

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים



## תוכן העניינים

|     |                                                     |     |
|-----|-----------------------------------------------------|-----|
| 1.  | הסקה סטטיסטית - הקדמה                               | 1   |
| 2.  | מושגי יסוד באמידה                                   | 4   |
| 3.  | רווח סמך לתוחלת (ממוצע)                             | 9   |
| 4.  | מבוא לבדיקת השערות על פרמטרים                       | 19  |
| 5.  | בדיקת השערות על תוחלת (ממוצע)                       | 25  |
| 6.  | רווח סמך להפרש תוחלות (ממוצעים) במדגמים בלתי תלויים | 49  |
| 7.  | רווח סמך לתוחלת (ממוצע) ההפרשים במדגמים מזווגים     | 51  |
| 8.  | בדיקת השערות על הפרש תוחלות במדגמים בלתי תלויים     | 53  |
| 9.  | בדיקת השערות על שונות                               | 57  |
| 10. | בדיקת השערות לתוחלת ההפרש במדגמים מזווגים           | 61  |
| 11. | הקשר בין רווח סמך לבדיקת השערות להפרש תוחלות        | 65  |
| 12. | שאלות מסכמות בבדיקת השערות                          | 68  |
| 13. | ניתוח שונות חד כיוונית                              | 83  |
| 14. | ניתוח שונות דו כיוונית                              | 92  |
| 15. | מקדם המתאם ( מדד קשר ) הלינארי ומובהקותו            | 128 |
| 16. | רגרסיה                                              | 155 |
| 17. | מדדי קשר-רגרסיה -שונות מוסברת ושונות לא מוסברת      | 158 |
| 18. | מבחני חי בריבוע                                     | 161 |

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 1 - הסקה סטטיסטית - הקדמה

תוכן העניינים

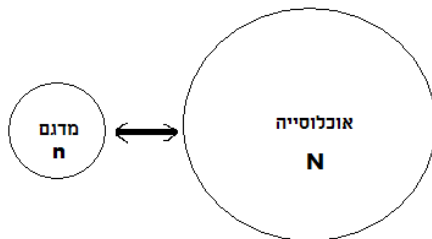
1. כללי ..... 1

## הסקה סטטיסטית – הקדמה:

### רקע:

#### אוכלוסייה:

קבוצה שאלה מפנים שאלה מחקרית. למשל, חברת תרופות שמעוניינת לפתח תרופה למחלת הסוכרת מתעניינת באוכלוסיית חולי הסוכרת בעולם.



#### מדגם:

חלק מתוך האוכלוסייה. למשל, אם נדגום באקראי 10 אנשים מתוך חולי הסוכרת אז זהו מדגם מתוך אוכלוסיית חולי הסוכרת.

במקרים רבים אין אפשרות לחקור את כל האוכלוסייה כיוון שאין גישה לכולה, היא גדולה מידי, אנו מוגבלים בזמן ובאמצעים טכניים ולכן מבצעים מדגם במטרה לבצע הסקה סטטיסטית מהמדגם לאוכלוסייה. הדגימה בקורס תהיה דגימה מקרית - הכוונה לדגימה שבה לכל תצפית באוכלוסייה יש את אותו סיכוי להיכלל במדגם.

#### סטטיסטי:

גודל המחושב על המדגם.

#### פרמטר:

גודל המתאר את האוכלוסייה.

### הסימונים לפרמטר וסטטיסטי הם שונים:

| סטטיסטי (מדגם) | פרמטר (אוכלוסייה) | ממוצע                    |
|----------------|-------------------|--------------------------|
| $\bar{X}$      | $\mu$             |                          |
| $\hat{p}$      | $P$               | פרופורציה (שכיחות יחסית) |

פרמטר הוא גודל קבוע גם אם אנו לא יודעים אותו סטטיסטי הוא משתנה ממדגם למדגם ולכן יש לו התפלגות הנקראת התפלגות הדגימה.

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

25% מאזרחי המדינה תומכים בהצעת החוק של חבר כנסת מסוים. הוחלט לדגום 200 אזרחים ומתוכם לבדוק מהו אחוז התומכים בהצעת החוק.

א. מי האוכלוסייה?

ב. מה המשתנה?

ג. מה הפרמטרים?

ד. מהו גודל המדגם?

ה. מהו הסטטיסטי שמתכננים להוציא מהמדגם?

ו. האם הפרמטר או הסטטיסטי הוא משתנה מקרי?

## שאלות:

- (1) מתוך כלל הסטודנטים במכללה שסיימו סטטיסטיקה א נדגמו שני סטודנטים. נתון שממוצע הציונים של כלל הסטודנטים היה 78 עם סטיית תקן של 15.
- מי האוכלוסייה?
  - מה המשתנה?
  - מהם הפרמטרים?
  - מהו גודל המדגם?
- (2) להלן התפלגות מספר מקלטי הטלויזיה למשפחה ב"שוב "העוגן". נגדיר את  $X$  להיות מספר המקלטים של משפחה אקראית. מתכננים לדגום מאוכלוסייה זו 4 משפחות ולהתבונן בממוצע מספר מקלטי הטלויזיה במדגם.
- מי היא האוכלוסייה ומהו המשתנה הנחקר?
  - מהו הסטטיסטי שיילקח מהמדגם ומה סימונו?

| מספר המשפחות       | מספר מקלטים |
|--------------------|-------------|
| 50                 | 0           |
| 250                | 1           |
| 350                | 2           |
| 300                | 3           |
| 50                 | 4           |
| סך הכול $N = 1000$ |             |

- (3) נתון כי 20% מהשכירים במדינה הם אקדמאיים. נבחרו באקראי 10 שכירים באותה אוכלוסייה ומתכננים לפרסם את מספר האקדמאיים שנדגמו.
- מהי האוכלוסייה?
  - מה המשתנה באוכלוסייה?
  - מהם הפרמטרים?
  - מהו הסטטיסטי?

## תשובות סופיות:

- (1) א. כלל הסטודנטים במכללה שסיימו סטטיסטיקה א. ב. ציון. ג. ממוצע: 78, סטיית תקן: 15. ד. 2.
- (2) א. האוכלוסייה: 1000 משפחות ב"שוב העוגן, המשתנה הנחקר: מס' מקלטים. ב.  $\bar{X}$  = ממוצע מדגם.
- (3) א. השכירים במדינה. ב. השכלה: אקדמאי, לא אקדמאי. ג. שיעור ההצלחות באוכלוסייה: 0.2. ג. מס' האקדמאים במדגם.

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 2 - מושגי יסוד באמידה

תוכן העניינים

1. כללי ..... 4

## מושגי יסוד באמידה:

### רקע:

כזכור מהמפגש הקודם, פרמטר הוא גודל המתאר את האוכלוסייה או התפלגות מסוימת. כמו ממוצע הגבהים בקרב מתגייסים לצה"ל -  $\mu$ . כמו פרופורציית התומכים בממשלה בקרב אזרחי המדינה -  $p$ . בדרך כלל הפרמטרים הם גדלים שאינם ידועים באמת, ולכן מבצעים מדגמים במטרה לאמוד אותם. אין אפשרות לחשב אותם הניסיון הוא בלהעריך כמה הם שווים ככל שניתן.

- נסמן באופן כללי פרמטר באות  $\theta$  ואומד ב- $\hat{\theta}$ .  $\hat{\theta}$  הוא סטטיסטי המחושב על המדגם ובאמצעותו נאמוד את  $\theta$ .
- שגיאת אמידה:  $|\hat{\theta} - \theta|$  - ההפרש בין האומד לאמת (הפרמטר).

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

בכנסת ה-19 קיבלה מפלגת העבודה 15 מנדטים. בערוץ 10 ברגע סגירת הקלפיות העריכו את מספר המנדטים של המפלגה להיות 17 מנדטים וזאת על סמך תוצאות מדגם של הערוץ.

- א. מה הפרמטר בדוגמה זו?
- ב. מהי טעות האמידה של ערוץ 10?
- $\hat{\theta}$  יהיה אומד חסר הטיה ל- $\theta$  אם התוחלת של  $\hat{\theta}$  תהיה שווה ל- $\theta$ :  $E(\hat{\theta}) = \theta$ .
- טעות התקן של אומד היא סטיית התקן שלו, כלומר:  $\sigma(\hat{\theta}) = S.E$

**פרמטרים מרכזיים והאומדים שלהם:****ממוצע האוכלוסייה  $\mu$ :**

האומד הנקודתי שלו יהיה: ממוצע המדגם:  $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$ .

$E(\bar{x}) = \mu$  לכן  $\bar{x}$  הינו אומד חסר הטיה ל- $\mu$ . כמו כן, טעות תקן:  $\sigma(\bar{x}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = SE$ .

**פרופורציה באוכלוסייה  $p$ :**

האומד הנקודתי שלו יהיה: פרופורציה במדגם:  $\hat{p} = \frac{y}{n}$ .

$E(\hat{p}) = p$ , לכן  $\hat{p}$  הינו אומד חסר הטיה ל- $p$ . כמו כן טעות התקן:  $\sigma(\hat{p}) = \sqrt{\frac{p \cdot (1-p)}{n}}$ .

**שונות האוכלוסייה  $\sigma^2$ :**

האומד הנקודתי שלו יהיה:  $S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$ .

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

**הערה:** אומד הוא הנוסחה הכללית לאמידת הפרמטר ואומדן הוא הערך הספציפי שהתקבל במדגם מסוים.

**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

נדגמו 10 משפחות בתל אביב ונבדק עבור כל משפחה מספר הילדים שלה.  
להלן התוצאות שהתקבלו: 2, 1, 3, 2, 1, 4, 5, 2, 1, 3.  
אמדו באמצעות אומדים חסרי הטיה את הפרמטרים הבאים:

1. ממוצע מספר הילדים למשפחה בתל אביב.
2. שונות מספר הילדים למשפחה בתל אביב.
3. פרופורציית המשפחות בנות שני ילדים.

## שאלות:

- (1) מתוך 500 טירונים, נמצאו 120 בעלי שברי הליכה. נתון שהסיכוי שטירון יהיה עם שבר הליכה הוא 0.25.
- מהי האוכלוסייה המוצגת בשאלה? מהם הפרמטרים שלה?
  - מהי טעות התקן של האומדן כשהמדגם בגודל 500?
  - מהו האומדן לפרמטר?
  - מהי טעות האמידה?
- (2) לפי נתוני היצרן, מקרר צורך בממוצע 2400 וואט לשעה עם סטיית תקן של 500 וואט לשעה.
- במדגם של 25 מקררים של היצרן התקבל ממוצע של 2342 וואט לשעה.
- מהי האוכלוסייה המוצגת בשאלה? מהם הפרמטרים שלה?
  - מהי טעות התקן של האומדן?
  - מהו האומדן לפרמטר?
  - מהי טעות האמידה?
- (3) נדגמו עשרה מתגייסים לצה"ל. גובהם נמדד בס"מ. להלן התוצאות שהתקבלו: 175, 168, 184, 192, 171, 180, 177, 187, 168, 177.
- מצאו אומדן חסר הטיה לגובה הממוצע של מתגייסי צה"ל.
  - מצאו אומדן חסר הטיה לשונות הגבהים של מתגייסי צה"ל.
  - מצאו אומדן חסר הטיה לפרופורציות המתגייסים בגובה של לפחות 180 ס"מ.
- (4) נדגמו 20 שכירים באקראי. עבור כל שכיר נמדד השכר באלפי שקלים.
- להלן התוצאות שהתקבלו:  $\sum_{i=1}^{20} X_i = 162$ ,  $\sum_{i=1}^{20} X_i^2 = 1502.2$ .
- אמדו את השכר הממוצע של השכירים במשק.
  - אמדו את סטיית התקן של שכר השכירים במשק.
- (5) במטרה לאמוד את ממוצע האוכלוסייה, דגמו תצפיות בלתי תלויות מהאוכלוסייה וחישבו את הממוצע שלהם. מהי טעות התקן?
- סטיית התקן של האוכלוסייה.
  - סטיית התקן של ממוצע האוכלוסייה.
  - סטיית התקן של המדגם.
  - סטיית התקן של ממוצע המדגם.

6) משקל הממוצע של אוכלוסייה מסוימת הוא 75 ק"ג עם שונות של 25. אם יבחרו כל המדגמים האפשריים בגודל 10 מאוכלוסייה זו סטיית התקן של ממוצעי המדגמים תהייה:

- א. 3.
- ב. 2.5.
- ג. 1.581.
- ד. אין מספיק נתונים לדעת.

7) במדגם מקרי, מתי סכום ריבועי הסטיות מהממוצע,  $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ , מחולק ב- $n-1$ ?

- א. כאשר  $n$  קטן.
- ב. כאשר תצפיות המדגם אינן בלתי תלויות.
- ג. כאשר האוכלוסייה אינה מתפלגת נורמאלית.
- ד. כאשר מעוניינים באומד חסר הטיה לשונות האוכלוסייה ממנה הוצא המדגם.
- ה. כאשר מעוניינים לחשב את שונות התפלגות הדגימה של ממוצע המדגם.

8)  $X_1, X_2, \dots, X_{16}$  מדגם מקרי מתוך אוכלוסייה בעלת ממוצע  $\mu$  לא ידוע ושונות:  $\sigma^2 = 64$ . טעות התקן של האומד ל- $\mu$  היא:

- א. 16.
- ב. 8.
- ג. 4.
- ד. 2.

9) מהו אומד חסר הטיה?

- א. אומד שערכו שווה לממוצע התפלגות הדגימה שלו.
- ב. אומד שערכו שווה לערך הפרמטר באוכלוסייה.
- ג. אומד שממוצע התפלגות הדגימה שלו שווה לערך הפרמטר באוכלוסייה.
- ד. אומד שהסיכוי שערכו יהיה גבוה מערך הפרמטר באוכלוסייה שווה לסיכוי שיהיה נמוך ממנו.



# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 3 - רווח סמך לתוחלת (ממוצע)

תוכן העניינים

1. רווח סמך כששונות האוכלוסיה ידועה..... 9
2. קביעת גודל מדגם..... 14
3. רווח סמך כששונות האוכלוסיה לא ידועה..... 16

## רווח סמך כששונות האוכלוסייה ידועה:

### רקע:

ממוצע המדגם הוא אומדן לממוצע האוכלוסייה, אך לא באמת ניתן להבין ממנו על גודלו של ממוצע האוכלוסייה. ההסתברות שממוצע המדגם יהיה בדיוק כמו הממוצע האמיתי הוא אפסי.

מה שנהוג לעשות כדי לאמוד את ממוצע האוכלוסייה, זה לבנות רווח סמך.

נבנה מרווח בטחון שהסיכוי שהפרמטר  $\mu$  ייכלל בתוכו הוא:  $1-\alpha$ .

$1-\alpha$ : נקרא רמת בטחון או רמת סמך. כך ש:  $P(A \leq \mu \leq B) = 1-\alpha$ .

A - גבול התחתון של רווח הסמך.

B - הגבול העליון של רווח הסמך.

$L = B - A$  - אורך רווח הסמך.

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

חוקר דגם 25 חיילים שנבחנו במבחן הפסיכומטרי. הוא בנה רווח סמך לממוצע הציונים במבחן הפסיכומטרי בקרב אוכלוסיית החיילים וקיבל בין 510 ל-590. רווח הסמך נבנה ברמת סמך של 95%.

1. מהי אוכלוסיית המחקר?
2. מה המשתנה באוכלוסייה?
3. מה הפרמטר שהחוקר רצה לאמוד?
4. מהו רווח הסמך?
5. מה אורך רווח הסמך?
6. מהי רמת הביטחון של רווח הסמך?

בפרק זה נרצה לבנות רווח סמך לתוחלת ( $\mu$ ) במקרה ש- $\sigma^2$  (שונות האוכלוסייה) ידועה.

פרמטר אותו נרצה לאמוד:  $\mu$ .

אומד נקודתי:  $\bar{x}$ .

תנאים לבניית רווח הסמך:  $X \sim N$  או  $n \geq 30$ .

