bar{B}) = 1 - P(A) - P(B) + P(A \cap B)$ .

- 21**  $A$  ו- $B$  מאורעות במרחב המדגם. האם נכון לומר שהסיכוי שיתרחש בדיוק מאורע אחד הוא:  $P(A) + P(B) - 2P(A \cap B)$ ?

## תשובות סופיות:

- (1) א.  $A \cap B = \{EG, EF, FE, GE\}$  ב.  $A \cup B = \{EG, EF, EE, FE, GE, EG, GF\}$
- (2) א.  $B \cap \bar{A}$  ב.  $A \cap \bar{B}$  ג.  $A \cap B$  ד.  $A \cup B$  ה.  $\bar{A} \cap \bar{B}$  ו.  $\bar{B}$
- (3) א.  $\bar{B} = 5, 6, 7, 8, 9, B = 0, 1, 2, 3, 4, A = 0, 2, 4, 6, 8$   
 $A \cup B = 0, 2, 4, 6, 8, 1, 3, A \cap B = 0, 2, 4$
- ב.  $P(A \cup B) = 0.7, P(A \cap B) = 0.3, P(\bar{B}) = 0.5, P(B) = 0.5, P(A) = 0.5$
- (4)  $\bar{\bar{A}} = A, A \cap \phi = \phi, A \cup \phi = A, A \cap \Omega = A, A \cup \Omega = \Omega$   
 $A \cup \bar{A} = \Omega, \bar{\phi} = \Omega, A \cap \bar{A} = \phi$
- (5) א.  $A \cap B$ : גובה בין 1.7 ל-1.8. ב.  $A \cup B$ : כל גובה אפשרי.  
 ג.  $\bar{A} = \bar{A} \cap B$ : גובה לכל היותר 1.7. ד.  $\bar{A} \cup \bar{B}$ : לכל היותר 1.7 או לפחות 1.8.  
 ה.  $A = \bar{\bar{A}}$ : גובה מעל 1.7.
- (6) א.  $A \cap B \cap C$  ב.  $A \cap \bar{B} \cap \bar{C}$  ג.  $A \cup B \cup C$  ד.  $\bar{C}$  ה.  $(A \cap B \cap \bar{C}) \cup (B \cap C \cap \bar{A}) \cup (A \cap C \cap \bar{B})$
- (7) א.  $P(A \cup B) = 0.24$  ב.  $P(A \cap B) = 0.04$  ג.  $P(B \cap \bar{A}) = 0.16$
- (8) א.  $P(A \cap B) = 10\%$  ב.  $P(A \cup B) = 50\%$  ג.  $P(\bar{A} \cap \bar{B}) = 50\%$
- (9) א.  $P(A \cap B) = 0.2$  ב.  $P(\bar{A} \cap \bar{B}) = 0.3$  ג.  $P(A \cup \bar{B}) = 0.3$
- (10) א. לא. ב. כן. ג. כן. ד. לא.
- (11) א. כן. ב.  $P(\bar{A} \cap B) = 0.3$
- (12) הטענה הנכונה היא ג'.
- (13) א. 0.05. ב. 0.95.
- (14) א.  $P(A \cap B) = 0.06$  ב. לא. ג.  $P((A \cap \bar{B}) \cup (B \cap \bar{A})) = 0.43$
- (15)  $P(B) = \frac{1}{5}, P(A) = \frac{2}{5}$
- (16) א. נכון. ב. לא נכון. ג. לא נכון. ד. נכון.
- (17) א. כן. ב. לא. ג.  $P(A \cup B) = 0.5$  ד.  $P(A \cup B) = 0.3$
- (18) א. 19%. ב. 0.05. ג. 0.31. ד. 46%. ה. 12%. ו. 0.41.
- (19) א. 5%. ב. 10%. ג. 67%.
- (20) שאלת הוכחה.
- (21) נכון.

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 9 - שאלות מסכמות בהסתברות

תוכן העניינים

1. כללי ..... 59

## שאלות מסכמות בהסתברות:

### שאלות:

- (1) נלקחו משפחות שיש להם שתי מכוניות. ל-30% מהמשפחות הללו המכונית הישנה יותר היא מתוצרת אירופה ואצל 60% מהמשפחות הללו המכונית החדשה יותר מתוצרת אירופה. כמו כן 15% מהמשפחות הללו שתי המכוניות הן מתוצרת אירופאית.

  - א. מה ההסתברות שמשפחה אקראית בת שתי מכוניות תהיה ללא מכוניות מתוצרת אירופה?
  - ב. מה ההסתברות שלפחות מכונית אחת תהיה אירופאית?
  - ג. ידוע שלמשפחה יש מכונית אירופאית.
  - ד. אם ההסתברות שרק המכונית החדשה שלה היא מתוצרת אירופאית?
  - ה. אם המכונית הישנה של המשפחה היא אירופאית, מה ההסתברות שגם החדשה אירופאית?
- (2) במדינת "שומקום" 50% מהחלב במרכולים מיוצר במחלבה א', 40% במחלבה ב' והיתר במחלבה ג'. 3% מתוצרת מחלבה א' מגיעה חמוצה למרכולים ואילו במחלבה ב' 10%.

כמו כן ידוע שבמדינת "שומקום" בסך הכול 7.5% מהחלב חמוץ.

  - א. איזה אחוז מהחלב שמגיע למרכול ממחלבה ג' חמוץ?
  - ב. אם נרכש חלב חמוץ במרכול. מה הסיכוי שהוא יוצר במחלבה ג'?
  - ג. ברכישת חלב נמצא שהוא אינו חמוץ. מה הסיכוי שהוא יוצר במחלבה א'?
  - ד. האם המאורעות: "חלב חמוץ" ו-"יוצר במחלבה א'" בלתי תלויים?
- (3) רוני ורונה יצאו לבלות במרכז בילויים עם מספר אפשרויות בילוי: בהסתברות של 0.3 הם ייצאו לבאולינג, בהסתברות של 0.5 הם ייצאו לבית קפה ובהסתברות של 0.7 הם ייצאו לפחות לאחד מהם (באולינג/קפה).

  - א. מה ההסתברות שהם ייצאו רק לבאולינג?
  - ב. האם המאורעות "לצאת לבאולינג" ו-"לצאת לבית קפה" זרים?
  - ג. האם המאורעות "לצאת לבאולינג" ו-"לצאת לבית קפה" תלויים?
  - ד. מה ההסתברות שיום אחד הם ייצאו רק לבאולינג וביום למחרת לא ייצאו לאף אחד מהמקומות?

(4) 70% מהנבחנים בסטטיסטיקה עוברים את מועד א'. כל מי שלא עובר את מועד א' ניגש לעשות מועד ב', מתוכם 80% עוברים אותו. מבין אלה שנכשלים בשני המועדים 50% נרשמים לקורס מחדש, והיתר פורשים מהתואר.

- מה הסיכוי שסטודנט אקראי עבר את הקורס?
- אם סטודנט אקראי עבר הקורס, מה הסיכוי שעבר במועד ב'?
- מה אחוז הסטודנטים שפורשים מהתואר?
- נבחרו 2 סטודנטים אקראיים רונית וינאי, מה ההסתברות שרונית עברה במועד א' ושינאי עבר במועד ב'?

(5) באוכלוסייה מסוימת 40% הם גברים והיתר הן נשים. מבין הגברים 10% מובטלים. בסך הכול 13% מהאוכלוסייה מובטלת.

- מה אחוז האבטלה בקרב הנשים?
- נבחר אדם מובטל, מה ההסתברות שזו אישה?
- נגדיר את המאורעות הבאים: A - נבחר אדם מובטל, B - נבחר גבר. האם המאורעות הללו זרים? והאם הם בלתי תלויים?

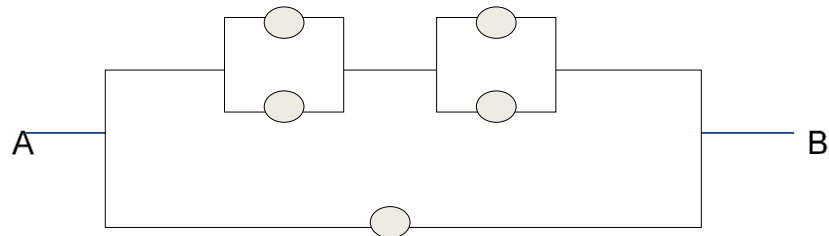
(6) בתיבה 10 מטבעות, מתוכם 7 מטבעות רגילים (ראש, זנב) ו-3 מטבעות שבשני צדדיהם טבוע ראש. אדם בוחר באקראי מטבע ומטיל אותו פעמיים. נסמן ב-A את ההטלה הראשונה ראש וב-B את ההטלה השנייה ראש.

- חשבו את הסיכויים למאורעות A ו-B.
- האם המאורע A ו-B בלתי תלויים?
- ידוע שבהטלה הראשונה התקבל ראש, מה ההסתברות שהמטבע שהוטל הוא מטבע הוגן?

(7) ערן מעוניין למכור את רכבו והוא מפרסם מודעה באינטרנט ומודעה בעיתון. מבין אלה שמעוניינים לרכוש רכב משומש 30% יראו את המודעה באינטרנט, 50% יראו את המודעה בעיתון ו-72% יראו את המודעה בלפחות אחת מהמדיות.

- מה אחוז האנשים, מאלה שמעוניינים לרכוש רכב משומש, שיראו את 2 המודעות?
- אם אדם ראה את המודעה באינטרנט, מה ההסתברות שהוא לא ראה את המודעה בעיתון?
- האם המאורעות: "לראות את המודעה באינטרנט" ו-"לראות את המודעה בעיתון" בלתי תלויים?
- אדם שראה את המודעה באינטרנט בלבד יתקשר לערן בהסתברות של 0.7, אם הוא ראה את המודעה בעיתון בלבד הוא יתקשר לערן בהסתברות של 0.6 ואם הוא ראה את שתי המודעות הוא יתקשר לערן בהסתברות של 0.9.
  - מה ההסתברות שאדם המעוניין לרכוש רכב משומש יתקשר לערן?
  - אדם המעוניין לרכוש רכב משומש התקשר לערן. מה ההסתברות שהוא ראה את שתי המודעות?

(8) נתונה המערכת החשמלית הבאה :



כל יחידה עובדת באופן בלתי תלוי ובהסתברות  $p$ .  
 כדי שהמערכת תפעל צריך לעבור זרם מהנקודה A לנקודה B.  
 הוכיחו שהסיכוי שהמערכת תפעל הוא:  $P + (1 - P)(2P - P^2)^2$ .

(9) ליאת מעוניינת לתרגל לבחינה בהסתברות. היא מצאה באינטרנט מאגר הכולל 25 שאלות מבחינות. השאלות ממוספרות ו-6 מתוכן עוסקות במשתנה מקרי רציף. ליאת החליטה לבחור באקראי 7 שאלות מהמאגר במטרה לפתור אותן. כל שאלה שלא עוסקת במשתנה הרציף תיפתר על ידי מיכל בסיכוי של 90%, אך אם השאלה עוסקת במשתנה הרציף היא תיפתר בסיכוי של 60%.  
 א. מה הסיכוי שהשאלות שנבחרו הן כולן ממוספרות בסדר עוקב?  
 ב. מה הסיכוי ששאלה 20 היא השאלה עם המספור המקסימלי מבין השאלות שנבחרו?  
 ג. ידוע שליאת בחרה 2 שאלות שעוסקות במשתנה הרציף והיתר לא. מה הסיכוי שתצליח לפתור 6 מתוך השאלות שבחרה?

(10) נתונים שלושה מאורעות: A, B ו-C. ידוע ש:  $P(A|B) = 1$ ,  $P(A|C) = 1$ .  
 תנו דוגמא ספציפית למאורעות: A, B ו-C שבה המאורעות B ו-C תלויים.

(11) הוכיחו או הפריכו (על ידי דוגמה נגדית) את הטענה הבאה:  
 אם A ו-B בלתי תלויים, אז A ו- $\bar{B}$  בלתי תלויים.

(12) משחקים משחק מזל פעמיים, כך שבכל משחק בודד יש אפשרות לנצח או להפסיד. הסיכוי לנצח בכל משחק הוא P כאשר:  $0 < P < 1$ .  
 נגדיר את המאורעות הבאים:  
 A - תוצאות המשחקים שונות זו מזו.  
 B - המשחק הראשון היה ניצחון.  
 מה ערכו של P, עבורו A ו-B יהיו מאורעות בלתי תלויים?

**(13)** טל מניח בשורה  $N$  קוביות בצבעים שונים. בין שתי קוביות אקראיות כלשהן ערן מניח מכחול. הוכיחו שהסיכוי שהקובייה הכחולה והאדומה יהיו בצדדים

$$\text{שונים של המכחול הוא : } \frac{N+1}{3(N-1)}.$$

**(14)** הוכיחו באמצעות אינדוקציה את אי שוויון בול:  $P\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) \leq \sum_{i=1}^n P(A_i)$ .