$\sigma^2$  (שונות האוכלוסייה) ידועה.

$$\text{נוסחה לרווח הסמך: } \bar{x} \pm Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

על פי נתוני היצרן אורך חיי סוללה מתפלג נורמאלית עם סטיית תקן של 1 שעה. מעוניינים לאמוד את תוחלת חיי סוללה. נדגמו באקראי 4 סוללות, אורך החיים הממוצע שהתקבל הוא 13.5 שעות. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לתוחלת אורך חיי סוללה.

$$\text{שגיאת האמידה המקסימלית: } \varepsilon = Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$\varepsilon$  - נותן את שגיאת האמידה המקסימלית, דבר שנקרא גם טעות סטטיסטית, טעות דגימה.

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

בהמשך לשאלה עם הסוללות. מה ניתן להגיד בביטחון של 95% על שגיאת האמידה?

קשרים מתמטיים ברווח הסמך:

- אורך רווח הסמך הוא פעמיים שגיאת האמידה המקסימלית:  $L = 2\varepsilon$ .
- ממוצע המדגם נופל תמיד באמצע רווח הסמך:  $\bar{X} = \frac{A+B}{2}$ .
- ככל שמספר התצפיות ( $n$ ) גבוה יותר, כך יש יותר אינפורמציה ולכן האומד יותר מדויק, ולכן נקבל רווח סמך יותר קצר.
- ככל שרמת הביטחון  $(1-\alpha)$  גבוהה יותר, כך:  $z_{1-\frac{\alpha}{2}}$  יותר גבוה, ורווח הסמך יותר ארוך.

## שאלות:

- (1) חוקר התעניין לאמוד את השכר הממוצע במשק. על סמך מדגם הוא קבע שבביטחון של 95% כי השכר הממוצע במשק נע בין 9200 ל-9800 ₪.
- מי האוכלוסייה במחקר?
  - מה המשתנה הנחקר?
  - מה הפרמטר שאותו רוצים לאמוד?
  - מה רווח הסמך לפרמטר?
  - מהי רמת הסמך לפרמטר?
  - מה אורך רווח הסמך?
  - מה הסיכוי שטעות הדגימה תעלה על 300 ₪?
- (2) מעוניינים לאמוד את התפוקה היומית הממוצעת של מפעל מסוים ברמת סמך של 95%. במדגם אקראי של 100 ימים התקבלה תפוקה ממוצעת 4950 מוצרים ביום. לצורך פתרון הנח שסטיית התקן האמתית ידועה ושווה 150 מוצרים ביום. בנו את רווח הסמך.
- (3) מעוניינים לאמוד את ממוצע אורך החיים של מכשיר. מנתוני היצרן ידוע שאורך החיים מתפלג נורמאלי עם סטיית תקן של 20 שעות. נדגמו 25 מכשירים ונמצא כי ממוצע אורך החיים שלהם היה 230 שעות.
- בנו רווח סמך ברמת סמך של 90% לאורך החיים הממוצע של מכשיר.
  - בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לאורך החיים הממוצע של מכשיר.
  - הסבירו כיצד ומדוע השתנה רווח הסמך.
- (4) דגמו 200 עובדים מהמשק הישראלי. השכר הממוצע שלהם היה 9700 ₪. נניח שסטיית התקן של השכר במשק היא 3000 ₪.
- בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לתוחלת השכר במשק.
  - מה ניתן לומר בביטחון של 95% על הסטייה המרבית בין ממוצע המדגם לתוחלת השכר?
  - מה היה צריך להיות גודל המדגם אם הינו רוצים להקטין את רווח הסמך ב-50%?
  - אם היינו מגדילים את גודל המדגם ובונים רווח סמך באותה רמת סמך האם היה ניתן לטעון בביטחון רב יותר שרווח הסמך מכיל את הפרמטר?

- (5) בנו רווח סמך לממוצע הציונים של מבחן אינטליגנציה. ידוע שסטיית התקן היא 15 והמדגם מתבסס על 100 תצפיות. רווח הסמך שהתקבל הוא (105,99). שחזרו את:
- א. ממוצע המדגם.
  - ב. שגיאת האמידה המקסימאלית.
  - ג. רמת הסמך.
- (6) זמן החלמה מאנגינה מתפלג עם סטיית תקן של יומיים. חברת תרופות מעוניינת לחקור אנטיביוטיקה חדשה שהיא פיתחה. במחקר השתתפו 60 אנשים שחלו באנגינה וקיבלו את האנטיביוטיקה החדשה. בממוצע הם החלימו לאחר 4 ימים.
- א. בנו רווח סמך לתוחלת זמן ההחלמה תחת האנטיביוטיקה החדשה ברמת סמך של 90%.
  - ב. מה היה קורה לאורך רווח הסמך אם היה תקציב להגדלת גודל המדגם פי 4? הסבירו.
  - ג. מה היה קורה לאורך רווח הסמך אם היינו בונים את רווח הסמך ברמת סמך גדולה יותר? הסבירו.
- (7) חוקר בנה רווח סמך לממוצע וקיבל את רווח הסמך הבא:  $82 < \mu < 92$ . נתון שסטיית התקן בהתפלגות שווה ל-10 ושהמדגם מתבסס על 16 תצפיות. התפלגות המשתנה היא נורמאלית.
- א. מהו ממוצע המדגם?
  - ב. מהי רמת הסמך של רווח הסמך שנבנה?
  - ג. מה הסיכוי ששגיאת האמידה באמידת ממוצע האוכלוסייה תעלה על 5?
- (8) חוקר בנה רווח סמך לתוחלת כאשר השונות בהתפלגות ידועה ברמת סמך של 95%. אם החוקר כעת יבנה על סמך אותם נתונים רווח סמך ברמת סמך קטנה מ-95%, איזה מהמשפטים הבאים לא יהיה נכון.
- א. אורך רווח הסמך החדש יהיה קטן יותר.
  - ב. גודל המדגם יהיה כעת קטן יותר.
  - ג. המרחק בין ממוצע המדגם לקצות רווח הסמך יהיו קטנים יותר ברווח הסמך החדש.
  - ד. רמת הביטחון לבנות רווח הסמך החדש תהיה קטנה יותר.

(9) חוקר בנה רווח סמך ל- $\mu$  וקיבל:  $48 < \mu < 54$ . מה נכון בהכרח:

א.  $\mu = 51$ .

ב.  $\bar{X} = 6$ .

ג.  $\bar{X} = 51$ .

ד. אורך רווח הסמך הינו 3.

(10) איזה מהגורמים הבאים אינו משפיע על גודלו של רווח בר סמך, כאשר שונות האוכלוסייה ידועה (בחרו בתשובה הנכונה):

א. רמת הביטחון.

ב. סטיית התקן באוכלוסייה.

ג. מספר המשתתפים.

ד. סטיית התקן במדגם.

### תשובות סופיות:

(1) א. העובדים במשק. ב. שכר ב-ש. ג.  $\mu$ . ד.  $9200 < \mu < 9800$ .

ה. 0.95. ו. 600. ז. 0.05.

(2)  $4920.6 < \mu < 4979.4$

(3) א.  $223.42 < \mu < 236.58$ . ב.  $222.16 < \mu < 237.84$ .

ג. ראה סרטון.

(4) א.  $9284 < \mu < 10,116$ . ב. הסטיה המירבית בין  $\bar{x}$  ל- $\mu$  היא 416 שם בבטחון של 95%.

ג. 800. ד. לא.

(5) א. 102. ב. 3. ג. 0.9544.

(6) א.  $4.42 < \mu < 83.5$ . ב. יקטן פי 2. ג. גדל.

(7) א. 87. ב. 5. ג. 0.9544.

(8) ב'.

(9) ג'.

(10) ד'.

## קביעת גודל מדגם:

### רקע:

אם מעוניינים לאמוד את ממוצע האוכלוסייה כאשר סטיית התקן של האוכלוסייה ידועה:  $\sigma$  ברמת סמך של  $1-\alpha$  ושגיאת אמידה שלא תעלה על  $\varepsilon$  מסוים, נציב

$$.n \geq \left( \frac{z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma}{\varepsilon} \right)^2 \quad \text{בנוסחה הבאה:}$$

כדי להציב בנוסחה צריך שהמשתנה הנחקר יתפלג נורמלית או שהמדגם ייצא בגודל של לפחות 30 תצפיות.

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

חברת תעופה מעוניינת לאמוד את תוחלת משקל המטען של נוסע. נניח שמשקל מטען של נוסע מתפלג נורמאלית עם סטיית תקן של 2 ק"ג. כמה נוסעים יש לדגום אם מעוניינים שבביטחון של 98% הסטייה המרבית בין ממוצע המדגם לממוצע האמיתי לא יעלה על 0.5 ק"ג? (תשובה: 87).

## שאלות:

- (1) משתנה מקרי מתפלג נורמאלית עם סטיית תקן ידועה 12. מה צריך להיות גודל המדגם כדי לבנות רווח סמך ברמת סמך של 98% שאורכו לא יעלה על 2?
- (2) מעוניינים לאמוד את הדופק הממוצע של מתגייסים לצבא. מעוניינים שבביטחון של 95% שגיאת האמידה המרבית תהיה 0.5. נניח שהדופק מתפלג נורמאלית על סטיית תקן של 3 פעימות לדקה.
- א. כמה מתגייסים יש לדגום?
- ב. אם ניקח מדגם הגדול פי 4 מהמדגם של סעיף א ונאמוד את הממוצע באותה רמת סמך כיצד הדבר ישפיע על שגיאת האמידה?
- (3) יהי  $X$  משתנה מקרי עם ממוצע  $\mu$  וסטיית תקן  $\sigma$ . חוקר רוצה לבנות רווח בר סמך ל- $\mu$  ברמת ביטחון של 0.95, כך שהאורך של הרווח יהיה  $0.5\sigma$ . מהו גודל המדגם הנדרש?

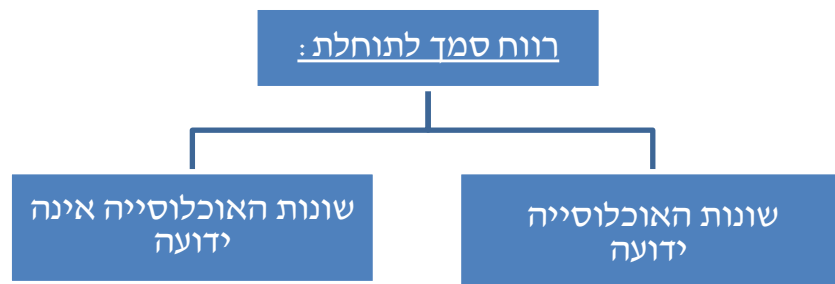
## תשובות סופיות:

- (1) 780.
- (2) א. 139. ב. הדבר יקטין את  $\varepsilon$  פי 2.
- (3)  $n = 62$ .

## רווח סמך כששונות האוכלוסייה לא ידועה:

רקע:

בבואנו לבנות רווח סמך לתוחלת אנו צריכים להתמקד בשני המצבים הבאים:

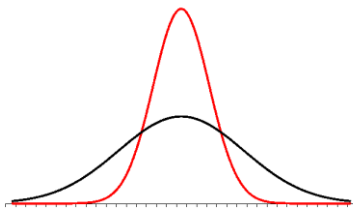


בפרק זה נעסוק במקרה ששונות האוכלוסייה  $(\sigma^2)$  אינה ידועה לנו.

מקרה יותר פרקטי.

**התנאי:**  $X \sim N$  או שהמדגם גדול.

**רווח סמך:**  $\bar{X} \pm t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n-1)} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$



$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}{n-1} \quad \text{האומד לשונות:}$$

**התפלגות T:**

הינה התפלגות סימטרית פעמונית שהתוחלת שלה היא 0. ההתפלגות דומה

להתפלגות Z רק שהיא יותר רחבה ולכן הערכים שלה יהיו יותר גבוהים.

התפלגות T תלויה במושג שנקרא דרגות חופש. דרגות החופש הן:  $df = n-1$ .

ככל שדרגות החופש עולות ההתפלגות הופכת להיות יותר גבוהה וצרה.

כשדרגות החופש שואפות לאינסוף התפלגות T שואפת להיות כמו התפלגות Z.

**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

הזמן שלוקח לפתור שאלה מסוימת בחשבון מתפלג אצל תלמידי כיתות ח' נורמאלית.

במטרה לאמוד את תוחלת זמן הפתרון נדגמו 4 תלמידים בכיתה ח'. להלן התוצאות

שהתקבלו בדקות: 4.7, 5.2, 4.6, 5.3.

בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לממוצע זמן הפתרון לשאלה בקרב תלמידי כיתה ח'.

## שאלות:

- (1) מחקר מעוניין לדעת כיצד תרופה מסוימת משפיעה על קצב פעימות הלב. ל-5 אנשים שנטלו את התרופה מדדו את הדופק והתקבל מספר פעימות לדקה: 84, 88, 84, 79, 89. הערה: לצורך פתרון הנח שקצב פעימות הלב מתפלג נורמאלית בקירוב.
- א. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לתוחלת הדופק של נוטלי התרופה הנ"ל.
- ב. נתון שהדופק הממוצע ללא לקיחת התרופה הינו 70. לאור זאת, האם בביטחון של 95% התרופה משפיעה על הדופק?
- ג. בהמשך לסעיף א', אם היינו בונים את רווח הסמך ברמת ביטחון של 99%, כיצד הדבר היה משפיע על רווח הסמך?
- (2) במדגם שנעשה על 25 מתגייסים לצבא האמריקאי התקבל כי גובה ממוצע של חייל הינו 178 ס"מ עם סטיית תקן:  $S = 13$  ס"מ.
- בנו רווח סמך ברמת סמך של 90% לתוחלת גובה המתגייסים לצבא האמריקאי. מה יש להניח לצורך פתרון?
- (3) אדם מעוניין לאמוד את זמן הנסיעה הממוצע שלו לעבודה. לצורך כך הוא דוגם 5 ימים שזמן הנסיעה בהם בדקות הוא: 30, 40, 32, 34, 27.
- א. ברמת ביטחון של 95% אמוד את זמן הנסיעה הממוצע. מהי ההנחה הדרושה לצורך פתרון?
- ב. איך גודל רווח הסמך היה משתנה אם היו דוגמים עוד ימים?
- (4) ציוני מבחן אינטליגנציה מתפלגים נורמאלית. נדגמו 25 מבחנים והתקבל ממוצע ציונים 102 וסטיית תקן מדגמית 13.
- א. בנו רווח סמך לממוצע הציונים באוכלוסייה ברמת ביטחון של 95%.
- ב. חזרו על סעיף א' אם סטיית התקן הינה סטיית התקן האמתית של כלל הנבחנים.
- ג. הסבירו את ההבדלים בין שני הסעיפים הנ"ל.
- (5) נשקלו 60 תינוקות אשר נולדו בשבוע ה-40 של ההיריון. המשקל נמדד בקילוגרמים. להלן התוצאות שהתקבלו:  $\sum_{i=1}^{60} X_i = 195$ ,  $\sum_{i=1}^{60} X_i^2 = 643.19$ .
- בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לתוחלת משקל תינוק ביום היוולדו.

- (6) נדגמו 120 אנשים אקראיים מעל גיל 50. עבור כל אדם נבדק מספר שנות השכלתו. להלן התוצאות שהתקבלו:  $\bar{x} = 13.8$ ,  $S = 2$ . בנו רווח סמך ברמת סמך של 96% לממוצע ההשכלה של אזרחים מעל גיל 50.
- (7) שני סטטיסטיקאים בנו רווח בר-סמך לאותו פרמטר  $\mu$ . לכל אחד מהסטטיסטיקאים מדגם אחר, אך באותו גודל 10. שניהם קבעו אותה רמת סמך. סטטיסטיקאי א': הניח  $\sigma = 20$ . סטטיסטיקאי ב': חישב לפי המדגם וקיבל  $S = 20$ . למי משני הסטטיסטיקאים יהיה רווח סמך ארוך יותר?
- א. סטטיסטיקאי א.  
ב. סטטיסטיקאי ב.  
ג. אותו אורך רווח סמך לשני הסטטיסטיקאים.  
ד. תלוי בתוצאות המדגם של כל סטטיסטיקאי.
- (8) נתון ש:  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$  ביצעו מדגם בגודל 16 וקיבלו סטיית תקן מדגמית 10. אורך רווח הסמך שהתקבל הוא: 8.765. מהי רמת הביטחון של רווח הסמך?