## תשובות סופיות:

- (1) א. 0.25      ב. 0.75      ג. 0.6      ד. 0.5
- (2) א. 0.2      ב. 0.267      ג. 0.524      ד. תלויים.
- (3) א. 0.2      ב. אינם זרים.      ג. תלויים.      ד. 0.06
- (4) א. 0.94      ב. 0.255      ג. 0.03      ד. 0.168
- (5) א. 15%      ב. 0.692      ג. לא זרים ותלויים.
- (6) א. 0.65      ב. תלויים.      ג. 0.5384
- (7) א. 8%      ב. 0.733      ג. תלויים.
- (8) שאלת הוכחה.      ד. i. 0.478      ד. ii. 0.15
- (9) א.  $\frac{19}{480,700}$       ב.  $\frac{27,132}{480,700}$       ג. 0.4015
- (10) ראו סרטון.
- (11) שאלת הוכחה.
- (12)  $\frac{1}{2}$
- (13) שאלת הוכחה.
- (14) שאלת הוכחה.

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 10 - קומבינטוריקה - כלל המכפלה

תוכן העניינים

1. כללי ..... 64

## קומבינטוריקה – כלל המכפלה:

**רקע:**

**כלל המכפלה:**

כלל המכפלה הוא כלל שבאמצעותו אפשר לחשב את גודל המאורע או גודל מרחב המדגם.

אם לתהליך יש  $k$  שלבים:  $n_1$  אפשרויות לשלב הראשון,  $n_2$  אפשרויות לשלב השני...  $n_k$  אפשרויות לשלב  $k$ :

מספר האפשרויות לתהליך כולו יהיה:  $n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdots n_k$

למשל, כמה אפשרויות יש למשחק בו מטיילים קובייה וגם מטבע? (הסבר בהקלטה)

$$n_1 = 6, n_2 = 2$$

$$n_1 \cdot n_2 = 6 \cdot 2 = 12$$

למשל, כמה לוחיות רישוי בני 5 תווים ניתן ליצור כאשר התו הראשון הוא אות אנגלית והיתר ספרות? (הסבר בהקלטה)

$$n_1 = 26, n_2 = 10, n_3 = 10, n_4 = 10, n_5 = 10$$

$$n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5 = 26 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 260,000$$

## שאלות:

- (1) חשבו את מספר האפשרויות לתהליכים הבאים :
  - א. הטלת קובייה פעמים.
  - ב. מספר תלת ספרתי.
  - ג. בחירת בן ובת מכתה שיש בה שבעה בנים ועשר בנות.
  - ד. חלוקת שני פרסים שונים לעשרה אנשים שונים כאשר אדם לא יכול לקבל יותר מפרס אחד.
- (2) במסעדה מציעים ארוחה עסקית.
  - א. בארוחה עסקית יש לבחור מנה ראשונה, מנה עיקרית ושתייה. האופציות למנה ראשונה הן : סלט ירקות, סלט אנטיפסטי ומרק היום. האופציות למנה עיקרית הן : סטייק אנטריקוט, חזה עוף בגריל, לזניה בשרית ולזניה צמחונית. האופציות לשתייה הן : קפה, תה ולימונדה.
  - ב. כמה ארוחות שונות ניתן להרכיב בעזרת התפריט הזה?
    - i. בארוחה סלט ירקות, לזניה בשרית ולימונדה.
    - ii. בארוחה סלט, לזניה ותה.
- (3) בוחרים באקראי מספר בין חמש ספרות. חשבו את ההסתברויות הבאות :
  - א. המספר הוא זוגי.
  - ב. במספר כל הספרות שונות.
  - ג. במספר כל הספרות זהות.
  - ד. במספר לפחות שתי ספרות שונות.
  - ה. במספר לפחות שתי ספרות זהות.
  - ו. המספר הוא פלינדרום (מספר הנקרא מימין ומשמאל באות הצורה).
- (4) חישה אנשים אקראיים נכנסו למעלית בבניין בן 8 קומות. חשבו את ההסתברויות הבאות :
  - א. כולם ירו בקומה החמישית.
  - ב. כולם ירדו באותה קומה.
  - ג. כולם ירדו בקומה אחרת.
  - ד. ערן ודני ירדו בקומה השישית והיתר בשאר הקומות.

- (5) במפלגה חמישה עשר חברי כנסת. יש לבחור שלושה חברי כנסת לשלושה תפקידים שונים. בכמה דרכים ניתן לחלק את התפקידים הבאים אם:
- א. חבר כנסת יכול למלא יותר מתפקיד אחד.
  - ב. חבר כנסת לא יכול למלא יותר מתפקיד אחד.
- (6) מטילים קובייה 4 פעמים.
- א. מה ההסתברות שכל התוצאות תהינה זהות?
  - ב. מה ההסתברות שכל התוצאות תהינה שונות?
  - ג. מה ההסתברות שלפחות שתי תוצאות תהינה זהות?
  - ד. מה ההסתברות שלפחות שתי תוצאות תהינה שונות?
- (7) יש ליצור מילה בת חמש אותיות, לא בהכרח עם משמעות מאותיות ה-ABC (26 אותיות).
- א. מה ההסתברות שבמילה שנוצרה אין האותיות A, D ו-L?
  - ב. מה ההסתברות שבמילה שנוצרה כל האותיות זהות?
  - ג. מה ההסתברות שבמילה שנוצרה לפחות שתי אותיות שונות זו מזו?
  - ד. מה ההסתברות שהמילה היא פלינדרום? (מילה אשר משמאל לימין, ומימין לשמאל נקראת אותו הדבר).
- (8) יוצרים קוד עם a ספרות (מותר לחזור על אותה ספרה בקוד). חשבו את ההסתברויות הבאות: (בטאו את תשובותיכם באמצעות a).
- א. בקוד אין את הספרה 5.
  - ב. בקוד מופיעה הספרה 3.
  - ג. בקוד לא מופיעות ספרות אי זוגיות.
- (9) במשחק מזל יש למלא טופס בו n משבצות. כל משבצת מסומנת בסימן V או X. בכמה דרכים שונות ניתן למלא את טופס המשחק המזל?

## תשובות סופיות:

- (1) א. 36      ב. 900      ג. 70      ד. 90
- (2) א. 36      ב. i.  $\frac{1}{36}$       ב. ii.  $\frac{1}{9}$
- (3) א. 0.5      ב. 0.3024      ג. 0.0001      ד. 0.9999      ה. 0.6976      ו. 0.01
- (4) א.  $\frac{1}{8^5}$       ב.  $\frac{1}{8^4}$       ג. 0.205      ד.  $\frac{1 \cdot 1 \cdot 7^3}{8^5}$
- (5) א. 3375      ב. 2730
- (6) א.  $\frac{1}{216}$       ב.  $\frac{5}{18}$       ג.  $\frac{13}{18}$       ד.  $\frac{215}{216}$
- (7) א.  $\frac{23^5}{26^5}$       ב.  $\frac{1}{26^4}$       ג.  $1 - \frac{1}{26^4}$       ד.  $\frac{1}{26^2}$
- (8) א.  $0.9^a$       ב.  $1 - 0.9^a$       ג.  $0.5^a$
- (9)  $2^n$

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 11 - תלות ואי תלות בין מאורעות

תוכן העניינים

1. כללי ..... 68

## תלות ואי תלות בין מאורעות:

### רקע:

אם מתקיים ש:  $P(B|A) = P(B)$ , נגיד שמאורע  $B$  בלתי תלוי ב- $A$ .  
 הדבר גורר גם ההפך:  $P(A|B) = P(A)$ , כלומר, גם  $A$  אינו תלוי ב- $B$ .  
 כשהמאורעות בלתי תלויים מתקיים ש:  $P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$ .  
 הוכחה לכך:  $P(A|B) = P(A) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \Rightarrow P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$ .

נשתמש בנוסחאות של מאורעות בלתי תלויים רק אם נאמר במפורש שהמאורעות בלתי תלויים בתרגיל או שמההקשר אפשר להבין ללא צל של ספק שהמאורעות בלתי תלויים.

למשל,

חוקר מבצע שני ניסויים בלתי תלויים הסיכוי להצליח בניסוי הראשון הנו 0.7 והסיכוי להצליח בניסוי השני הוא 0.4.

א. מה הסיכוי להצליח בשני הניסויים יחדו?

כיוון שהמאורעות הללו בלתי תלויים:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) = 0.7 \cdot 0.4 = 0.28$$

ב. מה הסיכוי להיכשל בשני הניסויים?

באופן דומה:

$$P(\bar{A} \cap \bar{B}) = P(\bar{A}) \cdot P(\bar{B}) = (1 - 0.7)(1 - 0.4) = 0.18$$

### הרחבה: אי תלות בין $n$ מאורעות:

$n$  מאורעות  $A_1, \dots, A_n$  הם בלתי תלויים אם ורק אם:  $P\left(\bigcap_{i=1}^n A_i\right) = \prod_{i=1}^n P(A_i)$ .

## שאלות:

- (1) נתון:  $P(A) = 0.2$ ,  $P(B) = 0.5$ ,  $P(A \cup B) = 0.6$ .  
האם המאורעות הללו בלתי תלויים?
- (2) תלמיד ניגש לשני מבחנים שהצלחתם לא תלויה זו בזו.  
הסיכוי שלו להצליח במבחן הראשון הוא 0.7 והשני 0.4.  
א. מה הסיכוי להצליח בשני המבחנים יחד?  
ב. מה הסיכוי שניכשל בשני המבחנים?
- (3) במדינה מסוימת יש 8% אבטלה, נבחרו באקראי שני אנשים מהמדינה.  
א. מה ההסתברות ששניהם מובטלים?  
ב. מה ההסתברות שלפחות אחד מהם מובטל?
- (4) מוצר צריך לעבור בהצלחה ארבע בדיקות בלתי תלויות לפני שיווק, אחרת הוא נפסל ולא יוצא לשוק. הסיכוי לעבור בהצלחה כל אחת מהבדיקות הוא 0.8. בכל מקרה מבוצעות כל 4 הבדיקות.  
א. מה הסיכוי שהמוצר יפסל?  
ב. מה ההסתברות שהמוצר יעבור בהצלחה לפחות בדיקה אחת?
- (5) במדינה מסוימת יש 8% אבטלה, נבחרו באקראי חמישה אנשים מהמדינה.  
א. מה ההסתברות שכולם מובטלים במדגם?  
ב. מה ההסתברות שלפחות אחד מהם מובטל?
- (6) עבור שני מאורעות  $A$  ו- $B$  המוגדרים על אותו מרחב מדגם נתון ש:  
 $P(A|B) = 0.6$ ,  $P(A \cap \bar{B}) = 0.3$ ,  $P(A \cup B) = 0.9$ .  
האם  $A$  ו- $B$  מאורעות בלתי תלויים?
- (7) הוכיח שאם:  $P(A/B) = P(B/A)$ , אז:  $P(A) = P(B)$ .

(8) קבעו אילו מהטענות הבאות נכונות. נמקו!

- א. אם:  $P(A \cup B) = P(A) \cdot P(B)$ , אזי המאורעות בלתי תלויים.  
 ב. מאורע  $A$  כלול במאורע  $B$ :  $0 < P(B) < 1$ ,  $P(A) > 0$ , לכן:  $P(A/B) < P(A)$ .  
 ג.  $A$  ו- $B$  מאורעות זרים שסיכוייהם חיוביים לכן הם מאורעות תלויים.  
 ד.  $A$  ו- $B$  מאורעות תלויים שסיכוייהם חיוביים לכן  $A$  ו- $B$  מאורעות זרים.  
 ה.  $P(\bar{A} \cap \bar{B}) = 1 - P(A) - P(B)$  לכן  $A$  ו- $B$  מאורעות זרים.

### תשובות סופיות:

- (1) כן.  
 (2) א. 0.28 ב. 0.18.  
 (3) א. 0.0064 ב. 0.1536.  
 (4) א. 0.5904 ב. 0.9984.  
 (5) א.  $0.08^5$  ב. 0.3409.  
 (6) לא, הם תלויים.  
 (7) שאלת הוכחה.  
 (8) א. לא נכון. ב. לא נכון. ג. נכון. ד. לא נכון. ה. נכון.

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 12 - קומבינטוריקה- תמורה - סידור עצמים בשורה

תוכן העניינים

1. כללי.....71

## קומבינטוריקה – תמורה – סידור עצמים בשורה:

**רקע:**

**תמורה:**

מספר האפשרויות לסדר  $n$  עצמים שונים בשורה:  $n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdots (n-1) \cdot n$ .