### תשובות סופיות:

- (1) א.  $79.88 < \mu < 89.72$  ב. כן. ג. הוא היה גדל.
- (2) ראה בסרטון.
- (3) א. צריך להניח שהמשתנה מתפלג נורמלית. ב. לא ניתן לדעת.
- (4) א.  $96.63 < \mu < 107.37$  ב.  $96.90 < \mu < 107.10$  ג. ראה בסרטון.
- (5)  $3.149 < \mu < 3.351$
- (6)  $13.42 < \mu < 14.18$
- (7) ב'.
- (8) 90%.

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 4 - מבוא לבדיקת השערות על פרמטרים

תוכן העניינים

|    |                |
|----|----------------|
| 19 | 1. הקדמה       |
| 23 | 2. סוגי טעויות |

## הקדמה:

### רקע:

תהליך של בדיקת השערות הוא תהליך מאד נפוץ בעולם הסטטיסטיקה. בבדיקת השערות על פרמטרים נעבוד לפי השלבים הבאים:

**שלב א:** נוהה את הפרמטר הנחקר.

**שלב ב:** נרשום את השערות המחקר.

השערת האפס המסומנות ב-  $H_0$ .

בדרך כלל השערת האפס מסמלת את אשר היה מקובל עד עכשיו, את השגרה, הנורמה.

השערה אלטרנטיבית (השערת המחקר) המסומנת ב-  $H_1$ .

ההשערה האלטרנטיבית מסמלת את החדשנות בעצם ההשערה האלטרנטיבית מדברת על הסיבה שהמחקר נעשה היא שאלת המחקר.

**שלב ג:** נבדוק האם התנאים לביצוע התהליך מתקיימים ונניח הנחות במידת הצורך.

**שלב ד:** נרשום את כלל ההכרעה. בתהליך של בדיקת השערות יוצרים כלל שנקרא כלל הכרעה. הכלל יוצר אזורי שנקראים:

1. **אזור דחייה:**

דחייה של השערת האפס כלומר קבלה של האלטרנטיבה.

2. **אזור קבלה:**

קבלה של השערת האפס ודחייה של האלטרנטיבה. כלל ההכרעה מתבסס על איזשהו סטטיסטי. אזור הדחייה מוכתב על ידי סיכון שלוקח החוקר מראש שנקרא רמת מובהקות ומסומן ב-  $\alpha$ .

**שלב ה:** בתהליך יש ללכת לתוצאות המדגם ולחשב את הסטטיסטי המתאים ולבדוק האם התוצאות נופלות באזור הדחייה או הקבלה.

**שלב ו:** להסיק מסקנה בהתאם לתוצאות המדגם.

**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

משרד הבריאות פרסם שמשקל ממוצע של תינוקות ביום לידתם בישראל 3300 גרם. משרד הבריאות רוצה לחקור את הטענה שנשים מעשנות בזמן ההיריון יולדות תינוקות במשקל נמוך מהממוצע. במחקר השתתפו 20 נשים מעשנות בהריון. להלן תוצאות המדגם שבדק את המשקל של התינוקות בעת הלידה:

$$n = 20, \bar{X} = 3120, S = 280$$

- א. מהי אוכלוסיית המחקר?
- ב. מה המשתנה הנחקר?
- ג. מה הפרמטר הנחקר?
- ד. מהן השערות המחקר?

## שאלות:

בשאלות הבאות, ענו על הסעיפים הבאים:

- א. מהי אוכלוסיית המחקר?
- ב. מה המשתנה הנחקר?
- ג. מה הפרמטר הנחקר?
- ד. מהן השערות המחקר?

- (1) ממוצע הציונים בבחינת הבגרות באנגלית הנו 72 עם סטיית תקן 15 נקודות. מורה טוען שפיתח שיטת לימוד חדשה שתעלה את ממוצע הציונים. משרד החינוך החליט לתת למורה 36 תלמידים אקראיים. ממוצע הציונים של אותם תלמידים לאחר שלמדו בשיטתו היה 75.5.
- (2) לפי הצהרת היצרן של חברת משקאות מסוימת נפח הנוזל בבקבוק מתפלג נורמלית עם תוחלת 500 סמ"ק וסטיית תקן 20 סמ"ק. אגודת הצרכנים מתלוננת על הפחתת נפח המשקה בבקבוק מהכמות המוצהרת. במדגם שעשתה אגודת הצרכנים התקבל נפח ממוצע של 492 סמ"ק במדגם בגודל 25.
- (3) במשך שנים אחוז המועמדים שהתקבל לפקולטה למשפטים היה 25%. השנה מתוך מדגם של 120 מועמדים התקבלו 22. מחקר מעוניין לבדוק האם השנה מקשים על הקבלה לפקולטה למשפטים.
- (4) בחודש ינואר השנה פורסם שאחוז האבטלה במשק הוא 8% במדגם עכשווי התקבל שמתוך 200 אנשים 6.5% מובטלים. רוצים לבדוק ברמת מובהקות של 5% האם כיום אחוז האבטלה הוא כמו בתחילת השנה.

## תשובות סופיות:

- (1) א. נבחנים בבגרות באנגלית.  
 ב. ציון.  
 ג. ממוצע הציונים בשיטת לימוד חדשה.  
 ד.  $H_0: \mu = 72$   
 $H_1: \mu > 72$
- (2) א. משקאות בבקבוק של חברה מסוימת.  
 ב. נפח משקה בסמ"ק.  
 ג. ממוצע נפח המשקה בבקבוק.  
 ד.  $H_0: \mu = 500$   
 $H_1: \mu < 500$
- (3) א. מועמדים לפקולטה למשפטים.  
 ב. משתנה דיכוטומי (התקבל, לא התקבל).  
 ג. אחוז הקבלה.  
 ד.  $H_0: p = 0.25$   
 $H_1: p < 0.25$
- (4) א. אזרחים בוגרים במשק.  
 ב. משתנה דיכוטומי (מובטל, עובד).  
 ג. אחוז האבטלה כיום.  
 ד.  $H_0: p = 0.08$   
 $H_1: p \neq 0.08$

## סוגי טעויות:

### רקע:

בתהליך של בדיקת השערות יוצרים כלל שניקרא כלל הכרעה.  
הכלל יוצר אזורים שנקראים:

1. אזור דחייה – דחייה של השערת האפס כלומר קבלה של האלטרנטיבה.
2. אזור קבלה – קבלה של השערת האפס ודחייה של האלטרנטיבה.

כלל ההכרעה מתבסס על איזשהו סטטיסטי.  
בתהליך יש ללכת לתוצאות המדגם ולבדוק האם התוצאות נופלות באזור הדחייה או הקבלה וכך להגיע למסקנה – המסקנה היא בעירבון מוגבל כיוון שהיא תלויה בכלל ההכרעה ובתוצאות המדגם. אם נשנה את כלל ההכרעה אז אנחנו יכולים לקבל מסקנה אחרת. אם נבצע מדגם חדש אז אנחנו עלולים לקבל תוצאה אחרת. לכן יתכנו טעויות במסקנות שלנו:

|  | הכרעה |             |             |
|--|-------|-------------|-------------|
|  |       | $H_0$       | $H_1$       |
|  | מצאות | $H_0$       | $H_1$       |
|  |       | אין טעות    | טעות מסוג 1 |
|  |       | טעות מסוג 2 | אין טעות    |

### הגדרת הטעויות:

טעות מסוג ראשון: להכריע לדחות את  $H_0$  למרות שבמצאות  $H_0$  נכונה.

טעות מסוג שני: להכריע לקבל את  $H_0$  למרות שבמצאות  $H_1$  נכונה.

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

אדם חשוד בביצוע עבירה ונתבע בבית המשפט.  
אילו סוגי טעויות אפשריות בהכרעת הדין?

## שאלות:

- (1) לפי הצהרת היצרן של חברת משקאות מסוימת נפח הנוזל בבקבוק מתפלג נורמלית עם תוחלת 500 סמ"ק וסטיית תקן 20 סמ"ק. אגודת הצרכנים מתלוננת על הפחתת נפח המשקה בבקבוק מהכמות המוצהרת. במדגם שעשתה אגודת הצרכנים התקבל נפח ממוצע של 492 סמ"ק במדגם בגודל 25. בסופו של דבר הוחלט להכריע לטובת חברת המשקאות.
- א. רשמו את השערות המחקר.  
 ב. מה מסקנת המחקר?  
 ג. איזו סוג טעות יתכן וביצעו במחקר?
- (2) במחקר על פרמטר מסוים הוחלט בסופו של דבר לדחות את השערת האפס.
- א. האם ניתן לדעת אם בוצע טעות במחקר?  
 ב. מה סוג הטעות האפשרית?
- (3) לפי נתוני משרד הפנים בשנת 1980 למשפחה ממוצעת היה 2.3 ילדים למשפחה עם סטיית תקן 0.4. ישנה טענה שכיום ממוצע מספר הילדים במשפחה קטן יותר. לצורך כך הוחלט לדגום 121 משפחות. במדגם התקבל ממוצע 2.17 ילדים למשפחה. על סמך תוצאות המדגם נקבע שלא ניתן לקבוע שבאופן מובהק תוחלת מספר הילדים למשפחה קטנה כיום.
- א. מהי אוכלוסיית המחקר?  
 ב. מה המשתנה הנחקר?  
 ג. מה הפרמטר הנחקר?  
 ד. מה השערות המחקר?  
 ה. מה מסקנת המחקר?  
 ו. מהי סוג הטעות האפשרית במחקר?

## תשובות סופיות:

- (1) א.  $H_0: \mu = 500$   
 ב. לא דחינו את  $H_0$ .  
 ג. טעות מסוג שני.
- (2) א. לא ניתן לדעת.  
 ב. טעות מסוג ראשון.
- (3) א. משפחות כיום.  
 ב. מס' הילדים.  
 ג. תוחלת מספר הילדים למשפחה כיום.  
 ד.  $H_0: \mu = 2.3$   
 $H_1: \mu < 2.3$   
 ה. לא לדחות את  $H_0$ . ו. טעות מסוג שני.

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

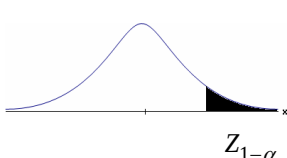
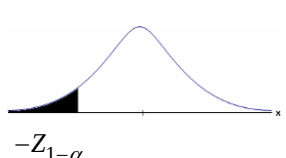
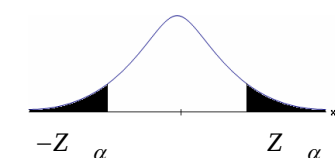
פרק 5 - בדיקת השערות על תוחלת (ממוצע)

תוכן העניינים

1. בדיקת השערות על תוחלת (ממוצע) כששונות האוכלוסיה ידועה. .... 25
2. סיכוי לטעויות ועוצמה (ששונות האוכלוסיה ידועה). .... 29
3. מובהקות תוצאה - אלפא מינימלית (ששונות האוכלוסיה ידועה) .... 35
4. בדיקת השערות על תוחלת ( ממוצע) כששונות האוכלוסיה לא ידועה. .... 40
5. מובהקות תוצאה - אלפא מינימלית (ששונות האוכלוסיה לא ידועה). .... 44
6. הקשר בין רווח סמך לבדיקת השערות על תוחלת (ממוצע). .... 47

## בדיקת השערות על תוחלת (ממוצע) כששונות האוכלוסייה ידועה:

רקע:

| השערת האפס: השערה אלטרנטיבה:       | $H_0: \mu \leq \mu_0$<br>$H_1: \mu > \mu_0$                                                                                                         | $H_0: \mu \geq \mu_0$<br>$H_1: \mu < \mu_0$                                                                                                           | $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu \neq \mu_0$                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| תנאים:                             | 1. $\sigma$ ידועה<br>2. $X \sim N$ או מדגם מספיק גדול                                                                                               |                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                       |
| כלל ההכרעה: אזור הדחייה של $H_0$ : | $Z_{\bar{x}} > Z_{1-\alpha}$ <br>$Z_{1-\alpha}$<br>דוחים את $H_0$ | $Z_{\bar{x}} < -Z_{1-\alpha}$ <br>$-Z_{1-\alpha}$<br>דוחים את $H_0$ | $Z_{\bar{x}} < -Z_{\frac{\alpha}{2}}$ או $Z_{\bar{x}} > Z_{\frac{\alpha}{2}}$ <br>$-Z_{\frac{\alpha}{2}}$ $Z_{\frac{\alpha}{2}}$<br>דוחים את $H_0$ |

$$Z_{\bar{x}} = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

סטטיסטי המבחן:

חלופה אחרת לכלל הכרעה:

|                                                                |                                                                |                                                                                                                                                        |                          |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| $\bar{X} > \mu_0 + Z_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ | $\bar{X} < \mu_0 - Z_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ | $\bar{X} > \mu_0 + Z_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$<br>או<br>$\bar{X} < \mu_0 - Z_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ | נדחה $H_0$<br>אם מתקיים: |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|

**דוגמה:**

יבול העגבניות מתפלג נורמלית עם תוחלת של 10 טון לדונם וסטיית תקן של 2.5 טון לדונם בעונה. משערים ששיטת זיבול חדשה תעלה את תוחלת היבול לעונה מבלי לשנות את סטיית התקן. נדגמו 4 חלקות שזוכלו בשיטה החדשה. היבול הממוצע שהתקבל היה 12.5 טון לדונם. בדקו את ההשערה ברמת מובהקות של 1%.

**פיתרון:**

אוכלוסייה: עגבניות.

המשתנה:  $X =$  יבול העגבניות בטון לעונה.

הפרמטר:  $\mu =$  תוחלת היבול בשיטת הזיבול החדשה.

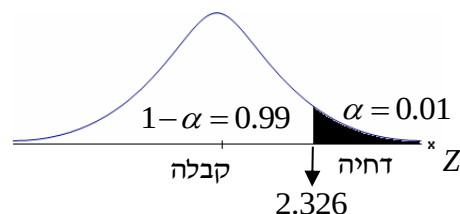
השערות:  
 $H_0: \mu = 10$   
 $H_1: \mu > 10$

תנאים:

1.  $X \sim N$

2.  $\sigma = 2.5$

כלל הכרעה:



נדחה את  $H_0$  אם  $Z_{\bar{X}} > 2.326$

תוצאות:  $n = 4$ ,  $\bar{x} = 12.5$

סטטיסטי המבחן:  $Z_{\bar{X}} = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$

נציב:  $Z_{\bar{X}} = \frac{12.5 - 10}{\frac{2.5}{\sqrt{4}}} = 2 < 2.326$

מסקנה:

לא נדחה  $H_0$  (נקבל  $H_0$ ).

ברמת מובהקות של 1% לא נוכל לקבל את הטענה ששיטת הזיבול החדשה מעלה את תוחלת היבול של העגבניות.