הערה:  $0! = 1$ .

דוגמאות (הפתרונות בהקלטה):

- בכמה דרכים שונות ניתן לסדר את האותיות:  $a, b, c, d$ ?
- בכמה דרכים שונות ניתן לסדר את האותיות:  $a, b, c, d$ , כך שהאותיות:  $a, b$  יהיו ברצף?
- בכמה דרכים שונות ניתן לסדר את האותיות:  $a, b, c, d$ , כך שהאותיות:  $a, b$  יופיעו בתור הרצף  $ba$ ?

## שאלות:

- (1) חשבו : בכמה אופנים  
א. אפשר לסדר 4 ספרים שונים על מדף?  
ב. אפשר לסדר חמישה חיילים בטור?
- (2) סידרו באקראי 10 דיסקים שונים על מדף שמתוכם שניים בשפה העברית.  
א. מה ההסתברות שהדיסקים בעברית יהיו צמודים זה לזה?  
ב. מה ההסתברות שהדיסקים בעברית לא יהיו צמודים זה לזה?  
ג. מה ההסתברות ששני הדיסקים בעברית יהיו כל אחד בקצה השני של המדף?
- (3) בוחנים 5 בנים ו-4 בנות בכיתה ומדרגים אותם לפי הציון שלהם בבחינה. נניח שאין תלמידים בעלי אותו ציון.  
א. מהו מספר הדירוגים האפשריים?  
ב. מהו מספר הדירוגים האפשריים אם מדרגים בנים ובנות בנפרד?
- (4) מסדרים 10 ספרים שונים על מדף.  
א. בכמה אופנים ניתן לסדר את הספרים על המדף?  
שני ספרים מתוך ה-10 הם ספרים בסטטיסטיקה.  
ב. מה ההסתברות שאם נסדר את הספרים באקראי, הספרים בסטטיסטיקה יהיו צמודים זה לזה?  
ג. מה ההסתברות שהספרים בסטטיסטיקה לא יהיו צמודים זה לזה?  
ד. מה ההסתברות שהספרים בסטטיסטיקה יהיו בקצות המדף (כל ספר בקצה אחר)?
- (5) אדם יצר בנגן שלו פלייליסט (רשימת השמעה) של 12 שירים שונים. 4 בשפה העברית, 5 באנגלית ו-3 בצרפתית. האדם הריץ את הפלייליסט באקראי.  
א. מה ההסתברות שכל השירים באנגלית יופיעו כשירים הראשונים כמקשה אחת?  
ב. מה ההסתברות שכל השירים באנגלית יופיעו ברצף (לא חובה ראשונים)?  
ג. מה ההסתברות ששירים באותה השפה יופיעו ברצף (כלומר כל השירים באנגלית ברצף, כל השירים בעברית ברצף וכך גם השירים בצרפתית)?

- 6) 4 בנים ו-4 בנות התיישבו באקראי בשורת כיסאות 1-8 בקולנוע.
- א. מה ההסתברות שיוסי ומיכל לא ישבו זה לצד זה?
- ב. מה ההסתברות שהבנים יתיישבו במקומות האי-זוגיים?
- ג. מה ההסתברות שכל הבנים ישבו זה לצד זה?
- ד. מה ההסתברות שהבנים ישבו זה לצד זה והבנות תשבנה זו לצד זו?

### תשובות סופיות:

- 1) א. 0.24      ב. 0.120
- 2) א. 0.2      ב. 0.8      ג. 0.022
- 3) א. 0.362880      ב. 0.2880
- 4) א. 0.3628800      ב. 0.2      ג. 0.8      ד.  $\frac{1}{45}$
- 5) א.  $\frac{1}{792}$       ב.  $\frac{1}{99}$       ג.  $\frac{1}{4620}$
- 6) א. 0.75      ב. 0.014      ג.  $\frac{1}{14}$       ד.  $\frac{1}{35}$

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 13 - הסתברות מותנית-במרחב מדגם אחד

תוכן העניינים

1. כללי ..... 74

## הסתברות מותנית – במרחב מדגם אחיד:

### רקע:

לעיתים אנו נדרשים לחשב הסתברות למאורע כלשהו כאשר ברשותנו אינפורמציה לגבי מאורע אחר. הסתברות מותנית הינה סיכוי להתרחשות מאורע כלשהו כאשר ידוע שמאורע אחר התרחש / לא התרחש.

ההסתברות של  $A$  בהינתן ש- $B$  כבר קרה:  $P(A|B)$ .

כשמרחב המדגם אחיד:  $P(A|B) = \frac{|A \cap B|}{|B|}$

דוגמה (פתרון בהקלטה):

נטיל קובייה.

נגדיר:

$A$  - התוצאה זוגית.

$B$  - התוצאה גדולה מ-3.

נרצה לחשב את:  $P(A|B)$ .

## שאלות:

- (1) נבחרה ספרה זוגית באקראי. מה הסיכוי שהספרה גדולה מ-6?
- (2) יוסי הטיל קובייה.  
מה הסיכוי שקיבל את התוצאה 4, אם ידוע שהתוצאה שהתקבלה זוגית?
- (3) הוטלו צמד קוביות. נגדיר:  
 $A$  - סכום התוצאות בשתי ההטלות הינו 7.  
 $B$  - מכפלת התוצאות 12.  
 חשבו את  $P(A|B)$ .
- (4) מטבע הוטל פעמיים.  
ידוע שהתקבל לכל היותר ראש אחד, מה הסיכוי שהתקבלו שני ראשים?
- (5) זוג קוביות הוטלו והתקבל שהתוצאות זהות.  
מה הסיכוי שלפחות אחת התוצאות 5?
- (6) זוג קוביות הוטלו והתקבל לפחות פעם אחת 4.  
מה הסיכוי שאחת התוצאות 5?
- (7) נבחרה משפחה בת שני ילדים, שמהם אחד הוא בן.  
מה ההסתברות שבמשפחה שני בנים בקרב הילדים?
- (8) נבחרה משפחה בת שלושה ילדים, ונתון שהילד האמצעי בן.  
מה הסיכוי שיש בנות בקרב הילדים?
- (9) בכיתה 6 בנים ו-7 בנות. נבחרו 4 ילדים מהכיתה.  
אם ידוע שנבחרו 2 בנים ו-2 בנות, מה הסיכוי שאלעד לא נבחר?
- (10) חמישה חברים יצאו לבית קולנוע והתיישבו זה לצד זה באקראי,  
בכיסאות מספר 5 עד 9. ידוע שערך ודין התיישבו זה ליד זה.  
מה ההסתברות שהם יושבים בכיסאות מספר 6 ו-7?

**תשובות סופיות:**

(1)  $0.2$

(2)  $\frac{1}{3}$

(3)  $0.5$

(4)  $0$

(5)  $\frac{1}{6}$

(6)  $\frac{2}{11}$

(7)  $\frac{1}{3}$

(8)  $\frac{3}{4}$

(9)  $\frac{2}{3}$

(10)  $\frac{1}{4}$

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 14 - הסתברות מותנית - מרחב לא אחיד

תוכן העניינים

1. כללי ..... 77

## הסתברות מותנית – מרחב לא אחיד:

**רקע:**

הסיכוי שמאורע  $A$  יתרחש, בהינתן שמאורע  $B$  כבר קרה:  $P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$ .

במונה: הסיכוי לחיתוך של שני המאורעות, זה הנשאל וזה הנתון שהתרחש.  
במכנה: הסיכוי למאורע נתון שהתרחש.

דוגמה (פתרון בהקלטה):

נבחרו משפחות שיש להם שתי מכוניות. ל-30% מהמשפחות הללו המכונית הישנה יותר היא מתוצרת אירופה ואצל 60% מהמשפחות הללו המכונית החדשה יותר מתוצרת אירופה. כמו כן, בקרב 15% מהמשפחות הללו שתי המכוניות הן מתוצרת אירופאית. אם המכונית הישנה של המשפחה היא אירופאית, מה ההסתברות שגם החדשה אירופאית?

## שאלות:

- (1) תלמיד ניגש בסמסטר לשני מבחנים: מבחן בכלכלה ומבחן בסטטיסטיקה. נגדיר את המאורעות הבאים:
- A - לעבור את המבחן בסטטיסטיקה.
  - B - לעבור את המבחן בכלכלה.
- כמו כן נתון שהסיכוי לעבור את המבחן בכלכלה הנו 0.8, הסיכוי לעבור את המבחן בסטטיסטיקה הנו 0.9 והסיכוי לעבור את שני המבחנים הנו 0.75. חשבו את הסיכויים למאורעות הבאים:
- א. התלמיד עבר בסטטיסטיקה, מה ההסתברות שהוא עבר בכלכלה?
  - ב. התלמיד עבר בכלכלה, מה ההסתברות שהוא עבר בסטטיסטיקה?
  - ג. התלמיד עבר בכלכלה, מה ההסתברות שהוא נכשל בסטטיסטיקה?
  - ד. התלמיד נכשל בסטטיסטיקה, מה ההסתברות שהוא נכשל בכלכלה?
  - ה. התלמיד עבר לפחות מבחן אחד, מה ההסתברות שהוא יעבור את שניהם?
- (2) במדינה שתי חברות טלפון סלולארי: "סופט" ו"בל". 30% מהתושבים הבוגרים רשומים אצל חברת "בל", 60% מהתושבים הבוגרים רשומים אצל חברת "סופט" ול-15% מהתושבים הבוגרים אין טלפון סלולארי כלל.
- א. איזה אחוז מהתושבים הבוגרים רשומים אצל שתי החברות?
  - ב. נבחר אדם שרשום אצל חברת "סופט", מה ההסתברות שהוא רשום גם אצל חברת "בל"?
  - ג. אם אדם לא רשום אצל חברת "בל", מה ההסתברות שהוא כן רשום בחברת "סופט"?
  - ד. אם אדם רשום אצל חברה אחת בלבד, מה ההסתברות שהוא רשום בחברת "סופט"?
- (3) במכללה שני חניונים: חניון קטן וחניון גדול. בשעה 08:00 יש סיכוי של 60% שבחניון הגדול יש מקום, סיכוי של 30% שבחניון הקטן יש מקום וסיכוי של 20% שבשני החניונים יש מקום.
- א. מה ההסתברות שיש מקום בשעה 08:00 רק בחניון הגדול של המכללה?
  - ב. ידוע שבחניון הקטן יש מקום בשעה 08:00, מה הסיכוי שבחניון הגדול יש מקום?
  - ג. אם בשעה 08:00 בחניון הגדול אין מקום, מה ההסתברות שבחניון הקטן יהיה מקום?
  - ד. נתון שלפחות באחד מהחניונים יש מקום בשעה 08:00, מה ההסתברות שבחניון הגדול יש מקום?

(4) נלקחו 200 שכירים ו-100 עצמאים. מתוך השכירים 20 הם אקדמאיים, ומתוך העצמאיים 30 הם אקדמאיים.

- א. בנו טבלת שכיחות משותפת לנתונים.
- ב. נבחר אדם אקראי מה ההסתברות שהוא שכיר?
- ג. מה ההסתברות שהוא שכיר ולא אקדמאי?
- ד. מה ההסתברות שהוא שכיר או אקדמאי?
- ה. אם האדם שנבחר הוא עצמאי מהי ההסתברות שהוא אקדמאי?
- ו. אם האדם שנבחר הוא לא אקדמאי, מה ההסתברות שהוא שכיר?

(5) חברה מסוימת פרסמה את הנתונים הבאים לגבי האזרחים מעל גיל 21 :  
 40% מהאנשים מחזיקים כרטיס "ויזה", 52% מחזיקים כרטיס "ישראלכרט",  
 20% מחזיקים כרטיס "אמריקן אקספרס", 15% מחזיקים ויזה וגם ישראלכרט,  
 8% מחזיקים ישראלכרט וגם אמריקן אקספרס ו-7% מחזיקים כרטיס ויזה וגם אמריקן אקספרס. כמו כן, 5% מחזיקים בשלושת הכרטיסים הנ"ל.

- א. אם לאדם יש ויזה, מה הסיכוי שאין לו ישראלכרט?
- ב. אם לאדם שני כרטיסי אשראי, מה הסיכוי שאין לו ישראלכרט?
- ג. אם לאדם לפחות כרטיס אחד, מה הסיכוי שאין לו ישראלכרט?

## תשובות סופיות:

(1) א. 0.833    ב. 0.9375    ג. 0.0625    ד. 0.5    ה. 0.789

(2) א. 5%    ב. 0.0833    ג. 0.786    ד. 0.6875

(3) א. 0.4    ב.  $\frac{2}{3}$     ג. 0.25    ד.  $\frac{6}{7}$

(4) א. להלן טבלה:    ב.  $\frac{2}{3}$     ג. 0.6    ד.  $\frac{23}{30}$

| סה"כ | לא<br>אקדמאי | אקדמאי |       |
|------|--------------|--------|-------|
| 200  | 180          | 20     | שכיר  |
| 100  | 70           | 30     | עצמאי |
| 300  | 250          | 50     | סה"כ  |

ה. 0.3    ו. 0.72

(5) א. 0.625    ב. 0.133    ג. 0.402

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 15 - דיאגרמת עצים - נוסחת בייס ונוסחת ההסתברות השלמה

תוכן העניינים

1. כללי ..... 81

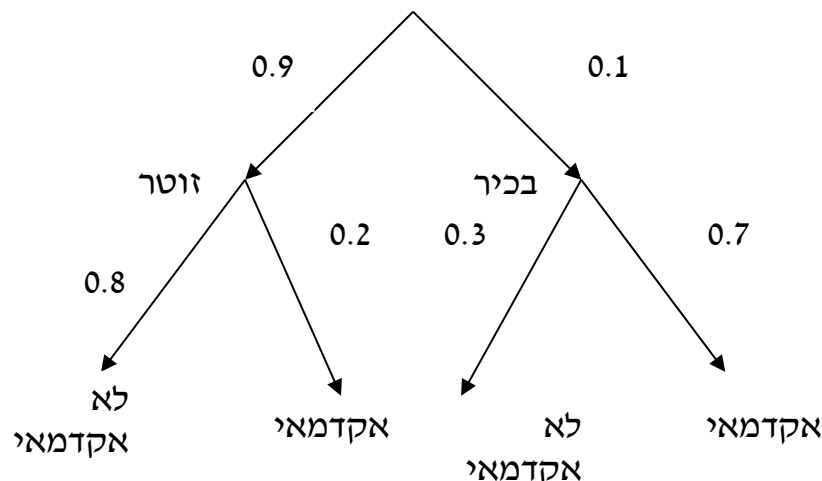
## דיאגרמת עצים – נוסחת בייס ונוסחת ההסתברות השלמה:

### רקע:

נשתמש בשיטה זו כאשר יש תרגיל שבו התרחשות המאורעות היא בשלבים, כך שכל תוצאה של כל שלב תלויה בשלב הקודם, פרט לשלב הראשון:

### דוגמה:

בחברה מסוימת 10% מוגדרים בכירים והיתר מוגדרים זוטרים. מבין הבכירים 20% הם אקדמאים ומבין הזוטרים 80% הם אקדמאים. נשרטט עץ שיתאר את הנתונים, השלב הראשון של העץ אינו מותנה בכלום ואילו השלב השני מותנה בשלב הראשון.



כדי לקבל את הסיכוי לענף מסוים נכפיל את כל ההסתברויות על אותו ענף. נבחר אדם באקראי מאותה חברה.

(1) מה הסיכוי שהוא בכיר אקדמאי ?  $0.1 \cdot 0.7 = 0.07$ .

(2) מה הסיכוי שהוא זוטר לא אקדמאי ?  $0.9 \cdot 0.8 = 0.72$ .

כדי לקבל את הסיכוי לכמה ענפים נחבר את הסיכויים של כל ענף (רק אחרי שבתוך הענף הכפלנו את ההסתברויות).

(3) מה הסיכוי שהוא אקדמאי ?  $0.1 \cdot 0.7 + 0.9 \cdot 0.2 = 0.25$ .

(4) נבחר אקדמאי מה ההסתברות שהוא עובד זוטר? מדובר כאן על שאלה בהסתברות מותנה ולכן נשתמש בעיקרון של הסתברות

$$P(zutar | academay) = \frac{0.9 \cdot 0.2}{0.25} = \frac{0.18}{0.25} = 0.72 \quad \text{מותנה:}$$

### נוסחת ההסתברות השלמה:

בהינתן  $B$ , מאורע כלשהו, וחלוקה של מרחב המדגם  $\Omega$  ל-  $A_1, \dots, A_n$  כך ש-  $\bigcup_i A_i = \Omega$ ,

$$. P(B) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot P\left(\frac{B}{A_i}\right) \quad \text{אזי:}$$

### נוסחת בייס:

$$. P\left(\frac{A_j}{B}\right) = \frac{P(A_j) P\left(\frac{B}{A_j}\right)}{\sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot P\left(\frac{B}{A_i}\right)}$$

## שאלות:

- (1) בשקית סוכריות 4 סוכריות תות ו-3 לימון. מוציאים באקראי סוכריה. אם היא בטעם תות אוכלים אותה ומוציאים סוכריה נוספת, ואם היא בטעם לימון מחזירים אותה לשקית ומוציאים סוכריה נוספת.

א. מה ההסתברות שהסוכריה הראשונה שהוצאה בטעם תות והשנייה בטעם לימון?

ב. מה ההסתברות שהסוכריה השנייה בטעם לימון?
- (2) באוכלוסייה מסוימת 30% הם ילדים, 50% בוגרים והיתר קשישים. לפי נתוני משרד הבריאות הסיכוי שילד יחלה בשפעת במשך החורף הוא 80%, הסיכוי שמבוגר יחלה בשפעת במשך החורף הוא 40% והסיכוי שקשיש יחלה בשפעת במשך החורף הוא 70%.

א. איזה אחוז מהאוכלוסייה הינו קשישים שלא יחלו בשפעת במשך החורף?

ב. מה אחוז האנשים שיחלו בשפעת במשך החורף?

ג. נבחר אדם שחלה במשך החורף בשפעת, מה ההסתברות שהוא קשיש?

ד. נבחר ילד, מה ההסתברות שהוא לא יחלה בשפעת במשך החורף?
- (3) בכד א' 5 כדורים כחולים ו-5 כדורים אדומים. בכד ב' 6 כדורים כחולים ו-4 כדורים אדומים. בוחרים באקראי כד, מוציאים ממנו כדור ומבלי להחזירו מוציאים כדור נוסף.

א. מה ההסתברות ששני הכדורים שיוצאו יהיו בצבעים שונים?

ב. אם הכדורים שהוצאו הם בצבעים שונים, מה ההסתברות שהכדור השני שהוצא יהיה בצבע אדום?
- (4) חברת סלולר מסווגת את לקוחותיה לפי 3 קבוצות גיל: נוער, בוגרים ופנסיונרים. נתון כי: 10% מהלקוחות בני נוער, 70% מהלקוחות בוגרים והיתר פנסיונרים. מתוך בני הנוער 90% מחזיקים בסמארט-פון, מתוך האוכלוסייה הבוגרת ל-70% יש סמארט-פון ומתוך אוכלוסיית הפנסיונרים 30% מחזיקים בסמארט-פון.

א. איזה אחוז מלקוחות החברה הם בני נוער עם סמארט-פון?

ב. נבחר לקוח אקראי ונתון שיש לו סמארט-פון. מה ההסתברות שהוא פנסיונר?

ג. אם ללקוח אין סמארט-פון, מה ההסתברות שהוא לא בן נוער?

- (5) כדי להתקבל למקום עבודה יש לעבור שלושה מבחנים. המבחנים הם בשלבים, כלומר לאחר כישלון במבחן מסוים אין אפשרות לגשת למבחן הבא אחריו. 70% מהמועמדים עוברים את המבחן הראשון. מתוכם, 50% עוברים את המבחן השני. מבין אלה שעוברים את המבחן השני 40% עוברים את המבחן השלישי.
- מה ההסתברות להתקבל לעבודה?
  - מועמד לא התקבל לעבודה. מה ההסתברות שהוא נכשל במבחן הראשון?
  - מועמד לא התקבל לעבודה. מה ההסתברות שהוא עבר את המבחן השני?
- (6) משרד הבריאות פרסם את הנתונים הבאים:
- מתוך אוכלוסיית הילדים והנוער 80% חולים בשפעת בזמן החורף.  
מתוך אוכלוסיית המבוגרים (עד גיל 65) 60% חולים בשפעת בזמן החורף.  
30% מהתושבים הם ילדים ונוער. 50% הם מבוגרים. היתר קשישים.  
כמו כן נתון ש 68% מהאוכלוסייה תחלה בשפעת בחורף.
- מה אחוז החולים בשפעת בקרב האוכלוסייה הקשישה?
  - נבחר אדם שלא חלה בשפעת, מה ההסתברות שהוא לא קשיש?
- (7) רדאר שנמצא על החוף צריך לקלוט אנייה הנמצאת ב-1 מ-4 האזורים: A, B, C, D. אם האנייה נמצאת באזור A הרדאר מזהה אותה בסיכוי 0.8, סיכוי זה פוחת ב-0.1 ככל שהאנייה מתקדמת באזור. כמו כן נתון שבהסתברות חצי האנייה נמצאת באזור D, בהסתברות 0.3 באזור C, באזור B היא נמצאת בסיכוי 0.2, אחרת היא נמצאת באזור A.
- מה הסיכוי שהאנייה תתגלה ע"י הרדאר?
  - אם האנייה התגלתה ע"י הרדאר, מה ההסתברות שהיא נמצאת באזור C?
  - אם האנייה התגלתה ע"י הרדאר, מה הסיכוי שהיא לא נמצאת באזור B?
- (8) סימפטום X מופיע בהסתברות של 0.4 במחלה A, בהסתברות של 0.6 במחלה B ובהסתברות של 0.5 במחלה C. סימפטום X מופיע אך ורק במחלות הללו, אדם לא יכול לחלות ביותר ממחלה אחת מבין המחלות הללו. לקליניקה מגיעים אנשים כדלקמן: 8% חולים במחלה A, 10% במחלה B, 2% במחלה C והיתר בריאים. כמו כן נתון שבמחלה A, סימפטום X מתגלה בסיכוי של 80%, ובמחלות B, C הסימפטום מתגלה בסיכוי של 90% בכל מחלה.
- מה ההסתברות שאדם הגיע לקליניקה וגילו אצלו את סימפטום X?
  - אם התגלה אצל אדם סימפטום X, מה ההסתברות שהוא חולה במחלה A?
  - אם לאדם יש את סימפטום X, מה ההסתברות שהוא חולה במחלה A?
  - אם לא גילו אצל אדם את סימפטום X, מה ההסתברות שהוא בריא?

- (9) סטודנט ניגש למבחן אמריקאי. הסיכוי שהוא יודע תשובה לשאלה מסוימת הוא  $P$ , ואם הוא לא יודע את התשובה הוא מנחש. בכל מקרה הוא עונה על השאלה. נתון שלשאלה יש  $k$  תשובות אפשריות. אם הסטודנט ענה נכון על השאלה, מה הסיכוי שהוא ידע אותה?
- (10) אדם משחק נגד שני מתמודדים, רונית ודולב. האדם צריך לשחק שלושה משחקים ויש לו לבחור איזה סדר משחקים עדיף לו:
- דולב, רונית, דולב.
  - רונית, דולב, רונית.
- בכל משחק מישו חייב לנצח(אין תיקו). האדם ינצח בטורניר רק אם ינצח בשני משחקים ברציפות. נתון שדולב שחקן טוב יותר מאשר רונית. איזו אפשרות עדיפה יותר על האדם כדי לנצח בטורניר?

### תשובות סופיות:

- |      |                       |                    |
|------|-----------------------|--------------------|
| (1)  | א. $\frac{2}{7}$      | ב. $\frac{23}{49}$ |
| (2)  | א. 6%                 | ב. 58%             |
| (3)  | א. 0.544              | ב. 0.5             |
| (4)  | א. 9%                 | ב. 0.09375         |
| (5)  | א. 0.14               | ב. 0.3488          |
| (6)  | א. 70%                | ב. 0.8125          |
| (7)  | א. 0.57               | ב. 0.3158          |
| (8)  | א. 0.0886             | ב. 0.2889          |
| (9)  | $\frac{kp}{1+p(k-1)}$ |                    |
| (10) | א'.                   |                    |

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 16 - קומבינטוריקה - תמורה עם עצמים זהים

תוכן העניינים

1. כללי ..... 86

## קומבינטוריקה – תמורה עם עצמים זהים:

**רקע:**

**תמורה עם חזרות:**

אם יש בין העצמים שיש לסדר עצמים זהים, יש לבטל את הסידור הפנימי שלהם על ידי חלוקה בסידורים הפנימיים שלהם.

מספר האופנים לסדר  $n$  עצמים בשורה, ש- $n_1$  מהם זהים מסוג 1,  $n_2$  זהים מסוג 2

$$\text{ו-} n_r \text{ זהים מסוג } r : \frac{n!}{n_1! \cdot n_2! \cdot \dots \cdot n_r!}$$

דוגמה (תשובה בהקלטה):

כמה מילים ניתן ליצור מכל האותיות הבאות: W, W, T, T, K, K

## שאלות:

- (1) במשחק יש לצבוע שתי משבצות מתוך המשבצות הבאות:

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|

בכמה דרכים שונות ניתן לבצע את הצביעה?