## שאלות:

- (1) ממוצע הציונים בבחינת הבגרות באנגלית הנו 72 עם סטיית תקן 15 נקודות. מורה טוען שפיתח שיטת לימוד חדשה שתעלה את ממוצע הציונים. משרד החינוך החליט לתת למורה 36 תלמידים אקראיים. ממוצע הציונים של אותם תלמידים לאחר שלמדו בשיטתו היה 75.5. בהנחה שגם בשיטתו סטיית התקן תהיה 15 מה מסקנתכם ברמת מובהקות של 5%?
- (2) לפי הצהרת היצרן של חברת משקאות מסוימת נפח הנוזל בבקבוק מתפלג נורמלית עם תוחלת 500 סמ"ק וסטיית תקן 20 סמ"ק. אגודת הצרכנים מתלוננת על הפחתת נפח המשקה בבקבוק מהכמות המוצהרת. במדגם שעשתה אגודת הצרכנים התקבל נפח ממוצע של 492 סמ"ק במדגם בגודל 25.
  - א. מה מסקנתכם ברמת מובהקות של 2.5%?
  - ב. האם ניתן לדעת מה תהיה המסקנה עבור רמת מובהקות הגבוהה מ-5%?
- (3) מהנדס האיכות מעוניין לבדוק אם מכונה מכיילת (מאופסת). המכונה כוונה לחתוך מוטות באורך 50 ס"מ. לפי נתוני היצרן סטיית התקן בחיתוך המוטות היא 0.5 ס"מ. במדגם של 50 מוטות התקבל ממוצע אורך המוט 50.93 ס"מ. מה מסקנתכם ברמת מובהקות של 5%?
- (4) המשקל הממוצע של הספורטאים בתחום ספורט מסוים הוא 90 ק"ג, עם סטיית תקן 8 ק"ג. לפי דעת מומחים בתחום יש צורך בהורדת המשקל ובשימוש בדיאטה מסוימת שצריכה להביא להורדת המשקל. לשם בדיקת יעילות הדיאטה נלקח מדגם מקרי של 50 ספורטאים ובתום שנה של שימוש בדיאטה התברר שהמשקל הממוצע במדגם זה היה 84 ק"ג. יש לבדוק בר"מ של 10%, האם הדיאטה גורמת להורדת המשקל.
- (5) לפי מפרט נתון, על עובי בורג להיות 4 מ"מ עם סטיית תקן של 0.2 מ"מ. במדגם של 25 ברגים העובי הממוצע היה 4.07 מ"מ. קבעו ברמת מובהקות 0.05, האם עובי הברגים מתאים למפרט. הניחו כי עובי של בורג מתפלג נורמלית וסטיית התקן של עובי בורג היא אכן 0.2 מ"מ.
- (6) במחקר נמצא שתוצאה היא מובהקת ברמת מובהקות של 5% מה תמיד נכון? בחרו בתשובה הנכונה.
  - א. הגדלת רמת המובהקות לא תשנה את מסקנת המחקר.
  - ב. הגדלת רמת המובהקות תשנה את מסקנת המחקר.
  - ג. הקטנת רמת המובהקות לא תשנה את מסקנת המחקר.
  - ד. הקטנת רמת המובהקות תשנה את מסקנת המחקר.

(7) חוקר ערך מבחן דו צדדי ברמת מובהקות של  $\alpha$  והחליט לדחות את השערת האפס.

אם החוקר היה עורך מבחן צדדי ברמת מובהקות של  $\frac{\alpha}{2}$  אזי בהכרח:

- א. השערת האפס הייתה נדחית.
- ב. השערת האפס הייתה לא נדחית.
- ג. לא ניתן לדעת מה תהיה מסקנתו במקרה זה.

(8) שני סטטיסטיקאים בדקו השערות:  $H_0: \mu = \mu_0$  כנגד  $H_1: \mu > \mu_0$ ,

עבור שונות ידועה ובאותה רמת מובהקות.

שני החוקרים קבלו אותו ממוצע במדגם אך לחוקר א' היה מדגם בגודל 100 ולחוקר ב' מדגם בגודל 200.

- א. אם חוקר א' החליט לדחות את  $H_0$ , מה יחליט חוקר ב'? נמקו.
- ב. אם חוקר א' יחליט לא לדחות את  $H_0$ , מה יחליט חוקר ב'? נמקו.

### תשובות סופיות:

- (1) נקבל  $H_0$ , בר"מ של 5% לא נקבל את הטענה של המורה ששיטת הלימוד שלו מעלה את ממוצע הציונים.
- (2) א. נדחה  $H_0$ , בר"מ של 2.5% נקבל את תלונת אגודת הצרכנים בדבר הפחתת נפח המשקה בבקבוק.  
ב. הגדלנו את רמת המובהקות לכן אנחנו נשארים בדחייה של  $H_0$  והמסקנה לא תשתנה.
- (3) נדחה  $H_0$ , בר"מ של 5% נקבע שהמכונה לא מאופסת.
- (4) נדחה  $H_0$ , בר"מ של 0.1 נקבל את הטענה שהדיאטה יעילה ומפחיתה את המשקל הממוצע.
- (5) נקבל  $H_0$ , בר"מ של 0.05 נכריע שתוחלת עובי הבורג מתים למפרט.
- (6) א'.
- (7) ג'.
- (8) א. לדחות. ב. לא ניתן לדעת.

## סיכוי לטעויות ועוצמה (ששונות האוכלוסייה ידועה):

רקע:

| מציאות | הכרעה |             |             |
|--------|-------|-------------|-------------|
|        |       | $H_0$       | $H_1$       |
|        | $H_0$ | אין טעות 1  | טעות מסוג 1 |
|        | $H_1$ | טעות מסוג 2 | אין טעות    |

הגדרת הסתברויות:

הסיכוי לבצע טעות מסוג 1 (רמת מובהקות):

$$\alpha = P(H_0 \text{ נכונה} \mid \text{לדחות את } H_0) = P_{H_0}(H_0 \text{ לדחות})$$

הסיכוי לבצע טעות מסוג 2:

$$\beta = P(H_0 \text{ לקבל את } H_0 \mid \text{לדחות את } H_0) = P_{H_1}(H_0 \text{ לקבל})$$

רמת בטחון:

$$(\alpha - 1) = P(H_0 \text{ לקבל את } H_0 \mid \text{לדחות את } H_0) = P_{H_0}(H_0 \text{ לקבל})$$

עוצמה:

$$(\beta - 1) = \pi = P(H_0 \text{ לדחות את } H_0 \mid \text{לדחות את } H_0) = P_{H_1}(H_0 \text{ לדחות})$$

## התהליך לחישוב סיכוי לטעות מסוג שני:

| השערת האפס:<br>השערה אלטרנטיבה:       | $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu > \mu_0$                                                | $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu < \mu_0$                                                | $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu \neq \mu_0$                                                                                                                      |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| תנאים:                                | 1. $\sigma$ ידועה<br>2. $X \sim N$ או מדגם מספיק גדול                                   |                                                                                         |                                                                                                                                                                  |
| כלל ההכרעה:<br>אזור הדחייה של $H_0$ : | $\bar{X} > \mu_0 + Z_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$                          | $\bar{X} < \mu_0 - Z_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$                          | $\bar{X} > \mu_0 + Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$<br>או<br>$\bar{X} < \mu_0 - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$       |
| חישוב $\beta$ :                       | $P_{\mu_1} \left( \bar{X} < \mu_0 + Z_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$ | $P_{\mu_1} \left( \bar{X} > \mu_0 - Z_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$ | $P_{\mu_1} \left( \mu_0 - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \bar{X} < \mu_0 + Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$ |

התפלגות ממוצע המדגם:  $\bar{X} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

התקנון:

דוגמה:

בתחילת השנה חשבון הטלפון הסלולארי הממוצע לאדם היה 200 ₪ עם סטיית תקן של 80 ₪ לחודש. בעקבות כניסתן של חברות טלפון סלולארית חדשות מעוניינים לבדוק האם כיום ממוצע חשבון הטלפון הסלולארי פחת. לצורך בדיקה דגמו באקראי 36 אנשים וחשבון הטלפון הסלולארי שלהם היה 150 ₪ בממוצע לחודש.

א. רשמו את השערות המחקר ובנו כלל הכרעה במונחי חשבון ממוצע מדגמי ברמת מובהקות של 5%.

ב. מה מסקנתכם? איזה סוג טעות אפשרית במסקנה?

ג. נניח שבמציאות כיום החשבון הממוצע הוא 160 ₪. מה הסיכוי לבצע טעות מסוג שני?

ד. אם נקטין את רמת המובהקות מסעיף א', כיצד הדבר ישפיע על התשובה מסעיף ג'?

## פתרון:

א. אוכלוסייה: משלמי חשבון טלפון סלולאר כיום.

המשתנה:  $X$  = חשבון הטלפון החודשי בשקלים.

הפרמטר:  $\mu$ .

השערות:  
 $H_0: \mu = 200$   
 $H_1: \mu < 200$

תנאים:

1.  $\mu = 200$ .

2.  $n = 36$ .

$$\bar{X} < \mu_0 - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, K = \mu_0 - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\alpha = 0.05$$

$$Z_{1-\alpha} = Z_{0.95} = 1.645$$

$$K = 200 - 1.645 \cdot \frac{80}{\sqrt{36}} = 178.07 \text{ שקלים נציב:}$$

כלל ההכרעה: דחה את  $H_0$  אם שקלים  $\bar{X} < 178.07$ .

ב. ברמת מובהקות של 5% נכריע שאכן ממוצע חשבון הטלפון הסלולרי פחת מתחילת השנה.

ג. השערות:  
 $H_0: \mu_0 = 200$   
 $H_1: \mu < 200$

כלל ההכרעה: נדחה את  $H_0$  אם  $\bar{X} < 178.07$ .

$$H_1: \bar{X} \sim N\left(160, \frac{80^2}{36}\right)$$

$$Z = \frac{178.07 - 160}{\frac{80}{\sqrt{36}}} = 1.36$$

$$\beta = P_{H_1} \left( \overset{\text{לקבל את}}{H_0} \right) = P_{H_1} (\bar{X} > 178.07) = 1 - \phi(136) = 1 - 0.9131 = 0.0869$$

ד. הקטנת  $\alpha$  מגדילה את  $\beta$ .

## שאלות:

(1) נתון ש:  $X \sim N(\mu, \sigma^2 = 1)$ .

- להלן השערות של חוקר לגבי הפרמטר  $\mu$ :  $H_0: \mu = 5$ ,  $H_1: \mu = 7$ .  
 מעוניינים ליצור כלל הכרעה המתבסס על הסמך תצפית בודדת כך שרמת המובהקות תהיה 5%.  
 א. עבור אילו ערכים של  $X$  שידגם נדחית השערת  $H_0$ ?  
 ב. מה הסיכוי לבצע טעות מסוג שני?  
 ג. אם במדגם התקבל ש- $X = 6.9$  מה תהיה המסקנה ומה הטעות האפשרית?

- (2) לפי נתוני משרד הפנים בשנת 1980 למשפחה ממוצעת היה 2.3 ילדים למשפחה עם סטיית תקן 0.4. מעוניינים לבדוק אם כיום ממוצע מספר הילדים למשפחה קטן יותר. לצורך כך הוחלט לדגום 121 משפחות. במדגם התקבל ממוצע 2.17 ילדים למשפחה.  
 א. רשמו כלל הכרעה במונחי ממוצע מדגם קריטי ברמת מובהקות של 5%.  
 ב. בהמשך לסעיף א' מה תהיה המסקנה ומהי הטעות האפשרית במסקנה?  
 ג. אם באמת ממוצע מספר הילדים במשפחה פחת לכדי 2.1 מהי העצמה של הכלל מסעיף א'?

- (3) להלן נתונים על תהליך של בדיקת השערות על תוחלת:

$$H_0: \mu = 200, H_1: \mu \neq 200, \sigma = 30, n = 225$$

- א. רשמו כלל הכרעה במונחי ממוצע מדגם קריטי וברמת מובהקות של 10%.  
 ב. בהמשך לסעיף א', מהי העצמה אם התוחלת שווה ל-195?  
 ג. הסבירו, ללא חישוב, איך העצמה תשתנה אם רמת המובהקות תהיה 5%?

- (4) מפעל לייצור צינורות מייצר צינור שקוטרו מתפלג נורמלית עם תוחלת של 50 מ"מ וסטית תקן של 6 מ"מ. במחלקת ביקורת האיכות דוגמים בכל יום 81 צינורות ומוודדים את קוטרים, בכדי לבדוק, בעזרת מבחן סטטיסטי, האם מכונת הייצור מכוילת כנדרש או שקוטר הצינורות קטן מהדרוש.  
 א. רשמו את ההשערות ואת כלל ההכרעה ברמת מובהקות של 5%.  
 ב. אם ביום כלשהו מכונת הייצור התקלקלה והיא מייצרת את הצינורות בקוטר שתוחלתו 48 מ"מ בלבד (סטית התקן לא השתנתה), מה ההסתברות שהתקלה לא תתגלה בביקורת האיכות? כיצד נקראת הסתברות זו?  
 ג. הסבירו ללא חישוב כיצד התשובה לסעיף ב תשתנה אם רמת המובהקות תגדל.  
 ד. הסבירו ללא חישוב כיצד התשובה לסעיף ב תשתנה אם התוחלת האמיתית היא 47 ולא 48 מ"מ.

- (5) להלן השערות של מחקר:  $H_0: \mu = 50$ ,  $H_1: \mu = 58$ . מעוניינים לדגום 100 תצפיות. ידוע שסטיית התקן של ההתפלגות הינה 20.
- א. בנו כלל הכרעה שהסיכוי לטעות מסוג שני בו הוא 10%. מהי רמת המובהקות?
- ב. כיצד הייתה משתנה רמת המובהקות אם (כל סעיף בפני עצמו)?
- i. סטיית התקן הייתה יותר גדולה.
- ii. הסיכוי לטעות מסוג שני גדול יותר.

### השאלות שלהלן הן שאלות רב-ברירה, בחרו בתשובה הנכונה ביותר:

- (6) אם חוקר החליט להגדיל את רמת המובהקות במחקר שלו אזי:
- א. הסיכוי לטעות מסוג ראשון גדל.
- ב. העוצמה של המבחן גדלה.
- ג. הסיכוי לטעות מסוג שני גדל.
- ד. תשובות א' ו-ב' נכונות.
- (7) חוקר ביצע מחקר ובו עשה טעות מסוג שני לכן:
- א. השערת האפס נכונה.
- ב. השערת האפס נדחתה.
- ג. השערת האפס לא נדחתה.
- ד. אף אחת מהתשובות לא נכונה בהכרח.

- (8) מה המצב הרצוי לחוקר המבצע בדיקת השערה:

| $1 - \beta$ | $\alpha$ |
|-------------|----------|
| גדולה       | א. גדולה |
| קטנה        | ב. גדולה |
| גדולה       | ג. קטנה  |
| קטנה        | ד. קטנה  |

- (9) נערך שינוי בכלל ההחלטה של בדיקת השערה מסוימת ובעקבותיו אזור דחיית  $H_0$  קטן. כל שאר הגורמים נשארו ללא שינוי. כתוצאה מכך:
- א. הן  $\alpha$ , והן  $1 - \beta$ , יקטנו.
- ב.  $\alpha$  יישאר ללא שינוי ואילו  $1 - \beta$  יגדל.
- ג.  $\alpha$  יגדל ואילו  $1 - \beta$  יקטן.
- ד. הן  $\alpha$  והן  $1 - \beta$  יגדלו.

- (10) ידוע כי לחץ דם תקין באוכלוסייה הוא 120. רופא מניח שלחץ הדם בקרב עיתונאים גבוה יותר מהממוצע באוכלוסייה. הוא לקח מדגם של 60 עיתונאים וקיבל ממוצע 137. על סמך המדגם, הוא בודק טענתו ברמת מובהקות 0.02 ומסיק שלחץ הדם בקרב העיתונאים אינו גבוה יותר. מה הטעות האפשרית שהרופא עושה?
- טעות מסוג ראשון.
  - טעות מסוג שני.
  - טעות מסוג שלישי.
  - אין טעות במסקנתו.

### תשובות סופיות:

- (1) א. מעל 6.645. ב. 0.3594.  
ג. דחינו את  $H_0$ , תתכן טעות מסוג ראשון.
- (2) א. נדחה  $H_0$  אם  $\bar{X} < 2.24$ . ב. נדחה  $H_0$  ג. 1.
- (3) א. נדחה  $H_0$  אם  $\bar{X} > 203.29$  או  $\bar{X} < 196.71$ . ב. 0.8051. ג. תקטן.
- (4) א. נדחה  $H_0$  אם  $\bar{X} < 48.9$ . ב. 0.0885. ג. תקטן. ד. תקטן.
- (5) א. 0.0033. ב. i. רמת המובהקות הייתה קטנה.  
ב. ii. רמת המובהקות הייתה גדלה.
- (6) ד'.
- (7) ג'.
- (8) ג'.
- (9) א'.
- (10) ב'.

## מובהקות תוצאה – אלפא מינימלית (ששונות האוכלוסייה ידועה):

### רקע:

דרך נוספת להגיע להכרעות שלא דרך כלל הכרעה, היא דרך חישוב מובהקות התוצאה:

באמצעות תוצאות המדגם מחשבים את מובהקות התוצאה שמסומן ב- $p_v$ . את רמת המובהקות החוקר קובע מראש לעומת זאת, את מובהקות התוצאה החוקר יוכל לחשב רק אחרי שיהיו לו את התוצאות.