- (2) בכמה אופנים שונים אפשר לסדר בשורה את האותיות: ב, ע, ב, ע, ג?
- (3) בבית נורות מקום ל-6 נורות. בחרו שתי נורות אדומות, שתי נורות צהובות ושתי נורות כחולות. כמה דרכים שונות יש לסדר את הנורות?
- (4) נרצה ליצור מספר מכל הספרות הבאות: 1, 2, 2, 2, 6. כמה מספרים כאלה אפשר ליצור?
- (5) במשחק בול פגיעה יש 10 משבצות, אדם צובע 4 משבצות מתוך ה-10. המשתתף השני צריך לנחש אילו 4 משבצות נצבעו. מה ההסתברות שבניחוש אחד יהיה בול פגיעה?
- (6) כמה אותות שונים, שכל אחד מורכב מ-10 דגלים שונים, ניתן ליצור, אם 4 דגלים הם לבנים, 3 כחולים, 2 אדומים ואחד שחור. דגלים שווי צבע זהים זה לזה לחלוטין.

## תשובות סופיות:

- (1) 10.  
 (2) 60.  
 (3) 90.  
 (4) 20.  
 (5)  $\frac{1}{210}$ .  
 (6) 12600.

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 17 - קומבינטוריקה - שאלות מסכמות

תוכן העניינים

1. כללי ..... 88

## קומבינטוריקה – שאלות מסכמות:

### שאלות:

- (1) בכיתה 40 תלמידים. מעוניינים לבחור חמישה מהם לוועד כיתה. בכמה דרכים ניתן להרכיב את הוועד אם:
  - א. בוועד 5 תפקידים שונים ותלמיד יכול למלא יותר מתפקיד אחד.
  - ב. בוועד 5 תפקידים שונים ותלמיד לא יכול למלא יותר מתפקיד אחד.
  - ג. אין תפקידים שונים בוועד.
  
- (2) במשרד 30 עובדים, יש לבחור ארבעה עובדים למשלחת לחו"ל. בכמה דרכים ניתן להרכיב את המשלחת?
  - א. במשלחת ארבע משימות שונות שיש למלא וכל עובד יכול למלא יותר ממשימה אחת.
  - ב. כמו בסעיף א' רק הפעם עובד לא יכול למלא יותר ממשימה אחת.
  - ג. מעוניינים לבחור ארבעה עובדים שונים למשלחת שבה לכולם אותו התפקיד.
  
- (3) מעוניינים להרכיב קוד סודי. הקוד מורכב מ-2 ספרות שונות ו-3 אותיות שונות באנגלית (26 אותיות אפשריות).
  - א. כמה קודים שונים ניתן להרכיב?
  - ב. כמה קודים שונים ניתן להרכיב אם הקוד מתחיל בספרה ונגמר בספרה?
  - ג. כמה קודים ניתן להרכיב אם הספרות חייבות להיות צמודות זו לזו?
  - ד. בכמה קודים הספרות לא מופיעות ברצף?
  
- (4) בארונות 4 מגירות. ילד התבקש על ידי אמו לסדר 6 משחקים בארונות. הילד מכניס את המשחקים באקראי למגירות השונות. כל מגירה יכולה להכיל את כל המשחקים יחד.
  - א. מה ההסתברות שהילד יכניס את כל המשחקים למגירה העליונה?
  - ב. מה ההסתברות שהילד יכניס את כל המשחקים לאותה מגירה?
  - ג. מה ההסתברות ש"דומינו" יוכנס למגירה העליונה ויתר המשחקים לשאר המגירות.
  - ד. מה ההסתברות ש"דומינו" לא יוכנס למגירה העליונה?

- (5) בעיר מסוימת מתמודדות למועצת העיר 4 מפלגות שונות: "הירוקים", "קדימה", "העבודה" ו"הליכוד". 6 אנשים אינם יודעים למי להצביע, ולכן בוחרים באקראי מפלגה כלשהי.
- מה ההסתברות שכל ה-6 יבחרו באותה מפלגה?
  - מה ההסתברות שמפלגת ה"ירוקים" לא תקבל קולות?
  - מה ההסתברות שמפלגת ה"ירוקים" תקבל בדיוק 3 קולות וכל מפלגה אחרת תקבל קול 1 בלבד?
  - מה ההסתברות שמפלגת "הירוקים" תקבל 2 קולות, מפלגת "העבודה" תקבל 2 קולות ומפלגת "הליכוד" תקבל 2 קולות?
- (6) 5 חברים נפגשו ורצו לראות סרט. לרשותם ספריה המונה 8 סרטים שונים. כל אחד התבקש לבחור סרט באקראי.
- מה ההסתברות שכולם יבחרו את אותו הסרט?
  - מה ההסתברות שכולם יבחרו את "הנוסע השמיני"?
  - מה ההסתברות שכל אחד יבחר סרט אחר?
  - מה הסיכוי שלפחות שניים יבחרו את אותו הסרט?
  - מה ההסתברות שיוסי וערן ייבחרו את "הנוסע השמיני" וכל השאר סרטים אחרים?
  - מה ההסתברות שהנוסע השמיני לא ייבחר על ידי אף אחד מהחברים?
  - לקחו את 8 הסרטים ויצרו מהם רשימה. נתון שברשימה 3 סרטי אימה, מה ההסתברות שברשימה שנוצרה יופיעו 3 סרטי האימה ברצף?
- (7) בקבוצה 10 אנשים. יש ליצור שתי וועדות שונות מתוך הקבוצה: אחת בת 4 אנשים והשנייה בת 3 אנשים. כל אדם יכול להיבחר רק לוועדה אחת. חשבו את מס' הדרכים השונות ליצירת הוועדות הללו כאשר:
- אין בוועדות תפקידים.
  - בכל וועדה יש תפקיד אחד של אחראי הוועדה.
  - בכל וועדה כל התפקידים שונים.
- (8) 4 גברים ו-3 נשים מתיישבים על כסאות בשורה של כסאות תיאטרון. בכל שורה 10 כסאות. בכמה דרכים שונות ניתן לבצע את ההושבה:
- ללא הגבלה.
  - כל הגברים ישבו זה ליד זה וגם כל הנשים תשבנה זו ליד זו.
  - שני גברים בקצה אחד ושני הגברים האחרים בקצה שני.
- (9) בהגרלה ישנם 10 מספרים מ-1 עד 10. נבחרו באקראי 5 מספרים. מה ההסתברות שהמספר 7 הוא השני בגודלו מבין המספרים שנבחרו?

- 10) 6 אנשים עלו לאוטובוס שעוצר ב-10 תחנות.**  
**כל אדם בוחר באופן עצמאי ואקראי באיזו תחנה לרדת.**  
**א. מה ההסתברות שכל אחד יורד בתחנה אחרת?**  
**ב. מה ההסתברות שבדיוק 3 ירדו בתחנה החמישית?**  
**ג. מה ההסתברות שרונית תרד בתחנה השנייה והשאר לא?**  
**ד. מה ההסתברות שכולם ירדו בתחנות 5,6 ולפחות אחד בכל אחת מהתחנות הללו?**

- 11)** ברכבת 4 מקומות ישיבה עם כיוון הנסיעה 4 מקומות ישיבה נגד כיוון הנסיעה.

|      |      |  |  |
|------|------|--|--|
|      |      |  |  |
| חלון | מעבר |  |  |
|      |      |  |  |

- 4 זוגות התיישבו במקומות אלו באקראי.

א. בכמה דרכים שונות ניתן להתיישב?

ב. מה ההסתברות שהזוג כהן ישבו זה לצד זה עם כיוון הנסיעה?

ג. מה ההסתברות שהזוג כהן ישבו זה לצד זה?

ד. מה ההסתברות שהזוג כהן ישבו כל אחד ליד החלון? (בכל שורה יש חלון).

ה. מה ההסתברות שהזוג כהן יישבו כך שכל אחד בכיוון נסיעה מנוגד?

ו. מה ההסתברות שהזוג כהן יישבו אחד מול השני פנים מול פנים.

ז. מה ההסתברות שכל הגברים ייסעו עם כיוון הנסיעה וכל הנשים תשבנה נגד כיוון הנסיעה?

ח. מה ההסתברות שכל זוג ישב אחד מול השני?

- 12) סיסמא מורכבת מ-5 תווים, תווים אלו יכולים להיות ספרה (0-9) ואותיות ה-ABC (26 אותיות). כל תו יכול לחזור על עצמו יותר מפעם אחת.**
- א. כמה סיסמאות שונות יש?
- ב. כמה סיסמאות שונות יש שבהן כל התווים שונים?
- ג. כמה סיסמאות שונות יש שבהן לפחות ספרה אחת ולפחות אות אחת?

- 13)** מתוך קבוצה בת  $n$  אנשים רוצים לבחור 3 אנשים לוועדה. בכמה דרכים שונות ניתן לבצע את הבחירה? בטא את תשובתך באמצעות  $n$ .
- א. בוועדה אין תפקידים ויש לבחור 3 אנשים שונים לוועדה.  
ב. בוועדה תפקידים שונים. וכל אדם לא יכול למלא יותר מתפקיד אחת.  
ג. בוועדה תפקידים שונים ואדם יכול למלא יותר מתפקיד אחד.

- (14)** שני אנשים מטילים כל אחד מטבע  $n$  פעמים. בטאו באמצעות  $n$  את הסיכוי שלכל אחד מהם אותו מספר פעמים של התוצאה "ראש".

- 15** יוצרים קוד עם  $a$  ספרות (מותר לחזור על אותה ספרה בקוד).  
חשבו את ההסתברויות הבאות (בטאו את תשובותיכם באמצעות  $a$ ):
- בקוד אין את הספרה 5.
  - בקוד מופיעה הספרה 3.
  - בקוד לא מופיעות ספרות אי זוגיות.
- 16** זוג קוביות הוטלו מספר פעמים. כמה פעמים יש להטיל את זוג הקוביות בכדי שבהסתברות של לפחות 0.5 תתקבל לפחות הטלה אחת (של הזוג) עם סכום תוצאות 12?
- 17** בוחרים באופן מקרי מספר בין 6 ספרות.
- מה הסיכוי שהספרה 5 תופיע בדיוק פעם אחת במספר?
  - מה הסיכוי שהספרה 4 תופיע לפחות פעם אחת וגם הספרה 0 תופיע לפחות פעם אחת במספר?
- 18** במשרד של דנה 5 תיקיות אותן היא מסדרת באקראי בטור. 3 תיקיות הן אדומות ו-2 תיקיות הן כחולות. דנה רשמה שני פתקים ושמה כל פתק במקום אקראי בין התיקיות (לכל פתק יש 4 אפשרויות למיקום).
- מה הסיכוי ששני הפתקים יהיו במקומות שונים?
  - מה הסיכוי שבין שני הפתקים יש שתי תיקיות אדומות ואין תיקיות כחולות?
  - מה הסיכוי שבין שני הפתקים יש בדיוק תיקיה אחת?
  - מה הסיכוי שבין שני הפתקים יש שתי תיקיות ואחת מהן כחולה?
- 19** לירון 6 עטים אותם הוא מכניס באקראי ל-3 קלמרים שונים. לכל עט הוא בוחר באופן מקרי קלמר.
- מה הסיכוי שיש בדיוק 2 קלמרים שבכל קלמר בדיוק 2 עטים?
  - מה הסיכוי שיש בדיוק קלמר אחד שבו בדיוק 2 עטים?
  - מה הסיכוי שיש בדיוק 3 קלמרים שבכל אחד בדיוק 2 עטים?
- 20** מסדרים  $n$  כדורים שונים ב  $n$  תאים שונים (תא יכול להכיל יותר מכדור אחד). מה הסיכוי שבתא  $i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) יהיו בדיוק  $k$  כדורים?
- 21** בתחרות ריצה עלו לגמר 6 מתמודדים. רק בשלושת המקומות הראשונים זוכים במדליות. נניח שכל המתמודדים מסיימים את התחרות.
- כמה אפשרויות יש לסיים את התחרות?
  - כמה אפשרויות יש לכך שמתמודד מספר 6 יקבל מדליה?
  - כמה אפשרויות יש לכך שמתמודד מספר 6 יקבל מדליה או שמתמודד מספר 2 יקבל מדליית זהב?

**(22)** מטילים קובייה הוגנת  $k$  פעמים.

- א. מה הסיכוי שהתוצאה הכי גדולה שהתקבלה היא  $j$  ?
- ב. מה הסיכוי שהתוצאה הכי קטנה שהתקבלה היא  $i$  ?
- ג. עבור  $i \leq j$ , מה הסיכוי שהתוצאה הכי גדולה היא  $j$  וגם התוצאה הכי קטנה היא  $i$  ?

## תשובות סופיות:

- (1) א. 102,400,000    ב. 78,960,960    ג. 658008
- (2) א. 810,000    ב. 657,720    ג. 27,405
- (3) א. 14,040,000    ב. 1,404,000    ג. 5,616,000    ד. 8,424,000
- (4) א. 0.00024    ב. 0.00098    ג. 0.05933    ד. 0.75000
- (5) א. 0.00098    ב. 0.17798    ג. 0.02929    ד. 0.02197
- (6) א.  $\frac{1}{4096}$     ב.  $\frac{1}{32,768}$     ג. 0.205    ד. 0.795
- ה. 0.0105    ו. 0.5129    ז. 0.1071
- (7) א. 4,200    ב. 50,400    ג. 604,800
- (8) א. 604,800    ב. 2,880    ג. 2,880
- (9) 0.238
- (10) א. 0.1512    ב. 0.014    ג. 0.059    ד.  $\frac{62}{10^6}$
- (11) א. 40,320    ב. 0.1071    ג. 0.2142    ד. 0.0357
- ה. 0.5714    ו. 0.1429    ז. 0.0143    ח. 0.0095
- (12) א. 60,466,176    ב. 45,239,040    ג. 48,484,800
- (13) א.  $\frac{n!}{3!(n-3)}$     ב.  $n \cdot (n-1)(n-2)$     ג.  $n^3$
- (14)  $\frac{1}{4^n} \cdot \sum_{i=0}^n \binom{n}{i}^2$
- (15) א.  $0.9^a$     ב.  $1 - 0.9^a$     ג.  $0.5^a$
- (16) לפחות 25 פעמים.
- (17) א. 0.35721    ב. 0.1759
- (18) א. 0.75    ב. 0.075    ג. 0.375    ד. 0.15
- (19) א. 0    ב.  $\frac{450}{729}$     ג.  $\frac{90}{729}$
- (20)  $\frac{\binom{n}{k} (n-1)^{n-k}}{n^n}$
- (21) א. 720    ב. 360    ג. 432

$$(22) \quad \begin{array}{l} \text{א. } \frac{j^k - (j-1)^k}{6^k} \\ \text{ב. } \frac{(7-i)^k - (6-i)^k}{6^k} \\ \text{ג. } \frac{(j-i+1)^k - 2 \cdot (j-i)^k + (j-i-1)^k}{6^k} \end{array}$$

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 18 - קומבינטוריקה - דגימה ללא סדר וללא החזרה

תוכן העניינים

1. כללי ..... 95

## קומבינטוריקה – דגימה ללא סדר וללא החזרה:

**רקע:**

**מדגם לא סדור בדגימה ללא החזרה:**

מספר האפשרויות לדגום  $k$  עצמים שונים מתוך  $n$  עצמים שונים כאשר אין

משמעות לסדר העצמים הנדגמים ואין החזרה:  $\frac{n!}{(n-k)!k!} = \binom{n}{k} = \frac{(n)_k}{k!}$

**דוגמה:**

מתוך 10 תלמידים יש לבחור שלושה נציגים לוועד ללא תפקידים מוגדרים:

$$\cdot \binom{10}{3} = \frac{10!}{7! \cdot 3!} = 120$$

**הערות:**

$$\cdot \binom{n}{k} = \binom{n}{n-k} \quad (1)$$

$$\cdot \binom{n}{n-1} = \binom{n}{1} = n \quad (2)$$

$$\cdot \binom{n}{n} = \binom{n}{0} = 1 \quad (3)$$

## שאלות:

- (1) בכיתה 15 בנות ו-10 בנים. יש לבחור 5 תלמידים שונים מהכיתה לנציגות הכיתה. בכמה דרכים אפשר להרכיב את הנציגות, אם:
- א. אין שום הגבלה לבחירה.
  - ב. מעוניינים ש-3 בנות ו-2 בנים ירכיבו את המשלחת.
  - ג. לא יהיו בנים במשלחת.
- (2) סטודנט מעוניין לבחור 5 קורסי בחירה בסמסטר זה. לפניו רשימה של 10 קורסים לבחירה: 5 במדעי הרוח, 3 במדעי החברה, 2 במתמטיקה.
- א. כמה בחירות שונות הוא יכול ליצור לעצמו?
  - ב. כמה בחירות יש לו בהן 3 קורסים הם ממדעי הרוח?
  - ג. כמה בחירות יש לו אם 2 מהן לא ממדעי הרוח?
  - ד. כמה בחירות יש לו אם 2 ממדעי הרוח, 2 ממדעי החברה ו-1 ממתמטיקה?
- (3) בכיתה 30 תלמידים מתוכם 12 תלמידים ו-18 תלמידות.
- יש לבחור למשלחת 4 תלמידים מהכיתה. התלמידים נבחרים באקראי.
- א. מה ההסתברות שהמשלחת תורכב רק מבנות?
  - ב. מה ההסתברות שבמשלחת תהיה רק בת אחת?
  - ג. מה ההסתברות שבמשלחת תהיה לפחות בת אחת?
- (4) במשחק הלוטו יש לבחור 5 מספרים מתוך 45. המספרים הם 1-45.
- א. מה ההסתברות שבמשחק הזוכה כל המספרים הם זוגיים?
  - ב. מה ההסתברות שבמספר הזוכה יש לכל היותר מספר זוגי אחד?
  - ג. מה ההסתברות שבמספר הזוכה לפחות פעם אחת יש מספר זוגי?
  - ד. מה ההסתברות שבמספר הזוכה כל המספרים גדולים מ-30?
- (5) בחפיסת קלפים ישנם 52 קלפים: 13 בצבע שחור בצורת עלה, 13 בצבע אדום בצורת לב, 13 בצבע אדום בצורת יהלום ו-13 בצבע שחור בצורת תלתן. מכל צורה (מתוך ה-4) יש 9 קלפים שמספרם 2-10, שאר הקלפים הם: נסיך, מלכה, מלך ואס (בעצם מדובר בקופסת קלפים רגילה ללא ג'וקר). שני אנשים משחקים פוקר. כל אחד מקבל באקראי 5 קלפים (ללא החזרה).
- א. מה ההסתברות שעודד יקבל את כל המלכים וערן את כל המלכות?
  - ב. מה ההסתברות שאחד השחקנים יקבל את הקלף אס-לב?
  - ג. מה ההסתברות שערן יקבל קלפים שחורים בלבד ועודד יקבל שני קלפים שחורים בדיוק?
  - ד. מה ההסתברות שערן יקבל לפחות 3 קלפים שהם מספר (אס אינו מספר)?

(6) במכללה 4 מסלולי לימוד. בכל מסלול לימוד 5 מזכירות. יש ליצור וועד של 5 מזכירות מתוך כלל המזכירות במכללה. יוצרים וועד באופן אקראי. חשבו את ההסתברויות הבאות:

- א. כל המזכירות בוועד יהיו ממסלול "מדעי ההתנהגות".  
 ב. כל המזכירות בוועד יהיו מאותו המסלול.  
 ג. מכל מסלול תבחר לפחות מזכירה אחת.

(7) הוכיחו כי:  $\binom{n}{k} + \binom{n}{k+1} = \binom{n+1}{k+1}$

(8)  $2n$  בנים ו- $2n$  בנות מתחלקים ל-2 קבוצות.  
 א. בכמה דרכים שונות ניתן לבצע את החלוקה אם שתי הקבוצות צריכות להיות שוות בגודלן ויש בכל קבוצה מספר שווה של בנים ובנות?  
 ב. בכמה דרכים ניתן לבצע את החלוקה אם יש מספר שווה של בנים ובנות בכל קבוצה אבל הקבוצות לא בהכרח בגודל שווה.

### תשובות סופיות:

- |     |                         |                         |            |
|-----|-------------------------|-------------------------|------------|
| (1) | א. 53130                | ב. 20475                | ג. 3003    |
| (2) | א. 252                  | ב. 100                  | ג. 100     |
|     |                         |                         | ד. 60      |
| (3) | א. 0.1117               | ב. 0.1445               | ג. 0.9819  |
| (4) | א. 0.02                 | ב. 0.187                | ג. 0.972   |
|     |                         |                         | ד. 0.00246 |
| (5) | א. 0                    | ב. 0.1923               | ג. 0.009   |
|     |                         |                         | ד. 0.837   |
| (6) | א. $6.45 \cdot 10^{-5}$ | ב. $2.58 \cdot 10^{-4}$ | ג. 0.3225  |
| (7) | שאלת הוכחה.             |                         |            |

(8) א.  $\binom{2n}{n}^2$       ב.  $\sum_{i=1}^n \binom{2n}{i}^2$

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 19 - קומבינטוריקה - דגימה ללא סדר ועם החזרה

תוכן העניינים

1. כללי.....98

## קומבינטוריקה – דגימה ללא סדר ועם החזרה:

### רקע:

מספר האפשרויות לבחור  $k$  עצמים (לא בהכרח שונים) מתוך  $n$  עצמים שונים, ללא חשיבות לסדר העצמים הנדגמים, ועצם יכול להיבחר יותר מפעם אחת:

$$\cdot \binom{n+k-1}{k} = \binom{n+k-1}{n-1}$$

דוגמה:

בכמה דרכים שונות ניתן לחלק 4 כדורים זהים לשלושה תאים שבכל תא יש מקום ליותר מכדור אחד? (פתרון והסבר הרעיון בהקלטה)

### סיכום כללי של המצבים האפשריים לדגימה:

| מספר האפשרויות לבחירת $k$ עצמים מתוך אוכלוסייה של $n$ עצמים שונים |                             |                                         |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
| ביצוע הדגימה                                                      | עם התחשבות בסדר הבחירה      | ללא התחשבות בסדר הבחירה                 |
| עם החזרה                                                          | $n^k$                       | $\binom{n+k-1}{k} = \binom{n+k-1}{n-1}$ |
| ללא החזרה                                                         | $(n)_k = \frac{n!}{(n-k)!}$ | $\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$    |

## שאלות:

- (1) בכמה דרכים יש להכניס 8 כדורים זהים לחמישה תאים כאשר תא יכול להכיל יותר מכדור אחד?
- (2) בכמה אופנים ניתן להכניס 5 מחברות זהות ל-3 תיקים שונים?
- (3) בכמה אופנים ניתן להכניס 8 כדורים לתוך 3 תאים שונים כאשר:
  - א. הכדורים זהים.
  - ב. הכדורים שונים זה מזה.
- (4) בכמה דרכים יש לסדר 10 משחקים ב-4 מגירות כאשר:
  - א. המשחקים שונים זה מזה.
  - ב. במשחקים זהים זה לזה.
- (5) מהו מספר הפתרונות השלמים האי שליליים למשוואה הבאה:  $X_1 + X_2 = 3$ .
- (6) מהו מספר הפתרונות השלמים האי-שליליים למשוואה הבאה:  $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 20$ .
- (7) במכירה פומבית הוצגו 4 פמוטי זהב זהים לחלוטין. על קניית היצירות התחרו 3 אספנים. אספן יכול היה לרכוש יותר מפמוט אחד. בהנחה וכל הפמוטים נמכרו, כמה אפשרויות מכירה לאספנים השונים ישנן?
- (8) נתונות האותיות: A, B, C ו-D. נרצה לבחור שתי אותיות מתוך קבוצת האותיות הללו כאשר מותר לבחור אותה אות יותר מפעם אחת אבל אין חשיבות לסדר האותיות שנבחרו. כמה דרכים ישנן לבחירה?
- (9) במשחק הלוטו החדש יש לבחור ארבעה מספרים מתוך המספרים 1-20. אין חשיבות לסדר הפנימי של המספרים, אלא רק לגלות אילו מספרים עלו בגורל. מה הסיכוי לגלות את המספרים שעלו בגורל אם:
  - א. אסור לבחור את אותו מספר יותר מפעם אחת.
  - ב. מותר לחזור על אותו מספר יותר מפעם אחת.

**(10)** ישנם 5 כדורים להכניס ל-6 תאים.

חשבו את מספר האפשרויות להכנסת הכדורים כאשר:

- א. הכדורים שונים ותא יכול להכיל יותר מכדור אחד.
- ב. הכדורים זהים ותא יכול להכיל יותר מכדור אחד.
- ג. הכדורים שונים ותא לא יכול להכיל יותר מכדור אחד.
- ד. הכדורים זהים ותא לא יכול להכיל יותר מכדור אחד.