המסקנה של המחקר תקבע לפי העיקרון הבא: אם  $p_v \leq \alpha$ , דוחים את  $H_0$ . מובהקות התוצאה זה הסיכוי לקבלת תוצאות המדגם וקיצוני מתוצאות אלה בהנחת השערת האפס.

(לקבל את תוצאות המדגם וקיצוני)  $p_v = P_{H_0}$ .

אם ההשערה היא דו צדדית:

(לקבל את תוצאות המדגם וקיצוני)  $p_v = 2P_{H_0}$ .

מובהקות התוצאה היא גם האלפא המינימלית לדחיית השערת האפס.

| השערת האפס:<br>השערה אלטרנטיבה:          |                                          | $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu \neq \mu_0$                                                                                                    |  |
|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu > \mu_0$ | $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu < \mu_0$ | $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu \neq \mu_0$                                                                                                    |  |
| 1. $\sigma$ ידועה                        |                                          | תנאים:                                                                                                                                         |  |
| 2. $X \sim N$ או מדגם מספיק גדול         |                                          | p-value                                                                                                                                        |  |
| $P_{H_0}(\bar{X} \geq \bar{x})$          | $P_{H_0}(\bar{X} \leq \bar{x})$          | אם $2 \cdot P_{H_0}(\bar{X} \geq \bar{x}) \Leftarrow \bar{x} > \mu_0$<br>אם $2 \cdot P_{H_0}(\bar{X} \leq \bar{x}) \Leftarrow \bar{x} < \mu_0$ |  |

כאשר בהנחת השערת האפס:  $Z_{\bar{x}} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$ ,  $\bar{X} \sim N\left(\mu_0, \frac{\sigma^2}{n}\right)$

**דוגמה:**

המשקל הממוצע של מתגייסים לצבא לפני 20 שנה היה 65 ק"ג. מחקר מעוניין לבדוק האם כיום המשקל הממוצע של מתגייסים גבוה יותר. נניח שמשקל המתגייסים מתפלג נורמאלי עם סטיית תקן של 12 ק"ג. במדגם של 16 מתגייסים התקבל משקל ממוצע של 71 ק"ג.

א. מהי מובהקות התוצאה?

ב. מה המסקנה אם רמת המובהקות היא 5% ואם רמת המובהקות היא 1%?

**פתרון:**

א. אוכלוסייה: המתגייסים לצבא כיום.

משתנה:  $X$  = משקל בק"ג.

פרמטר:  $\mu$ .

השערות:  
 $H_0: \mu = 65$   
 $H_1: \mu > 65$

תנאים:

1.  $X \sim N$ .

2.  $\sigma = 12$ .

תוצאות מדגם:

$$n = 16$$

$$\bar{X} = 71$$

$$P_V = P_{H_0} \left( \begin{array}{c} \text{לתוצאות} \\ \text{המדגם} \\ \text{וקיצוני} \end{array} \right) = P_{H_0} (\bar{X} \geq 71) = 1 - \phi(2) = 1 - 0.9772 = 0.0228$$

$$Z_{\bar{x}} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} = \frac{71 - 65}{\frac{12}{\sqrt{16}}} = 2$$

$$\alpha_{\min} = 0.0228$$

## שאלות:

- (1) להלן השערות של מחקר:  $H_0: \mu = 70$ ,  $H_1: \mu > 70$ . המשתנה הנחקר מתפלג נורמלית עם סטיית תקן 20. במדגם מאותה אוכלוסייה התקבלו התוצאות הבאות:  $n = 100$ ,  $\bar{x} = 74$ . מהי מובהקות התוצאה?
- (2) השכר הממוצע במשק בשנת 2012 היה 8800 ₪ עם סטיית תקן 2000. במדגם שנעשה אתמול על 100 עובדים התקבל שכר ממוצע 9500 ₪. מטרת המחקר היא לבדוק האם כיום חלה עליה בשכר. עבור אילו רמות מובהקות שיבחר החוקר יוחלט שחלה עליה בשכר הממוצע במשק?
- (3) אדם חושד שחברת ממתקים לא עומדת בהתחייבויותיה, ומשקלו של חטיף מסוים אותו הוא קונה מדי בוקר נמוך מ-100 גרם. חברת הממתקים טוענת מצידה שהיא אכן עומדת בהתחייבויותיה. ידוע כי סטיית התקן של משקל החטיף היא 12 גרם. האדם מתכוון לשקול 100 חפיסות חטיפים ולאחר מכן להגיע להחלטה. לאחר הבדיקה הוא קיבל משקל הממוצע של 98.5 גרם.
  - א. רשמו את השערות המחקר.
  - ב. מהי רמת המובהקות המינימלית עבורה דוחים את השערת האפס?
  - ג. מהי רמת המובהקות המקסימלית עבורה נקבל את השערת האפס?
  - ד. מה המסקנה ברמת מובהקות של 5%?
- (4) מכונה לחיתוך מוטות במפעל חותכת מוטות באורך שמתפלג נורמלית עם תוחלת אליה כוונה המכונה וסטיית תקן 2 ס"מ. ביום מסוים כוונה המכונה לחתוך מוטות באורך 80 ס"מ. אחראי האיכות מעוניין לבדוק האם המכונה מכוילת. לצורך כך נדגמו מקו הייצור 16 מוטות שנחתכו אורכן הממוצע היה 81.7 ס"מ.
  - א. מהי רמת המובהקות המינימלית עבורה נכריע שהמכונה לא מכוילת?
  - ב. אם נוסיף עוד תצפית שערכה יהיה 82 ס"מ, כיצד הדבר ישפיע על התשובה של הסעיף הקודם?
  - ג. הכרע ברמת מובהקות של 5% האם המכונה מכוילת.
- (5) אם מקבלים בחישובים אלפא מינימלית (P value) קטנה מאד, סביר להניח כי החוקר ידחה את השערת האפס בקלות. נכון/לא נכון? נמק.

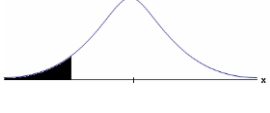
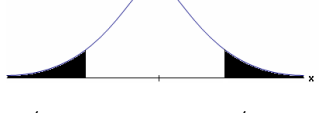
- (6) בבדיקת השערות התקבל שה-  $p\text{-value} = 0.02$ .  
מה תהיה מסקנת חוקר המשתמש ברמת מובהקות 1%?  
בחרו בתשובה הנכונה.
- א. יקבל את השערת האפס בכל מקרה.
  - ב. ידחה את השערת האפס מקרה.
  - ג. ידחה את השערת האפס רק אם המבחן הנו דו צדדי.
  - ד. לא ניתן לדעת כי אין מספיק נתונים.
- (7) מובהקות התוצאה (PV) היא גם (בחרו בתשובה הנכונה):
- א. רמת המובהקות המינימאלית לדחות השערת האפס.
  - ב. רמת המובהקות המקסימאלית לדחיית השערת האפס.
  - ג. רמת המובהקות שנקבעת מראש על ידי החוקר שטרם קיבל את תוצאות המחקר.
  - ד. רמת המובהקות המינימאלית לאי דחיית השערת האפס.
- (8) בבדיקת השערות מסוימת התקבל:  $p\text{ value} = 0.0254$  לכן (בחרו בתשובה הנכונה):
- א. ברמת מובהקות של 0.01 אך לא של 0.05 נדחה את  $H_0$ .
  - ב. ברמת מובהקות של 0.01 ושל 0.05 לא נדחה את  $H_0$ .
  - ג. ברמת מובהקות של 0.05 אך לא של 0.01 נדחה את  $H_0$ .
  - ד. ברמת מובהקות של 0.01 ושל 0.05 נדחה את  $H_0$ .

## תשובות סופיות:

- (1) 0.0228.
- (2) עבור כל רמת מובהקות סבירה.
- (3) א.  $H_0: \mu = 100$   
 $H_1: \mu < 100$   
 ב. 0.1056 ג. 0.1056.
- ד. נכריע שיש עמידה בהתחייבות של החברה.
- (4) א. 0.0006 ב. יקטן. ג. נכריע שאין כיול.
- (5) נכון.
- (6) א'.
- (7) א'.
- (8) ג'.

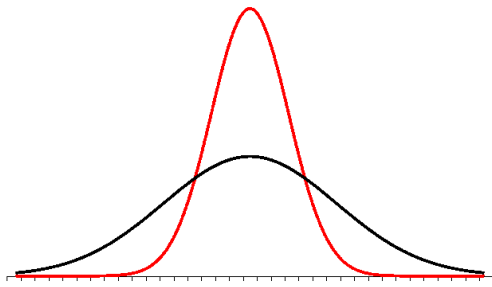
## בדיקת השערות על תוחלת (ממוצע) כששונות האוכלוסייה לא ידועה:

רקע:

| השערת האפס:<br>השערה<br>אלטרנטיבה:               | $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu > \mu_0$                                                                                                                              | $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu < \mu_0$                                                                                                                                | $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu \neq \mu_0$                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| תנאים:                                           | 1. $\sigma$ אינה ידועה<br>2. $X \sim N$ או מדגם מספיק גדול                                                                                                            |                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| כלל ההכרעה:<br>אזור הדחייה<br>של $H_0$ :         | $t_{\bar{x}} > t_{1-\alpha}^{(n-1)}$<br><br>$t_{1-\alpha, n-1}$<br>- דוחים את $H_0$ | $t_{\bar{x}} < -t_{1-\alpha}^{(n-1)}$<br><br>$-t_{1-\alpha, n-1}$<br>- דוחים את $H_0$ | $t_{\bar{x}} < -t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n-1)}$ או $t_{\bar{x}} > t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n-1)}$<br><br>$-t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}$ $t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}$<br>- דוחים את $H_0$ |
| חלופה לכלל<br>הכרעה:<br>נדחה $H_0$ אם<br>מתקיים: | $\bar{X} > \mu_0 + t_{1-\alpha}^{n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$                                                                                                       | $\bar{X} < \mu_0 - t_{1-\alpha}^{n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$                                                                                                         | $\bar{X} > \mu_0 + t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$<br>או<br>$\bar{X} < \mu_0 - t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$                                                                                                                 |

$$. t_{\bar{x}} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} : \text{סטטיסטי המבחן}$$

$$. S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}{n-1}$$



### התפלגות T:

הינה התפלגות סימטרית פעמונית שהתוחלת שלה היא 0. ההתפלגות דומה להתפלגות Z רק שהיא יותר רחבה ולכן הערכים שלה יהיו יותר גבוהים. התפלגות T תלויה במושג שנקרא דרגות חופש.

דרגות החופש הן:  $df = n - 1$ .

ככל שדרגות החופש עולות ההתפלגות הופכת להיות יותר גבוהה וצרה. כשדרגות החופש שואפות לאינסוף התפלגות T שואפת להיות כמו התפלגות Z.

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

מפעל קיבל הזמנה לייצור משטחים בעובי של 0.1 ס"מ. כדי לבדוק האם המפעל עומד בדרישה נדגמו 10 משטחים ונמצא שהעובי הממוצע הוא 0.104 עם אומדן לסטיית תקן 0.002 ס"מ.

א. מהן השערות המחקר?

ב. מה ההנחה הדרושה לצורך פתרון?

ג. בדוק ברמת מובהקות של 5%.

## שאלות:

(1) משך זמן ההחלמה בלקיחת אנטיביוטיקה מסוימת הוא 120 שעות בממוצע עם סטיית תקן לא ידועה. מעוניינים לבדוק האם אנטיביוטיקה אחרת מקטינה את משך זמן ההחלמה. במדגם של 5 חולים שלקחו את האנטיביוטיקה האחרת התקבלו זמני ההחלמה הבאים: 90, 95, 100, 80, 125 שעות. מה מסקנתכם ברמת מובהקות של 5%. מהי ההנחה הדרושה לצורך הפתרון?

(2) משרד הבריאות פרסם שמשקל ממוצע של תינוקות ביום היוולדם בישראל 3300 גר'. משרד הבריאות רוצה לחקור את הטענה שנשים מעשנות בזמן ההיריון יולדות תינוקות במשקל נמוך מהממוצע. במחקר השתתפו 20 נשים מעשנות בהריון. להלן תוצאות המדגם שבדק את המשקל של התינוקות בעת הלידה:

$$n = 20$$

$$\bar{x} = 3120$$

$$S = 280$$

מה מסקנתכם ברמת מובהקות של 5% מה יש להניח לצורך פתרון?

(3) ציוני מבחן אינטליגנציה מתפלגים נורמלית. בארה"ב ממוצע הציונים הוא 100. במדגם שנעשה על 23 נבחנים ישראלים, התקבל ממוצע ציונים 104.5 וסטיית התקן המדגמית 16. האם בישראל ממוצע הציונים שונה מארה"ב? הסיקו ברמת מובהקות של 5%.

(4) באוכלוסייה מסוימת נדגמו 10 תצפיות והתקבלו התוצאות הבאות:

$$\sum_{i=1}^{10} X_i = 750$$

$$\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2 = 900$$

נתון שההתפלגות היא נורמלית.

בדוק ברמת מובהקות של 5% האם התוחלת של ההתפלגות שונה מ-80.

- (5) ליאור ורוני העלו את אותן השערות על ממוצע האוכלוסייה. כמו כן הם התבססו על אותן תוצאות של מדגם. ליאור השתמש בטבלה של התפלגות  $Z$ . רוני השתמשה בטבלה של התפלגות  $t$ . מה נוכל לומר בנוגע להחלטת המחקר שלהם? בחר בתשובה הנכונה.
- אם ליאור ידחה את השערת האפס אז גם בהכרח רוני.
  - אם רוני תדחה את השערת האפס אז גם בהכרח ליאור.
  - שני החוקרים בהכרח יגיעו לאותה מסקנה.
  - לא ניתן לדעת על היחס בין דחיית השערת האפס של שני החוקרים.

- (6) נתון ש:  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$  כמו כן נתונות ההשערות הבאות:  $H_0: \mu = \mu_0$  .  $H_1: \mu < \mu_0$  . חוקר בדק את ההשערות הללו על סמך מדגם שכלל 10 תצפיות.  $\sigma^2$  לא הייתה ידועה לחוקר. החוקר החליט לדחות את השערת האפס ברמת מובהקות של 5% לאחר מכן כדי לחזק את קביעתו הוא דגם עוד 5 תצפיות ושקלל את תוצאות אלה גם למדגם כך שכלל עכשיו 15 תצפיות. בחר בתשובה הנכונה:
- א. כעת בברור הוא ידחה את השערת האפס.
  - ב. כעת הוא דווקא יקבל את השערת האפס.
  - ג. כעת לא ניתן לדעת מה תהיה מסקנתו.

### תשובות סופיות:

- (1) נדחה  $H_0$ .
- (2) נדחה  $H_0$ .
- (3) נקבל  $H_0$ .
- (4) נקבל  $H_0$ .
- (5) ב'.
- (6) ג'.

## מובהקות תוצאה – אלפא מינימלית (ששונות האוכלוסייה לא ידועה):

### רקע:

נזכיר שהמסקנה של המחקר תיקבע לפי העיקרון הבא: אם  $p_v \leq \alpha$  דוחים את  $H_0$ . מובהקות התוצאה היא הסיכוי לקבלת תוצאות המדגם וקיצוני מתוצאות אלה בהנחת השערת האפס.

(לקבל את תוצאות המדגם וקיצוני)  $p_v = P_{H_0}$ .

אם ההשערה היא דו צדדית:

(לקבל את תוצאות המדגם וקיצוני)  $p_v = 2P_{H_0}$ .

מובהקות התוצאה היא גם האלפא המינימלית לדחיית השערת האפס.

| השערת האפס:<br>השערה אלטרנטיבה: |  | $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu \neq \mu_0$                                                                                                    | $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu < \mu_0$ | $H_0: \mu = \mu_0$<br>$H_1: \mu > \mu_0$ |
|---------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
| תנאים:                          |  | 1. אינה ידועה<br>או<br>2. מדגם מספיק גדול $X \sim N$                                                                                           |                                          |                                          |
| p-value                         |  | אם $2 \cdot P_{H_0}(\bar{X} \geq \bar{x}) \Leftarrow \bar{x} > \mu_0$<br>אם $2 \cdot P_{H_0}(\bar{X} \leq \bar{x}) \Leftarrow \bar{x} < \mu_0$ | $P_{H_0}(\bar{X} \leq \bar{x})$          | $P_{H_0}(\bar{X} \geq \bar{x})$          |

$$t_{\bar{x}} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}{n-1}$$

$$d.f = n-1$$

**דוגמה:**

ממוצע זמן הנסיעה של אדם לעבודה הינו 40 דקות. הוא מעוניין לבדוק דרך חלופית שאמורה להיות יותר מהירה. לצורך כך הוא דוגם 5 ימים שבהם הוא נוסע בדרך החלופית. זמני הנסיעה שקיבל בדקות הם: 34, 40, 30, 32, 27. הניחו שזמן הנסיעה מתפלג נורמלי.

- א. רשמו את השערות המחקר.
- ב. מצאו חסמים למובהקות התוצאה.
- ג. מה המסקנה ברמת מובהקות של 5%?

**פתרון:**

אוכלוסייה: כלל הנסיעות לעבודה בדרך החלופית.

משתנה:  $X$  = זמן נסיעה בדקות.

תנאים:  $X \sim N$ .

פרמטר:  $\mu$ .

א. השערות:  
 $H_0: \mu = 40$   
 $H_1: \mu < 40$

ב. תוצאות המדגם:

$$n = 5, \bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{34 + 40 + \dots}{5} = 32.6$$

$$S^2 = \frac{\sum X_i^2 - n \cdot \bar{X}^2}{n-1} = \frac{34^2 + 40^2 - \dots - 5 \cdot 32.6^2}{5-1} = 23.4$$

$$S = \sqrt{23.4}$$

$$t_{\bar{X}} = \frac{\frac{\bar{X} - \mu_0}{S}}{\frac{1}{\sqrt{n}}} = \frac{32.6 - 40}{\frac{4.88}{\sqrt{5}}} = -3.39$$

$$P_V = P_{H_0} = ( \bar{X} \leq 32.6 ) = P(t \leq -3.39)$$

$$d.f = 5 - 1 = 4$$

$$1\% < P_V < 2.5\%$$

$P_V < \alpha = 0.05$ , לכן דוחים את  $H_0$ .

מסקנה: בר"מ של 5% נכריע שהדרך החלופית מהירה יותר.

## שאלות:

(1) קו ייצור אריזות סוכר נארזות כך שהמשקל הממוצע של אריזות הסוכר צריך להיות אחד קילוגרם. בכל יום דוגמים מקו הייצור 5 אריזות במטרה לבדוק האם קו הייצור תקין. בבדיקה דגמו 5 אריזות סוכר ולהלן משקלן בגרמים: 1024, 1008, 1005, 996, 997.

א. רשמו את השערות המחקר.

ב. מהי מובהקות התוצאה? הצג חסמים.

ג. מה המסקנה ברמת מובהקות של 5%?

(2) חוקר בדק את הטענה כי פועלים העובדים במשמרת לילה איטיים יותר מפועלים העובדים ביום. ידוע כי משך הזמן הממוצע הדרוש לייצר מוצר מסוים ביום הוא 6 שעות. במדגם מיקרי של 25 פועלים שעבדו במשמרת לילה נמצא כי הזמן הממוצע לייצר אותו מוצר הוא 7 שעות עם סטית תקן של 3 שעות. מהי ה- $\alpha$  המינימלית שלפיה ניתן להחליט שאכן העובדים במשמרת לילה איטיים יותר?

(3) הגובה של מתגייסים לצה"ל מתפלג נורמלית. במדגם של 25 מתגייסים מדדו את הגבהים שלהם בס"מ והתקבלו התוצאות הבאות:

$$\bar{x} = 176.2, \sum (x_i - \bar{x})^2 = 2832$$

מטרת המחקר היא לבדוק האם תוחלת הגבהים של המתגייסים גבוה מ-174 ס"מ באופן מובהק.

מהי בקרוב מובהקות התוצאה ועל פיה מה תהיה המסקנה ברמת מובהקות של 6%?

## תשובות סופיות:

$$(1) \quad \begin{array}{l} \text{א. } H_0: \mu = 1000 \\ H_1: \mu \neq 1000 \\ \text{ב. } 20\% \leq P_v \leq 50\% \end{array}$$

ג. ברמת מובהקות של 5% לא נוכל לקבוע שקו הייצור אינו תקין.

(2) 10%.

(3) 1.01, נקבל את  $H_0$ .

## הקשר בין רווח סמך לבדיקת השערות על תוחלת (ממוצע):

### רקע:

ניתן לבצע בדיקת השערות דו צדדית ברמת מובהקות  $\alpha$  על  $\mu$  :

$$H_0: \mu = \mu_0, H_1: \mu \neq \mu_0$$

על ידי בניית רווח סמך ברמת סמך של  $1-\alpha$  ל- $\mu$  :

אם  $\mu_0$  נופל ברווח  $\leftarrow$  נקבל את  $H_0$ .

אם  $\mu_0$  לא נופל ברווח  $\leftarrow$  נדחה את  $H_0$ .

### דוגמה:

חוקר ביצע בדיקת השערות לתוחלת. להלן השערותיו :

$$H_0: \mu = 80, H_1: \mu \neq 80, \alpha = 5\%$$

החוקר בנה רווח סמך ברמה של 90% וקיבל:  $79 < \mu < 84$ .  
האם אפשר לדעת מה מסקנתו, ואם כן מהי?

### פתרון (פתרון מלא בהקלטה):

רווח הסמך ברמת סמך של 90% מכיל "80".

ברמת סמך של 95% רווח הסמך יגדל ויכיל "80".

לכן, ברמת מובהקות של 5% נקבל  $H_0$ .

## שאלות:

- (1) חוקר רצה לבדוק את ההשערות הבאות:  $H_0: \mu = 90$ ,  $H_1: \mu \neq 90$ . החוקר בנה רווח סמך לתוחלת ברמת סמך של 95% וקיבל את רווח הסמך הבא: (87, 97).  
אם החוקר מעוניין לבצע בדיקת השערות ברמת מובהקות של 1% האם ניתן להגיע למסקנה ע"ס רווח הסמך? נמקו.
- (2) חוקר מעוניין לבדוק השפעת דיאטה חדשה על רמת הסוכר בדם. ידוע כי מספר מיליגרם הסוכר בסמ"ק דם הוא משתנה מקרי שמתפלג נורמלית עם סטיית תקן 10.4 מ"ג. נלקח מדגם של 60 נבדקים שניזונו מדיאטה זו. נמצא כי ממוצע מספר המיליגרם סוכר היה 115.5 מ"ג לסמ"ק.  
א. בנה רווח סמך ברמת סמך 95% לתוחלת רמת הסוכר בדם אצל הניזונים מדיאטה זו.  
ב. ידוע שתוחלת רמת הסוכר בדם באוכלוסיה היא 90 מ"ג לסמ"ק. האם לדעתך ניתן להסיק על סמך תוצאת סעיף א שהדיאטה משפיעה על רמת הסוכר בדם? הסבירו.
- (3) יצרן אנטיביוטיקה רושם על גבי התרופות שכמות הפנצילין היא 200 מ"ג לקפסולה. משרד הבריאות ביצע מדגם של 8 קפסולות אקראיות מקו הייצור ומצא שבממוצע יש 196 מ"ג פנצילין לקפסולה עם סטיית תקן מדגמית של 5 מ"ג. בהנחה וכמות הפנצילין בקפסולה מתפלגת נורמלית.  
א. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לממוצע כמות הפנצילין לקפסולה המיוצרת על ידי יצרן האנטיביוטיקה.  
ב. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם יש אמת באינפורמציה המסופקת על ידי היצרן.

## תשובות סופיות:

- (1) נקבל השערת.  
(2) א.  $112.87 \leq \mu \leq 118.13$ .  
ב. נכריע שהדיאטה משפיעה על תוחלת רמת הסוכר בדם.  
(3) א.  $191.8 \leq \mu \leq 200.2$ . ב. נכריע שיש אמת בפרסום.

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 6 - רווח סמך להפרש תוחלות (ממוצעים) במדגמים בלתי תלויים

תוכן העניינים

1. כששונות האוכלוסיה לא ידועות ובהנחת שוויון שונות..... 49

## כששונויות האוכלוסייה לא ידועות ובהנחת שוויון שונויות:

### רקע:

המטרה היא לאמוד את פער התוחלות:  $\mu_1 - \mu_2$ , כלומר ההבדלים של הממוצעים בין שתי האוכלוסיות.

האומד נקודתי:  $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$ .

התנאים לבניית רווח הסמך:

$$1. \sigma_1^2 = \sigma_2^2.$$

$$2. X_1, X_2 \sim N.$$

3. מדגמים בלתי תלויים.

**השונויות המשוקללת:** כיוון שאנו מניחים שבין שתי האוכלוסיות השונויות שוות אנו אומדים את השונויות הזו על ידי שקלול שתי השונויות של שני המדגמים על ידי

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad \text{הנוסחה הבאה:}$$

$$d.f = n_1 + n_2 - 2 \quad \text{דרגות החופש:}$$

$$\text{רווח סמך: } (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \pm t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n_1+n_2-2} \cdot \sqrt{\frac{S_p^2}{n_1} + \frac{S_p^2}{n_2}}$$

אם הערך אפס נופל בגבולות רווח הסמך נגיד שבביטחון של  $1 - \alpha$ , לא קיים הבדל בין התוחלות.

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

מחקר מעוניין לבדוק האם קיים הבדל בין תל אביב לבאר שבע מבחינת ההכנסה הממוצעת של אקדמאים. להלן תוצאות המדגם שנעשה:

| מספר האקדמאים                | תל אביב | באר שבע |
|------------------------------|---------|---------|
| 10                           | 20      |         |
| ממוצע הכנסות של אקדמאים      | 11,000  | 9500    |
| סטיית התקן של הכנסות אקדמאים | 200     | 250     |

בנו רווח סמך ברמת ביטחון של 90% להפרש תוחלות ההכנסה בשני האזורים. הניחו שהשכר מתפלג נורמלית עם אותה שונות בכל אחד מהאזורים.

## שאלות:

- (1) נדגמו 15 ישראלים ו-15 אמריקאים. כל הנדגמים נגשו למבחן IQ. להלן תוצאות המדגם:

| המדינה              | ישראל   | ארה"ב   |
|---------------------|---------|---------|
| גודל המדגם          | 15      | 15      |
| סכום הציונים        | 1560    | 1470    |
| סכום ריבועי הציונים | 165,390 | 147,560 |

מצאו רווח סמך ברמת סמך של 95% לסטייה בין ממוצע הציונים בישראל לממוצע הציונים בארה"ב. רשמו את כל ההנחות הדרושות לצורך פתרון התרגיל.

- (2) להלן 4 תצפיות על משתנה  $X$  שמתפלג:  $N(\mu_x, \sigma^2)$ , ומשתנה  $Y$  שמתפלג:  $N(\mu_y, \sigma^2)$ .

|   |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|
| X | 22 | 20 | 21 | 25 |
| Y | 18 | 25 | 17 | 12 |

חשבו רווח סמך ל- $\mu_y - \mu_x$  ברמת הסמך 90%, בהנחה ששני המדגמים בלתי תלויים.

## תשובות סופיות:

- (1) הנחות:
- השונות שווה.
  - שהציונים מתפלגים נורמלית.
  - המדגמים אינם תלויים זה בזה.
- $$-5.52 < \mu_1 - \mu_2 < 17.52$$
- (2)
- $$-9.6 < \mu_y - \mu_x < 1.6$$

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 7 - רווח סמך לתוחלת (ממוצע) ההפרשים במדגמים מזווגים

תוכן העניינים

1. רווח סמך לתוחלת (ממוצע) ההפרשים במדגמים מזווגים ..... 51

## רווח סמך לתוחלת (ממוצע) ההפרשים במדגמים מזווגים:

### רקע:

**מדגם מזווג:** מדגם אחד שבו יש  $n$  צמדים. כל תצפית במדגם תנפק זוג ערכים:  $X$  ו- $Y$ .

ניצור משתנה חדש:  $D = x - y$ .

הפרמטר שנרצה לאמוד:  $\mu_D$ .

התנאים לבניית רווח הסמך:

$$1. \quad x, y \sim N$$

2. המדגם מזווג.

$$\text{נוסחת רווח הסמך: } \bar{D} \pm t_{\frac{1-\alpha}{2}, n-1} \frac{S_D}{\sqrt{n}}$$

כאשר דרגות החופש:  $df = n - 1$ .

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

מעוניינים לבדוק האם יש הבדל בין מהירות הריצות של שתי תוכנות מחשב. לקחו 5 קבצים אקראיים והריצו אותם בשתי התוכנות:

| הקובץ               | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
|---------------------|----|----|----|----|----|
| הזמן בתוכנה הראשונה | 25 | 48 | 49 | 46 | 38 |
| הזמן בתוכנה השנייה  | 27 | 46 | 42 | 40 | 48 |

הניחו כי זמני הריצות מתפלגים נורמלית.

מצאו רווח סמך של 95% להפרש תוחלת הזמן בין שתי התוכנות.

## שאלות:

- (1) נדגמו 5 סטודנטים שסיימו את הקורס סטטיסטיקה ב'. להלן הציונים בסמסטר א' ו-ב' :

|     |    |    |    |    |          |
|-----|----|----|----|----|----------|
| 82  | 75 | 90 | 68 | 74 | סמסטר א' |
| 100 | 76 | 87 | 84 | 80 | סמסטר ב' |

נניח שהציונים מתפלגים נורמאלית.

- א. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לתוחלת פער הציונים בין סמסטר א' לבין סמסטר ב'.
- ב. האם על סמך רווח הסמך קיים הבדל בין הסמסטרים מבחינת תוחלת הציונים?
- ג. מה צריך לשנות בנתונים כדי שהמדגמים יהיו בלתי תלויים?
- (2) במטרה לבדוק האם קיים הבדל בין קווי זהב לבזק מבחינת ממוצע המחירים לשיחות בינ"ל. נדגמו באקראי 7 מדינות ועבור כל מדינה נבדקה עלות דקת שיחה. להלן התוצאות :

| חברה/ מדינה  | ארה"ב | קנדה | הולנד | פולין | מצרים | סין | יפן |
|--------------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-----|
| בזק - X      | 1.5   | 2.1  | 2.2   | 3     | 3.5   | 3.2 | 4.2 |
| קווי זהב - Y | 1.4   | 2    | 1.9   | 3.1   | 3.3   | 3.2 | 4.2 |

בהנחה והמחירים מתפלגים נורמלית עבור כל חברה, בנו רווח סמך ברמת סמך של 90% לתוחלת הפרש המחירים של שתי החברות.

## תשובות סופיות:

- (1) א.  $-19 < \mu_0 < 38$  . ב. בביטחון של 95% לא קיים הבדל.
- ג. ראה הסבר בסרטון.
- (2)  $-0.013 < \mu < 0.185$  .