**(11)** ישנם  $k$  כדורים להכניס ל- $n$  תאים ( $n > k$ ).

חשבו את מספר האפשרויות להכנסת הכדורים כאשר:

- א. הכדורים שונים ותא יכול להכיל יותר מכדור אחד.
- ב. הכדורים זהים ותא יכול להכיל יותר מכדור אחד.
- ג. הכדורים שונים ותא לא יכול להכיל יותר מכדור אחד.
- ד. הכדורים זהים ותא לא יכול להכיל יותר מכדור אחד.

### תשובות סופיות:

(1) .495

(2) .21

(3) א. .45 ב. .6561

(4) א.  $4^{10}$  ב. .286

(5) .4

(6) .1771

(7) .15

(8) .10

(9) א.  $\frac{1}{4845}$  ב.  $\frac{1}{8855}$

(10) א. 7776 ב. .252 ג. .720 ד. .6

(11) א.  $n^k$  ב.  $\binom{n+k-1}{k} = \binom{n+k-1}{n-1}$  ג.  $(n)_k = \frac{n!}{(n-k)!}$  ד.  $\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 20 - המשתנה המקרי הבדיד - פונקציית ההסתברות

תוכן העניינים

1. כללי ..... 102

## המשתנה המקרי הבדיד – פונקציית ההסתברות:

**רקע:**

**משתנה מקרי בדיד:**

משתנה מקרי בדיד הינו משתנה היכול לקבל כמה ערכים בודדים בהסתברויות שונות.

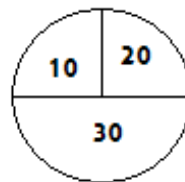
מתארים את המשתנה המקרי על ידי פונקציית ההסתברות.

**פונקציית ההסתברות:**

פונקציה המתאימה לכל ערך אפשרי של המשתנה את ההסתברות שלה. סכום ההסתברויות על פונקציית ההסתברות חייב להיות 1.

דוגמה (פתרון בהקלטה):

בקזינו יש רולטה כמתואר בשרטוט:



אדם מסובב את הרולטה וזוכה בסכום הרשום על הרולטה בש"ח. בנו את פונקציית ההסתברות של סכום הזכייה במשחק בודד.

## שאלות:

- (1) ידוע שביישוב מסוים התפלגות מספר המכוניות למשפחה היא:
- 50 משפחות אינן מחזיקות במכונית.
  - 70 משפחות עם מכונית אחת.
  - 60 משפחות עם 2 מכוניות.
  - 20 משפחות עם 3 מכוניות.
- בוחרים באקראי משפחה מהיישוב, נגדיר את  $X$  להיות מספר המכוניות של המשפחה שנבחרה. בנו את פונקציית ההסתברות של  $X$ .
- (2) מהאותיות:  $A, B, C$  יוצרים קוד דו תווי.
- א. כמה קודים ניתן ליצור?
  - ב. רשמו את כל הקודים האפשריים.
  - ג. נגדיר את  $X$  להיות מספר הפעמים שהאות  $B$  מופיעה בקוד.
- בנו את פונקציית ההסתברות של  $X$ .
- (3) תלמיד ניגש בסמסטר לשני מבחנים: מבחן בכלכלה ומבחן בסטטיסטיקה. כמו כן, נתון שהסיכוי לעבור את המבחן בכלכלה הנו 0.8, הסיכוי לעבור את המבחן בסטטיסטיקה הנו 0.9 והסיכוי לעבור את שני המבחנים הנו 0.75. יהי  $X$  מספר המבחנים שהסטודנט עבר. בנו את פונקציית ההסתברות של  $X$ .
- (4) הסיכוי לזכות במשחק מסוים הינו 0.3. אדם משחק את המשחק עד אשר הוא מנצח אך בכל מקרה הוא לא משחק את המשחק יותר מ-4 פעמים. נגדיר את  $X$  להיות מספר הפעמים שהוא שיחק את המשחק. בנו את פונקציית ההסתברות של  $X$ .
- (5) חברה לניהול פרויקטים מנהלת 3 פרויקטים במקביל. הסיכוי שפרויקט א' יצליח הינו 0.7, הסיכוי שפרויקט ב' יצליח הינו 0.8, והסיכוי שפרויקט ג' יצליח הינו 0.9. נתון שהצלחת כל פרויקט בלתי תלויה זו בזו. נגדיר את  $X$  להיות מספר הפרויקטים שיצליחו. בנו את פונקציית ההסתברות של  $X$ .
- (6) להלן פונקציית הסתברות של משתנה מקרי כלשהו:  $k = 1, 2, \dots, 4$ ,  $P(X = k) = \frac{k}{A}$ . מצאו את ערכו של  $A$ .

(7) בגן ילדים 8 ילדים, מתוכם 5 בנים ו-3 בנות.  
בוחרים באקראי 3 ילדים להשתתף בהצגה.  
נגדיר את  $X$  כמספר הבנים שנבחרו להצגה.  
בנו את פונקציית ההסתברות של  $X$ .

(8) בסקר שנערך בדקו בקרב אנשים האם הם צופים במהדורת החדשות של ערוצים 1,2,10. להלן הנתונים:  
20% צופים בערוץ 2.  
8% צופים בערוץ 1.  
10% צופים בערוץ 10.  
כמו כן נתון ש 1% צופים בשלושת המהדורות גם יחד.  
10% צופים בשתי המהדורות מתוך השלושה.  
נגדיר את  $X$  להיות מספר המהדורות מבין 3 המהדורות המדוברות שאדם אקראי צופה. בנו את פונקציות ההסתברות של  $X$ .

## תשובות סופיות:

(1) להלן טבלה:

|     |     |      |      |        |
|-----|-----|------|------|--------|
| 3   | 2   | 1    | 0    | $X$    |
| 0.1 | 0.3 | 0.35 | 0.25 | $P(X)$ |

(2) להלן טבלה:

|               |               |               |        |
|---------------|---------------|---------------|--------|
| 2             | 1             | 0             | $X$    |
| $\frac{1}{9}$ | $\frac{4}{9}$ | $\frac{4}{9}$ | $P(X)$ |

(3) להלן טבלה:

|      |      |      |        |
|------|------|------|--------|
| 2    | 1    | 0    | $X$    |
| 0.75 | 0.20 | 0.05 | $P(X)$ |

(4) להלן טבלה:

|       |       |      |     |        |
|-------|-------|------|-----|--------|
| 4     | 3     | 2    | 1   | $X$    |
| 0.343 | 0.147 | 0.21 | 0.3 | $P(X)$ |

(5) להלן טבלה:

|       |       |       |       |        |
|-------|-------|-------|-------|--------|
| 3     | 2     | 1     | 0     | $X$    |
| 0.504 | 0.398 | 0.092 | 0.006 | $P(X)$ |

(6) 10.

(7) להלן טבלה:

|                 |                 |                 |                |        |
|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------|
| 4               | 3               | 2               | 1              | $X$    |
| $\frac{10}{56}$ | $\frac{30}{56}$ | $\frac{15}{56}$ | $\frac{1}{56}$ | $P(X)$ |

(8) להלן טבלה:

|      |     |      |      |        |
|------|-----|------|------|--------|
| 4    | 3   | 2    | 1    | $X$    |
| 0.01 | 0.1 | 0.15 | 0.74 | $P(X)$ |

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 21 - קומבינטוריקה - דגימה סידורית ללא החזרה ועם החזרה

תוכן העניינים

1. כללי ..... 106

## קומבינטוריקה – דגימה סידורית ללא החזרה ועם החזרה:

**רקע:**

**מדגם סידור בדגימה עם החזרה:**

מספר האפשרויות בדגימת  $k$  עצמים מתוך  $n$  עצמים שונים כאשר הדגימה היא עם החזרה והמדגם סדור הוא:  $n^k$ .

**דוגמה:**

בחרים שלושה תלמידים מתוך עשרה לייצג ועד בו תפקידים שונים, תלמיד יכול למלא יותר מתפקיד אחד.

כמה ועדים שונים ניתן להרכיב?  $10^3 = 1,000$ ,  $k = 3$ ,  $n = 10$ .

**מדגם סידור ללא החזרה:**

מספר האפשרויות בדגימת  $k$  עצמים שונים מתוך  $n$  עצמים שונים ( $n \geq k$ ) כאשר המדגם סדור ואין החזרה של עצמים נדגמים הינו:

$$(n)_k = n(n-1)(n-2)\dots(n-(k-1)) = \frac{n!}{(n-k)!}$$

**דוגמה:**

שלושה תלמידים נבחרים מתוך 10 לייצג וועד בו תפקידים שונים.

תלמיד לא יכול למלא יותר מתפקיד אחד:  $\frac{10!}{7!} = 10 \cdot 9 \cdot 8 = 720$ .

## שאלות:

- (1) במפלגה 20 חברי כנסת, מעוניינים לבחור שלושה חברי כנסת לשלושה תפקידים שונים.
- א. חבר כנסת יכול למלא יותר מתפקיד אחד.  
כמה קומבינציות ישנן לחלוקת התפקידים?
- ב. חבר כנסת לא יכול למלא יותר מתפקיד אחד.  
כמה קומבינציות יש לחלוקת התפקידים?
- (2) במשחק מזל יש 4 משבצות ממוספרות מ-A (עד D). בכל משבצת יש למלא סיפרה (0-9). הזוכה הוא זה שניחש נכונה את כל הספרות בכל המשבצות בהתאמה.
- א. מה ההסתברות לזכות במשחק?
- ב. מה ההסתברות שבאף משבצת לא תהיה את הספרה 3 במספר הזוכה?
- ג. מה ההסתברות שהתוצאה 4 תופיע לפחות פעם אחת במספר הזוכה?
- (3) קבוצה מונה 22 אנשים, מה ההסתברות שלפחות לשניים מהם יהיה יום הולדת באותו התאריך?
- (4) שלושה אנשים קבעו להיפגש במלון הילטון בסינגפור. הבעיה היא שבסינגפור ישנם 5 מלונות הילטון.
- א. מה ההסתברות שכל השלושה ייפגשו?
- ב. מה ההסתברות שכל אחד יגיע לבית מלון אחר?
- (5) בכיתה 40 תלמידים. מעוניינים לבחור חמישה מהם לוועד כיתה. בכמה דרכים ניתן להרכיב את הוועד אם:
- א. בוועד 5 תפקידים שונים ותלמיד יכול למלא יותר מתפקיד אחד.
- ב. בוועד 5 תפקידים שונים ותלמיד לא יכול למלא יותר מתפקיד אחד.

## תשובות סופיות:

- (1) א. 8000      ב. 6840
- (2) א. 0.0001      ב. 0.6561      ג. 0.3439
- (3) 0.476
- (4) א. 0.04      ב. 0.48
- (5) א.  $40^5$       ב. 78,960,960

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 22 - המשתנה המקרי הבדיד - טרנספורמציה לינארית

תוכן העניינים

1. כללי ..... 108

## המשתנה המקרי הבדיד – טרנספורמציה לינארית:

### רקע:

טרנספורמציה לינארית היא מצב שבו מבצעים הכפלה של קבוע ו/או הוספה של קבוע על המשתנה המקורי (כולל גם חלוקה של קבוע והחסרה של קבוע).

בניסוח מתמטי נאמר כי אם משתנה אקראי  $Y$  מיוצג ע"י משתנה אקראי  $X$  כאשר  $a, b$  הם קבועים כלשהם:  $Y = aX + b$ , אזי מתקיימים:

$$E(Y) = aE(X) + b \quad (1)$$

$$V(Y) = a^2 \cdot V(X) \quad (2)$$

$$\sigma_Y = |a| \sigma_X \quad (3)$$

### שלבי העבודה:

- (1) נזהה שמדובר בטרנספורמציה לינארית (שינוי קבוע לכל התצפיות).
- (2) נרשום את כלל הטרנספורמציה לפי נתוני השאלה.
- (3) נפשט את הכלל ונזהה את ערכי  $a$  ו- $b$ .
- (4) נציב בנוסחאות שלעיל בהתאם למדדים שנשאלים.

### דוגמה – הרולטה:

בהמשך לנתוני שאלת הרולטה נתון שעלות השתתפות במשחק 15 ₪. מהי התוחלת והשונות של הרווח במשחק?

### פתרון (בהקלטה):

חישבנו קודם ש:  $V(X) = 68.75 = \sigma^2$ ,  $E(X) = 22.5 = \mu$ .

## שאלות:

(1) סטודנט ניגש ל-5 קורסים הסמסטר. נניח שכל קורס שסטודנט מסיים מזכה אותו ב-4 נקודות אקדמאיות. חשבו את התוחלת והשונות של סך הנקודות שיצבור הסטודנט כאשר נתון שתוחלת מספר הקורסים שיסיים היא 3.5 עם שונות 2.