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

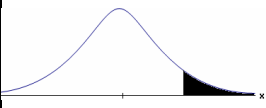
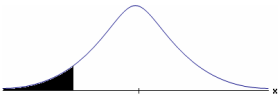
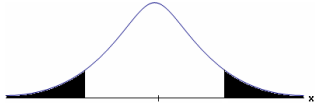
פרק 8 - בדיקת השערות על הפרש תוחלות במדגמים בלתי תלויים

תוכן העניינים

1. כששונויות האוכלוסיה לא ידועות ומניחים שהן שוות..... 53

## בדיקת השערות על הפרש תוחלות במדגמים בלתי תלויים

כששונות האוכלוסייה לא ידועות ומניחים שהן שוות – רקע

| השערת האפס:<br>השערה אלטרנטיבית:<br>תנאים:                                                                     | $H_0 \quad \mu_1 - \mu_2 = c$<br>$H_1 \quad \mu_1 - \mu_2 > c$                                                                                                                                 | $H_0 \quad \mu_1 - \mu_2 = c$<br>$H_1 \quad \mu_1 - \mu_2 < c$                                                                                                                                  | $H_0 \quad \mu_1 - \mu_2 = c$<br>$H_1 \quad \mu_1 - \mu_2 \neq c$                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. מדגמים בלתי תלויים<br>2. $\sigma_1, \sigma_2$ לא ידועות אך שוות<br>3. המשתנים בכל אוכלוסייה מתפלגים נורמלית | $t_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} > t_{1-\alpha}^{(n_1+n_2-2)}$<br><br>$t_{1-\alpha, n_1+n_2-2}$<br>דוחים את $H_0$ | $t_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} < -t_{1-\alpha}^{(n_1+n_2-2)}$<br><br>$-t_{1-\alpha, n_1+n_2-2}$<br>דוחים את $H_0$ | $t_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} < -t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n_1+n_2-2)}$ או $t_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} > t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n_1+n_2-2)}$<br><br>$-t_{1-\frac{\alpha}{2}, n_1+n_2-2}$ $t_{1-\frac{\alpha}{2}, n_1+n_2-2}$<br>דוחים את $H_0$ |

$$t_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - c}{\sqrt{\frac{S_p^2}{n_1} + \frac{S_p^2}{n_2}}}$$

סטטיסטי המבחן:

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

השונות המשוקללת:

## חלופה אחרת לכלל הכרעה:

| נדחה $H_0$ אם מתקיים:                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < c - t_{1-\alpha}^{(n_1+n_2-2)} \cdot \sqrt{\frac{S_p^2}{n_1} + \frac{S_p^2}{n_2}}$ | $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > c + t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n_1+n_2-2)} \cdot \sqrt{\frac{S_p^2}{n_1} + \frac{S_p^2}{n_2}}$<br>או<br>$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < c - t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n_1+n_2-2)} \cdot \sqrt{\frac{S_p^2}{n_1} + \frac{S_p^2}{n_2}}$ |
| $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > c + t_{1-\alpha}^{(n_1+n_2-2)} \cdot \sqrt{\frac{S_p^2}{n_1} + \frac{S_p^2}{n_2}}$ |                                                                                                                                                                                                                                                      |

## דוגמה (פתרון בהקלטה):

חברה המייצרת מוצרי בנייה טוענת שפיתחה סגסוגת (תערובת מתכות) שטמפרטורת ההתכה שלה גבוהה משמעותית מטמפרטורת ההתכה של הסגסוגת לבנייה שמשתמשים בה כיום לבניית בניינים. לצורך בדיקת טענת המחקר נדגמו 10 יחידות של מתכות מהסוג הישן ו-12 יחידות של מתכות מהסוג החדש. להלן תוצאות המדגם:

טמפרטורת ההתכה הממוצעת במתכת הישנה 1170 מעלות עם אומד חסר הטיה לשונות  $S^2 = 200$ .

טמפרטורת ההתכה הממוצעת במתכת החדשה 1317 מעלות עם אומד חסר הטיה לשונות  $S^2 = 260$ .

נניח לצורך פתרון שטמפרטורת ההתכה מתפלגת נורמאלית עם אותה שונות במתכות השונות. בדקו ברמת מובהקות של 5%.

## שאלות

- (1) להלן נתונים של שטחי דירות מתוך דירות שנבנו בשנת 2012 ובשנת 2013 (במ"ר):

|     |    |    |     |    |     |     |      |
|-----|----|----|-----|----|-----|-----|------|
| 120 | 94 | 90 | 130 | 95 | 112 | 120 | 2012 |
|     | 69 | 74 | 105 | 91 | 82  | 100 | 2013 |

בדקו שבשנת 2013 הייתה ירידה משמעותית בשטחי הדירות לעומת שנת 2012 עבור רמת מובהקות של 5%.  
הניחו ששטחי הדירות בכל שנה מתפלגים נורמלית עם אותה שונות.

- (2) נדגמו 15 ישראלים ו-15 אמריקאים. כל הנדגמים נגשו למבחן IQ. להלן תוצאות המדגם:

| המדינה              | ישראל   | ארה"ב   |
|---------------------|---------|---------|
| גודל המדגם          | 15      | 15      |
| סכום הציונים        | 1560    | 1470    |
| סכום ריבועי הציונים | 165,390 | 147,560 |

בדקו ברמת מובהקות של 5% האם קיים הבדל של נקודה בין ישראלים לאמריקאים מבחינת ממוצע הציונים במבחן ה-IQ לטובת ישראל.  
רשמו את כל ההנחות הדרושות לצורך פתרון התרגיל.

- (3) להלן תוצאות מדגם הבדק אורך חיים של נורות מסוג W60 ומסוג W100. אורך החיים נמדד בשעות.

| הקבוצה    | 60W  | 100W |
|-----------|------|------|
| $\bar{X}$ | 1007 | 956  |
| $S$       | 80   | 72   |
| $n$       | 13   | 15   |

- א. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם נורות מסוג W60 דולקות בממוצע יותר מאשר נורות מסוג W100. רשמו את כל ההנחות הדרושות לפתרון.  
ב. עבור איזו רמת מובהקות ניתן לקבוע שנורות מסוג W60 דולקות בממוצע יותר מאשר נורות מסוג 100?  
ג. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם נורות מסוג W60 דולקות יותר מ 1000 שעות. רשמו את כל ההנחות הדרושות.

**תשובות סופיות**

- (1) נדחה את  $H_0$ .
- (2) הנחות:
  1. סטיות התקן שוות.
  2. המשתנים מתפלגים נורמלית.נקבל את  $H_0$ .
- (3) א. נדחה את  $H_0$ . ב. רמת מובהקות של לפחות 5%.
- ג. לא נדחה את  $H_0$ .

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

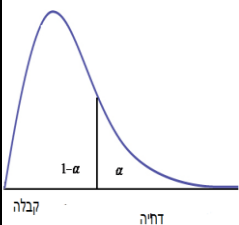
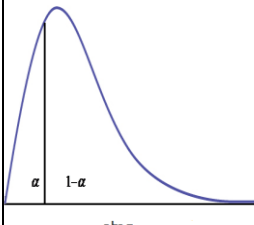
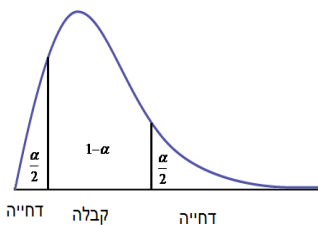
פרק 9 - בדיקת השערות על שונויות

תוכן העניינים

1. בדיקת השערות על שתי שונויות ..... 57

## בדיקת השערות על שתי שוניות:

רקע:

| השערת האפס : השערה אלטרנטיבית : | $H_0 : \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = 1$<br>$H_1 : \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} > 1$                                       | $H_0 : \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = 1$<br>$H_1 : \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} < 1$                                                 | $H_0 : \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = 1$<br>$H_1 : \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \neq 1$                                                                                             |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| תנאים :                         | 1. מדגמים בלתי תלויים<br>2. $X_1, X_2 \sim N$                                                                                |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                       |
| נדחה את השערת האפס אם :         | <br>$F \geq f_{1-\alpha}^{(n_1-1, n_2-1)}$ | <br>$F \leq \frac{1}{f_{1-\alpha}^{(n_2-1, n_1-1)}}$ | <br>$F \geq f_{1-\alpha/2}^{(n_1-1, n_2-1)}$ או $F \leq \frac{1}{f_{1-\alpha/2}^{(n_2-1, n_1-1)}}$ |

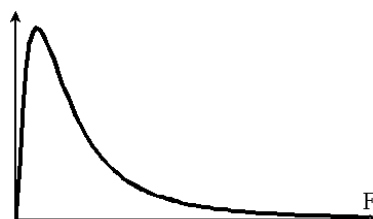
$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} : \text{סטטיסטי המבחן}$$

התפלגות F:

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} \sim F(n_1-1, n_2-1) \text{ אזי: } X_2 \sim N(\mu_2, \sigma^2) \text{ ו- } X_1 \sim N(\mu_1, \sigma^2) \text{ אם}$$

התפלגות F הינה התפלגות אסימטרית חיובית התלויה בדרגות חופש של המונה ושל המכנה.

$$\text{כמו כן בהתפלגות F מתקיימת התכונה הבאה: } F_{1-\alpha}(n_1-1, n_2-1) = \frac{1}{F_{\alpha}(n_2-1, n_1-1)}$$



$$df_1 = n_1 - 1$$

$$df_2 = n_2 - 1$$

## דוגמה (פתרון בהקלטה) :

מעוניינים להשוות בין נשים וגברים מבחינת השונות בזמנים שלהם לבצע משימה מסוימת. במדגם של 10 גברים התקבלו התוצאות הבאות לגבי זמני ביצוע המשימה :  $\sum (y_i - \bar{y})^2 = 204$  .

במדגם של 13 נשים התקבלו התוצאות הבאות :  $\sum (x_i - \bar{x})^2 = 200$  .  
בדקו ברמת מובהקות של 2% האם קיים הבדל בין השונות? מה יש להניח?

| טבלת ערכים קריטיים לפי התפלגות F |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| $\alpha = 0.05$                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |
| ד"ח מנהל "ח מנהל"                | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 12     | 16     | 20     | 24     | 60     | 120    | $\infty$ |
| 1                                | 161.45 | 199.50 | 215.71 | 224.58 | 230.16 | 233.99 | 236.77 | 238.88 | 240.54 | 241.88 | 243.91 | 246.46 | 248.01 | 249.05 | 252.20 | 253.25 | 254.31   |
| 2                                | 18.51  | 19.00  | 19.16  | 19.25  | 19.30  | 19.33  | 19.35  | 19.37  | 19.38  | 19.40  | 19.41  | 19.43  | 19.45  | 19.45  | 19.48  | 19.49  | 19.50    |
| 3                                | 10.13  | 9.55   | 9.28   | 9.12   | 9.01   | 8.94   | 8.89   | 8.85   | 8.81   | 8.79   | 8.74   | 8.69   | 8.66   | 8.64   | 8.57   | 8.55   | 8.53     |
| 4                                | 7.71   | 6.94   | 6.59   | 6.39   | 6.26   | 6.16   | 6.09   | 6.04   | 6.00   | 5.96   | 5.91   | 5.84   | 5.80   | 5.77   | 5.69   | 5.66   | 5.63     |
| 5                                | 6.61   | 5.79   | 5.41   | 5.19   | 5.05   | 4.95   | 4.88   | 4.82   | 4.77   | 4.74   | 4.68   | 4.60   | 4.56   | 4.53   | 4.43   | 4.40   | 4.37     |
| 6                                | 5.99   | 5.14   | 4.76   | 4.53   | 4.39   | 4.28   | 4.21   | 4.15   | 4.10   | 4.06   | 4.00   | 3.92   | 3.87   | 3.84   | 3.74   | 3.70   | 3.67     |
| 7                                | 5.59   | 4.74   | 4.35   | 4.12   | 3.97   | 3.87   | 3.79   | 3.73   | 3.68   | 3.64   | 3.57   | 3.49   | 3.44   | 3.41   | 3.30   | 3.27   | 3.23     |
| 8                                | 5.32   | 4.46   | 4.07   | 3.84   | 3.69   | 3.58   | 3.50   | 3.44   | 3.39   | 3.35   | 3.28   | 3.20   | 3.15   | 3.12   | 3.01   | 2.97   | 2.93     |
| 9                                | 5.12   | 4.26   | 3.86   | 3.63   | 3.48   | 3.37   | 3.29   | 3.23   | 3.18   | 3.14   | 3.07   | 2.99   | 2.94   | 2.90   | 2.79   | 2.75   | 2.71     |
| 10                               | 4.96   | 4.10   | 3.71   | 3.48   | 3.33   | 3.22   | 3.14   | 3.07   | 3.02   | 2.98   | 2.91   | 2.83   | 2.77   | 2.74   | 2.62   | 2.58   | 2.54     |
| 11                               | 4.84   | 3.98   | 3.59   | 3.36   | 3.20   | 3.09   | 3.01   | 2.95   | 2.90   | 2.85   | 2.79   | 2.70   | 2.65   | 2.61   | 2.49   | 2.45   | 2.40     |
| 12                               | 4.75   | 3.89   | 3.49   | 3.26   | 3.11   | 3.00   | 2.91   | 2.85   | 2.80   | 2.75   | 2.69   | 2.60   | 2.54   | 2.51   | 2.38   | 2.34   | 2.30     |
| 13                               | 4.67   | 3.81   | 3.41   | 3.18   | 3.03   | 2.92   | 2.83   | 2.77   | 2.71   | 2.67   | 2.60   | 2.51   | 2.46   | 2.42   | 2.30   | 2.25   | 2.21     |
| 14                               | 4.60   | 3.74   | 3.34   | 3.11   | 2.96   | 2.85   | 2.76   | 2.70   | 2.65   | 2.60   | 2.53   | 2.44   | 2.39   | 2.35   | 2.22   | 2.18   | 2.13     |
| 15                               | 4.54   | 3.68   | 3.29   | 3.06   | 2.90   | 2.79   | 2.71   | 2.64   | 2.59   | 2.54   | 2.48   | 2.38   | 2.33   | 2.29   | 2.16   | 2.11   | 2.07     |
| 16                               | 4.49   | 3.63   | 3.24   | 3.01   | 2.85   | 2.74   | 2.66   | 2.59   | 2.54   | 2.49   | 2.42   | 2.33   | 2.28   | 2.24   | 2.11   | 2.06   | 2.01     |
| 17                               | 4.45   | 3.59   | 3.20   | 2.96   | 2.81   | 2.70   | 2.61   | 2.55   | 2.49   | 2.45   | 2.38   | 2.29   | 2.23   | 2.19   | 2.06   | 2.01   | 1.96     |
| 18                               | 4.41   | 3.55   | 3.16   | 2.93   | 2.77   | 2.66   | 2.58   | 2.51   | 2.46   | 2.41   | 2.34   | 2.25   | 2.19   | 2.15   | 2.02   | 1.97   | 1.92     |
| 19                               | 4.38   | 3.52   | 3.13   | 2.90   | 2.74   | 2.63   | 2.54   | 2.48   | 2.42   | 2.38   | 2.31   | 2.21   | 2.16   | 2.11   | 1.98   | 1.93   | 1.88     |
| 20                               | 4.35   | 3.49   | 3.10   | 2.87   | 2.71   | 2.60   | 2.51   | 2.45   | 2.39   | 2.35   | 2.28   | 2.18   | 2.12   | 2.08   | 1.95   | 1.90   | 1.84     |
| 21                               | 4.32   | 3.47   | 3.07   | 2.84   | 2.68   | 2.57   | 2.49   | 2.42   | 2.37   | 2.32   | 2.25   | 2.16   | 2.10   | 2.05   | 1.92   | 1.87   | 1.81     |
| 22                               | 4.30   | 3.44   | 3.05   | 2.82   | 2.66   | 2.55   | 2.46   | 2.40   | 2.34   | 2.30   | 2.23   | 2.13   | 2.07   | 2.03   | 1.89   | 1.84   | 1.78     |
| 23                               | 4.28   | 3.42   | 3.03   | 2.80   | 2.64   | 2.53   | 2.44   | 2.37   | 2.32   | 2.27   | 2.20   | 2.11   | 2.05   | 2.01   | 1.86   | 1.81   | 1.76     |
| 24                               | 4.26   | 3.40   | 3.01   | 2.78   | 2.62   | 2.51   | 2.42   | 2.36   | 2.30   | 2.25   | 2.18   | 2.09   | 2.03   | 1.98   | 1.84   | 1.79   | 1.73     |
| 25                               | 4.24   | 3.39   | 2.99   | 2.76   | 2.60   | 2.49   | 2.40   | 2.34   | 2.28   | 2.24   | 2.16   | 2.07   | 2.01   | 1.96   | 1.82   | 1.77   | 1.71     |
| 26                               | 4.23   | 3.37   | 2.98   | 2.74   | 2.59   | 2.47   | 2.39   | 2.32   | 2.27   | 2.22   | 2.15   | 2.05   | 1.99   | 1.95   | 1.80   | 1.75   | 1.69     |
| 27                               | 4.21   | 3.35   | 2.96   | 2.73   | 2.57   | 2.46   | 2.37   | 2.31   | 2.25   | 2.20   | 2.13   | 2.04   | 1.97   | 1.93   | 1.79   | 1.73   | 1.67     |
| 28                               | 4.20   | 3.34   | 2.95   | 2.71   | 2.56   | 2.45   | 2.36   | 2.29   | 2.24   | 2.19   | 2.12   | 2.02   | 1.96   | 1.91   | 1.77   | 1.71   | 1.65     |
| 29                               | 4.18   | 3.33   | 2.93   | 2.70   | 2.55   | 2.43   | 2.35   | 2.28   | 2.22   | 2.18   | 2.10   | 2.01   | 1.94   | 1.90   | 1.75   | 1.70   | 1.64     |
| 30                               | 4.17   | 3.32   | 2.92   | 2.69   | 2.53   | 2.42   | 2.33   | 2.27   | 2.21   | 2.16   | 2.09   | 1.99   | 1.93   | 1.89   | 1.74   | 1.68   | 1.62     |
| 40                               | 4.08   | 3.23   | 2.84   | 2.61   | 2.45   | 2.34   | 2.25   | 2.18   | 2.12   | 2.08   | 2.00   | 1.90   | 1.84   | 1.79   | 1.64   | 1.58   | 1.51     |
| 50                               | 4.03   | 3.18   | 2.79   | 2.56   | 2.40   | 2.29   | 2.20   | 2.13   | 2.07   | 2.03   | 1.95   | 1.85   | 1.78   | 1.74   | 1.58   | 1.51   | 1.44     |
| 60                               | 4.00   | 3.15   | 2.76   | 2.53   | 2.37   | 2.25   | 2.17   | 2.10   | 2.04   | 1.99   | 1.92   | 1.82   | 1.75   | 1.70   | 1.53   | 1.47   | 1.39     |
| 90                               | 3.95   | 3.10   | 2.71   | 2.47   | 2.32   | 2.20   | 2.11   | 2.04   | 1.99   | 1.94   | 1.86   | 1.76   | 1.69   | 1.64   | 1.46   | 1.39   | 1.30     |
| 120                              | 3.92   | 3.07   | 2.68   | 2.45   | 2.29   | 2.18   | 2.09   | 2.02   | 1.96   | 1.91   | 1.83   | 1.73   | 1.66   | 1.61   | 1.43   | 1.35   | 1.25     |
| $\infty$                         | 3.84   | 3.00   | 2.60   | 2.37   | 2.21   | 2.10   | 2.01   | 1.94   | 1.88   | 1.83   | 1.75   | 1.64   | 1.57   | 1.52   | 1.32   | 1.22   | 1.00     |