(2) תוחלת סכום הזכייה במשחק מזל הינה 10 עם שונות 3. הוחלט להכפיל את סכום הזכייה במשחק. עלות השתתפות במשחק הינה 12. מה התוחלת ומהי השונות של הרווח במשחק?

(3) תוחלת של משתנה מקרי הינה 10 וסטית התקן 5. הוחלט להוסיף 2 למשתנה ולאחר מכן להעלות אותו ב-10%. מהי התוחלת ומהי סטיית התקן לאחר השינוי?

(4)  $X$  הינו משתנה מקרי. כמו כן נתון ש- $E(X) = 4$  ו- $V(X) = 3$ .  
 $Y$  הינו משתנה מקרי חדש, עבורו:  $Y = 7 - X$ . חשבו את:  $E(Y)$  ו- $V(Y)$ .

(5) אדם החליט לבטח את רכבו; שווי הרכב 100,000 ₪. להלן התביעות האפשריות והסתברותן: בהסתברות של 0.001 תהיה תביעה טוטאלוסט (כל שווי הרכב). בהסתברות של 0.02 תהיה תביעה בשווי מחצית משווי הרכב. בהסתברות של 5% תהיה תביעה בשווי רבע משווי הרכב. אחרת אין תביעה בכלל. החברה מאפשרת תביעה אחת בשנה. נסמן ב- $X$  את גובה התביעה השנתית, באלפי ₪.  
 א. בנו את פונקציית ההסתברות של  $X$ .  
 ב. חשבו את התוחלת והשונות של גובה התביעה.  
 ג. פרמיית הביטוח היא 4,000 ₪.  
 מהי התוחלת ומהי השונות של רווח חברת הביטוח לביטוח הרכב הני"ל?

(6) יהי  $X$  מספר התשובות הנכונות במבחן בו 10 שאלות. פונקציית ההסתברות של  $X$  נתונה בטבלה הבאה:

|    |   |     |     |     |     |        |
|----|---|-----|-----|-----|-----|--------|
| 10 | 9 | 8   | 7   | 6   | 5   | $X$    |
|    |   | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | $P(X)$ |

כמו כן, נתון שצפי מספר התשובות הנכונות בבחינה הוא 7.35.

- השלימו את פונקציית ההסתברות.
  - חשבו את השונות מספר התשובות הנכונות בבחינה.
  - הציון בבחינה מחושב באופן הבא:
- כל שאלה נכונה מזכה ב-10 נקודות. לכל שאלה שגויה, מופחתת נקודה. מהי התוחלת ומה השונות של הציון בבחינה?

(7) להלן פונקציית הסתברות של משתנה מקרי כלשהו:  $k=1,2,3,4$  :  $P(X=k) = \frac{k}{A}$

א. מצא את ערכו של  $A$ .

ב. חשב את התוחלת והשונות של המשתנה הנחקר.

ג. חשב את:  $E(X^3)$ .

ד. חשב את התוחלת והשונות של המשתנה הבא:  $\frac{X}{2} - 4$ .

### תשובות סופיות:

(1) תוחלת: 14, שונות: 32.

(2) תוחלת: 8, שונות: 12.

(3) תוחלת: 13.2, סטיית תקן: 5.5.

(4) תוחלת: 3, שונות: 3.

(5) א. להלן טבלה: ב. תוחלת: 2350, שונות:  $85,727.5^2$ .

|       |      |      |       |        |
|-------|------|------|-------|--------|
| 0     | 25   | 50   | 100   | $X$    |
| 0.929 | 0.05 | 0.02 | 0.001 | $P(X)$ |

ג. תוחלת: 1650, שונות:  $85,727.5^2$ .

(6) ב.  $V(X) = 1.8275$ .

(7) א.  $A=10$  . ב.  $E(X)=3$ ,  $V(X)=1$  . ג.  $E(X^3)=35.4$ ,  $V(X^3)=616.84$  .

ד.  $E(Y)=-2.5$ ,  $V(Y)=0.25$ .

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 23 - תוחלת ושונות של סכום משתנים מקריים

תוכן העניינים

1. כללי ..... 111

## תוחלת ושונות של סכום משתנים מקריים:

### רקע:

אם:  $X_1, X_2, \dots, X_n$  משתנים מקרים 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:

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

### דוגמה:

אדם משחק בשני משחקי מזל בלתי תלויים. תוחלת סכות הזכייה של המשחק הראשון היא 7 עם סטיית תקן 3. תוחלת סכום הזכייה של המשחק השני היא 2- עם סטיית תקן 4. מה התוחלת ומהי השונות של סכום הזכייה הכולל של שני המשחקים יחד?

## שאלות:

(1) הרווח ממניה א' הוא עם תוחלת של 5 ושונות 10. הרווח ממניה ב' הוא עם תוחלת של 4 ושונות. ידוע שההשקעות של שתי המניות בלתי תלויות זו בזו. מה התוחלת והשונות של הרווח הכולל מהשקעה בשתי המניות יחד?

(2)  $X$  ו- $Y$  הם משתנים בלתי תלויים, סטיית התקן של  $X$  היא 3. סטיית התקן של  $Y$  היא 4. מהי סטיית התקן של  $X+Y$ ?

(3) אדם משחק בשני משחקי מזל בלתי תלויים זה בזה:  
 $X$  - סכום הזכייה במשחק הראשון.  
 $Y$  - סכום הזכייה במשחק השני.  
 נתון:

$$\sigma(X) = 3, \quad E(x) = 10$$

$$\sigma(Y) = 4, \quad E(y) = 12$$

מהי התוחלת ומהי סטיית התקן של סכום הזכייה בשני המשחקים?

(4) ברולטה הסיכוי לזכות ב- 30 ₪ הוא חצי, ב-10 ₪ רבע וכך גם ב-20 ₪. מה היא התוחלת והשונות של סכום הזכייה הכולל לאדם המשחק ברולטה 4 פעמים?

(5) נתון משתנה מקרי בעל פונקציית ההסתברות הבאה:

$$K = 2, 3, 4, 5, \quad P(X = K) = \frac{A}{K-1}$$

$$0 \text{ אחר } ת$$

מצאו את ערכו של  $A$ .

א. חשבו את התוחלת והשונות של  $X$ .

ב. נלקחו  $n$  משתנים מקריים בלתי תלויים מההתפלגות הנ"ל. בטאו באמצעות  $n$  את תוחלת והשונות של סכום המשתנים.

### תשובות סופיות:

- (1) תוחלת: 9, שונות: 15.
  - (2) 5.
  - (3) תוחלת: 22, שונות: 5.
  - (4) תוחלת: 90, שונות: 275.
  - (5) א.  $A = \frac{12}{25} = 0.48$ . ב. תוחלת: 2.92, שונות: 1.1136.
- ג. תוחלת: 2.92, שונות:  $1.1136n$ .

# מבנים בדידים וקומבינטוריקה

פרק 24 - המשתנה המקרי הבדיד - תוחלת - שונות וסטיית תקן

תוכן העניינים

1. כללי ..... 114

## המשתנה המקרי הבדיד – תוחלת, שונות וסטיית תקן:

**רקע:**

**תוחלת:**

ממוצע של פונקציית ההסתברות, אם נבצע את התהליך אינסוף פעמים כמה בממוצע נקבל. התוחלת היא צפי של המשתנה המקרי.  
מגדירים תוחלת באופן הבא:  $E(X) = \sum_i x_i P(x_i) = \mu$ .

**שונות:**

תוחלת ריבועי הסטיות מהתוחלת – נותן אינדיקציה על הפיזור והסיכון של פונקציית ההסתברות.

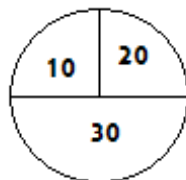
מגדירים שונות באופן הבא:  $V(X) = \sum_i (x_i - \mu)^2 P(x_i) = \sum_i x_i^2 P(x_i) - \mu^2 = \sigma^2$ .

**סטיית תקן:**

שורש של השונות – הפיזור הממוצע הצפוי סביב התוחלת. מסמנים:  $STD = \sigma$ .

**דוגמה:**

בקזינו רולטה כמוראה בשרטוט. אדם מסובב את הרולטה וזוכה בסכום הרשום על הרולטה ב-ש. הסתברות לקבלת הסכומים השונים:



|     |      |      |        |
|-----|------|------|--------|
| 30  | 20   | 10   | $X$    |
| 0.5 | 0.25 | 0.25 | $P(X)$ |

$$E(X) = 10 \cdot 0.25 + 20 \cdot 0.25 + 30 \cdot 0.5 = 22.5 = \mu$$

$$V(X) = \sum_i (x_i - \mu)^2 P(x_i) =$$

$$= (10 - 22.5)^2 \cdot 0.25 + (20 - 22.5)^2 \cdot 0.25 + (30 - 22.5)^2 \cdot 0.5 = 68.75 = \sigma^2$$

כדי לחשב את סטיית התקן נוציא שורש לשונות:  $\sigma_x = \sqrt{V(X)} = \sqrt{68.75} = 8.29$ .

## שאלות:

- (1) אדם משחק במשחק מזל.  
נגדיר את  $X$  להיות סכום הזכייה.  
להלן פונקציית ההסתברות של  $X$ :

|     |     |     |     |        |
|-----|-----|-----|-----|--------|
| 40  | 20  | 0   | -30 | $X$    |
| 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.4 | $P(X)$ |

מהי התוחלת, השונות וסטית התקן של  $X$ ?

- (2) בישוב מסוים שני סניפי בנק: בנק פועלים ובנק לאומי. מתוך האוכלוסייה הבוגרת בישוב, ל-50% חשבון בנק בסניף הפועלים, ל-40% חשבון בנק בסניף לאומי ול-20% מהתושבים הבוגרים אין חשבון באף אחד מהסניפים. יהי  $X$  מס' סניפי הבנק שלבוגר בישוב יש בהם חשבון. חשבו את:  $E(X)$ .

- (3) ידוע של-20% מהמשפחות יש חיבור לווייני בביתם. בסקר אדם מחפש לראיין משפחה המחוברת ללוויין. הוא מטלפן באקראי למשפחה וממשיך עד אשר הוא מגיע למשפחה המחוברת ללוויין. בכל מקרה הסוקר לא יתקשר ליותר מ-5 משפחות. נגדיר את  $X$  להיות מספר המשפחות שאליהן האדם יתקשר.  
א. בנו את פונקציית ההסתברות של  $X$ .  
ב. חשבו את התוחלת וסטית התקן של  $X$ .

- (4) לאדם צרור מפתחות. בצרור 5 מפתחות אשר רק אחד מתאים לדלת של ביתו. האדם מנסה את המפתחות באופן מקרי. לאחר שניסה מפתח מסוים הוא מוציא אותו מהצרור כדי שלא ישתמש בו שוב.  
נסמן ב- $X$  את מספר הניסיונות עד שהדלת תפתח.  
א. בנו את פונקציית ההסתברות של  $X$ .  
ב. חשבו את התוחלת והשונות של  $X$ .

(5) נתונה פונקציית ההסתברות של המשתנה המקרי  $X$ :

|     |   |     |   |        |
|-----|---|-----|---|--------|
| 8   | 6 | 4   | 2 | $X$    |
| 0.2 |   | 0.3 |   | $E(X)$ |

כמו כן נתון ש:  $E(X) = 4.2$ .

א. מצאו את ההסתברויות החסרות בטבלה.

ב. חשבו את:  $V(X)$ .

(6) משתנה מקרי בדיד מקבל את הערכים 5-0 ו-5. נתון שהתוחלת של המשתנה 0 ושהשונות היא 10. מצא את פונקציית ההסתברות.

(7) להלן ההתפלגות של משתנה מקרי:

| $X$ | $P$           |
|-----|---------------|
| 1   | $\frac{1}{4}$ |
| 3   | $\frac{1}{2}$ |
| $K$ | $\frac{1}{4}$ |

מהו הערך שייתן ערך מינימלי לשונות של  $X$ ?

### תשובות סופיות:

(1) תוחלת: 2, שונות: 796.

(2) 0.9.

(3) א. ראו סרטון. ב. תוחלת: 3.36, סטיית תקן: 1.603.

(4) א. ראו טבלה: ב. תוחלת: 3, שונות: 2.

|     |     |     |     |     |        |
|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| 5   | 4   | 3   | 2   | 1   | $X$    |
| 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | $P(X)$ |

(5) א. ראו טבלה: ב. 5.16.

|     |     |     |     |        |
|-----|-----|-----|-----|--------|
| 8   | 6   | 4   | 2   | $X$    |
| 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | $P(X)$ |

(6) ראו טבלה:

|     |     |     |        |
|-----|-----|-----|--------|
| 5   | 0   | -5  | $X$    |
| 0.2 | 0.6 | 0.2 | $P(X)$ |

(7) 2.33.