| טבלת ערכים קריטיים לפי התפלגות F $\alpha= 0.01$ ראה איור מסה. |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|---------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| ד"ח מונה/ד"ח מכנה                                             | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 12      | 16      | 20      | 24      | 60      | 120     | $\infty$ |
| 1                                                             | 4052.18 | 4999.50 | 5403.35 | 5624.58 | 5763.65 | 5858.99 | 5928.36 | 5981.07 | 6022.47 | 6055.85 | 6106.32 | 6170.10 | 6208.73 | 6234.63 | 6313.03 | 6339.39 | 6365.86  |
| 2                                                             | 98.50   | 99.00   | 99.17   | 99.25   | 99.30   | 99.33   | 99.36   | 99.37   | 99.39   | 99.40   | 99.42   | 99.44   | 99.45   | 99.46   | 99.48   | 99.49   | 99.50    |
| 3                                                             | 34.12   | 30.82   | 29.46   | 28.71   | 28.24   | 27.91   | 27.67   | 27.49   | 27.35   | 27.23   | 27.05   | 26.83   | 26.69   | 26.60   | 26.32   | 26.22   | 26.13    |
| 4                                                             | 21.20   | 18.00   | 16.69   | 15.98   | 15.52   | 15.21   | 14.98   | 14.80   | 14.66   | 14.55   | 14.37   | 14.15   | 14.02   | 13.93   | 13.65   | 13.56   | 13.46    |
| 5                                                             | 16.26   | 13.27   | 12.06   | 11.39   | 10.97   | 10.67   | 10.46   | 10.29   | 10.16   | 10.05   | 9.89    | 9.68    | 9.55    | 9.47    | 9.20    | 9.11    | 9.02     |
| 6                                                             | 13.75   | 10.92   | 9.78    | 9.15    | 8.75    | 8.47    | 8.26    | 8.10    | 7.98    | 7.87    | 7.72    | 7.52    | 7.40    | 7.31    | 7.06    | 6.97    | 6.88     |
| 7                                                             | 12.25   | 9.55    | 8.45    | 7.85    | 7.46    | 7.19    | 6.99    | 6.84    | 6.72    | 6.62    | 6.47    | 6.28    | 6.16    | 6.07    | 5.82    | 5.74    | 5.65     |
| 8                                                             | 11.26   | 8.65    | 7.59    | 7.01    | 6.63    | 6.37    | 6.18    | 6.03    | 5.91    | 5.81    | 5.67    | 5.48    | 5.36    | 5.28    | 5.03    | 4.95    | 4.86     |
| 9                                                             | 10.56   | 8.02    | 6.99    | 6.42    | 6.06    | 5.80    | 5.61    | 5.47    | 5.35    | 5.26    | 5.11    | 4.92    | 4.81    | 4.73    | 4.48    | 4.40    | 4.31     |
| 10                                                            | 10.04   | 7.56    | 6.55    | 5.99    | 5.64    | 5.39    | 5.20    | 5.06    | 4.94    | 4.85    | 4.71    | 4.52    | 4.41    | 4.33    | 4.08    | 4.00    | 3.91     |
| 11                                                            | 9.65    | 7.21    | 6.22    | 5.67    | 5.32    | 5.07    | 4.89    | 4.74    | 4.63    | 4.54    | 4.40    | 4.21    | 4.10    | 4.02    | 3.78    | 3.69    | 3.60     |
| 12                                                            | 9.33    | 6.93    | 5.95    | 5.41    | 5.06    | 4.82    | 4.64    | 4.50    | 4.39    | 4.30    | 4.16    | 3.97    | 3.86    | 3.78    | 3.54    | 3.45    | 3.36     |
| 13                                                            | 9.07    | 6.70    | 5.74    | 5.21    | 4.86    | 4.62    | 4.44    | 4.30    | 4.19    | 4.10    | 3.96    | 3.78    | 3.66    | 3.59    | 3.34    | 3.25    | 3.17     |
| 14                                                            | 8.86    | 6.51    | 5.56    | 5.04    | 4.69    | 4.46    | 4.28    | 4.14    | 4.03    | 3.94    | 3.80    | 3.62    | 3.51    | 3.43    | 3.18    | 3.09    | 3.00     |
| 15                                                            | 8.68    | 6.36    | 5.42    | 4.89    | 4.56    | 4.32    | 4.14    | 4.00    | 3.89    | 3.80    | 3.67    | 3.49    | 3.37    | 3.29    | 3.05    | 2.96    | 2.87     |
| 16                                                            | 8.53    | 6.23    | 5.29    | 4.77    | 4.44    | 4.20    | 4.03    | 3.89    | 3.78    | 3.69    | 3.55    | 3.37    | 3.26    | 3.18    | 2.93    | 2.84    | 2.75     |
| 17                                                            | 8.40    | 6.11    | 5.18    | 4.67    | 4.34    | 4.10    | 3.93    | 3.79    | 3.68    | 3.59    | 3.46    | 3.27    | 3.16    | 3.08    | 2.83    | 2.75    | 2.65     |
| 18                                                            | 8.29    | 6.01    | 5.09    | 4.58    | 4.25    | 4.01    | 3.84    | 3.71    | 3.60    | 3.51    | 3.37    | 3.19    | 3.08    | 3.00    | 2.75    | 2.66    | 2.57     |
| 19                                                            | 8.18    | 5.93    | 5.01    | 4.50    | 4.17    | 3.94    | 3.77    | 3.63    | 3.52    | 3.43    | 3.30    | 3.12    | 3.00    | 2.92    | 2.67    | 2.58    | 2.49     |
| 20                                                            | 8.10    | 5.85    | 4.94    | 4.43    | 4.10    | 3.87    | 3.70    | 3.56    | 3.46    | 3.37    | 3.23    | 3.05    | 2.94    | 2.86    | 2.61    | 2.52    | 2.42     |
| 21                                                            | 8.02    | 5.78    | 4.87    | 4.37    | 4.04    | 3.81    | 3.64    | 3.51    | 3.40    | 3.31    | 3.17    | 2.99    | 2.88    | 2.80    | 2.55    | 2.46    | 2.36     |
| 22                                                            | 7.95    | 5.72    | 4.82    | 4.31    | 3.99    | 3.76    | 3.59    | 3.45    | 3.35    | 3.26    | 3.12    | 2.94    | 2.83    | 2.75    | 2.50    | 2.40    | 2.31     |
| 23                                                            | 7.88    | 5.66    | 4.76    | 4.26    | 3.94    | 3.71    | 3.54    | 3.41    | 3.30    | 3.21    | 3.07    | 2.89    | 2.78    | 2.70    | 2.45    | 2.35    | 2.26     |
| 24                                                            | 7.82    | 5.61    | 4.72    | 4.22    | 3.90    | 3.67    | 3.50    | 3.36    | 3.26    | 3.17    | 3.03    | 2.85    | 2.74    | 2.66    | 2.40    | 2.31    | 2.21     |
| 25                                                            | 7.77    | 5.57    | 4.68    | 4.18    | 3.85    | 3.63    | 3.46    | 3.32    | 3.22    | 3.13    | 2.99    | 2.81    | 2.70    | 2.62    | 2.36    | 2.27    | 2.17     |
| 26                                                            | 7.72    | 5.53    | 4.64    | 4.14    | 3.82    | 3.59    | 3.42    | 3.29    | 3.18    | 3.09    | 2.96    | 2.78    | 2.66    | 2.58    | 2.33    | 2.23    | 2.13     |
| 27                                                            | 7.68    | 5.49    | 4.60    | 4.11    | 3.78    | 3.56    | 3.39    | 3.26    | 3.15    | 3.06    | 2.93    | 2.75    | 2.63    | 2.55    | 2.29    | 2.20    | 2.10     |
| 28                                                            | 7.64    | 5.45    | 4.57    | 4.07    | 3.75    | 3.53    | 3.36    | 3.23    | 3.12    | 3.03    | 2.90    | 2.72    | 2.60    | 2.52    | 2.26    | 2.17    | 2.06     |
| 29                                                            | 7.60    | 5.42    | 4.54    | 4.04    | 3.73    | 3.50    | 3.33    | 3.20    | 3.09    | 3.00    | 2.87    | 2.69    | 2.57    | 2.49    | 2.23    | 2.14    | 2.03     |
| 30                                                            | 7.56    | 5.39    | 4.51    | 4.02    | 3.70    | 3.47    | 3.30    | 3.17    | 3.07    | 2.98    | 2.84    | 2.66    | 2.55    | 2.47    | 2.21    | 2.11    | 2.01     |
| 40                                                            | 7.31    | 5.18    | 4.31    | 3.83    | 3.51    | 3.29    | 3.12    | 2.99    | 2.89    | 2.80    | 2.66    | 2.48    | 2.37    | 2.29    | 2.02    | 1.92    | 1.80     |
| 50                                                            | 7.17    | 5.06    | 4.20    | 3.72    | 3.41    | 3.19    | 3.02    | 2.89    | 2.78    | 2.70    | 2.56    | 2.38    | 2.27    | 2.18    | 1.91    | 1.80    | 1.68     |
| 60                                                            | 7.08    | 4.98    | 4.13    | 3.65    | 3.34    | 3.12    | 2.95    | 2.82    | 2.72    | 2.63    | 2.50    | 2.31    | 2.20    | 2.12    | 1.84    | 1.73    | 1.60     |
| 90                                                            | 6.93    | 4.85    | 4.01    | 3.53    | 3.23    | 3.01    | 2.84    | 2.72    | 2.61    | 2.52    | 2.39    | 2.21    | 2.09    | 2.00    | 1.72    | 1.60    | 1.46     |
| 120                                                           | 6.85    | 4.79    | 3.95    | 3.48    | 3.17    | 2.96    | 2.79    | 2.66    | 2.56    | 2.47    | 2.34    | 2.15    | 2.03    | 1.95    | 1.66    | 1.53    | 1.38     |
| $\infty$                                                      | 6.63    | 4.61    | 3.78    | 3.32    | 3.02    | 2.80    | 2.64    | 2.51    | 2.41    | 2.32    | 2.18    | 2.00    | 1.88    | 1.79    | 1.47    | 1.32    | 1.00     |

## שאלות:

- (1) להלן נתונים על שטחי דירות במ"ר עבור דירות חדשות שנבנו בשנת 2012 ובשנת 2013:

|     |    |    |     |    |     |     |      |
|-----|----|----|-----|----|-----|-----|------|
| 120 | 94 | 90 | 130 | 95 | 112 | 120 | 2012 |
|     | 69 | 74 | 105 | 91 | 82  | 100 | 2013 |

- א. בדקו ברמת מובהקות של 10% את ההשערה ששונות שטחי הדירות החדשות בשנת 2012 ובשנת 2013 שוות. מה הן ההנחות הדרושות לביצוע הבדיקה?  
 ב. האם וכיצד הייתה משתנה המסקנה מהסעיף הקודם אם מסתבר שחלה טעות ברישום ויש להפחית 10 מ"ר מכל הדירות שמופיעות במדגם?

- (2) בתחום הבינוי משתמשים בשני סוגי מתכות: מתכת A ומתכת B. מחקר מעוניין לבדוק האם קיים הבדל בין שני סוגי המתכות מבחינת החוזק שלהן. דגמו מספר

| B   | A  | סוג המתכת    |
|-----|----|--------------|
| 10  | 8  | $n$          |
| 30  | 16 | $\sum X_i$   |
| 198 | 60 | $\sum X_i^2$ |

- יחידות מתכת מכל סוג והתקבלו התוצאות הבאות:  
 יש להניח שרמת החוזק של המתכות מתפלגת נורמאלית.  
 א. האם קיים הבדל בין שונות החוזק של מתכות?  
 ב. האם קיים הבדל בין תוחלות החוזק של מתכות?  
 בכל סעיף רמת מובהקות של 10%.

## תשובות סופיות:

- (1) א. לא נדחה את  $H_0$ . ב. מסקנה לא תשתנה.  
 (2) א. לא נדחה את  $H_0$ . ב. לא נדחה את  $H_0$ .

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

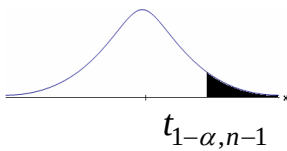
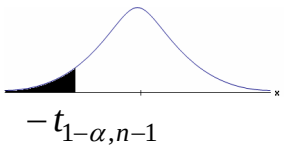
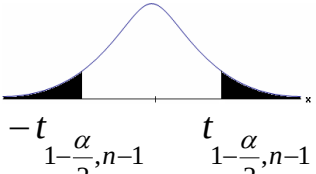
פרק 10 - בדיקת השערות לתוחלת ההפרש במדגמים מזווגים

תוכן העניינים

1. בדיקת השערות למדגמים מזווגים ..... 61

## בדיקת השערות על תוחלת ההפרשים במדגמים מזווגים (תלויים)

### בדיקת השערות למדגמים מזווגים – רקע

| השערת האפס:<br>השערה אלטרנטיבית:           | $H_0: \mu_D = C$<br>$H_1: \mu_D > C$                                                                                                           | $H_0: \mu_D = C$<br>$H_1: \mu_D < C$                                                                                                            | $H_0: \mu_D = C$<br>$H_1: \mu_D \neq C$                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| תנאים:                                     | 1. $\sigma_D$ אינה ידועה<br>2. $D \sim N$ או מדגם מספיק גדול                                                                                   |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                              |
| כלל ההכרעה:<br>אזור הדחייה של $H_0$ :      | $t_{\bar{D}} > t_{1-\alpha}^{(n-1)}$<br><br>- דוחים את $H_0$ | $t_{\bar{D}} < -t_{1-\alpha}^{(n-1)}$<br><br>- דוחים את $H_0$ | $t_{\bar{D}} > t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n-1)}$ או $t_{\bar{D}} < -t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{(n-1)}$<br><br>- דוחים את $H_0$ |
| חלופה לכלל הכרעה:<br>נדחה $H_0$ אם מתקיים: | $\bar{D} > C + t_{1-\alpha}^{n-1} \cdot \frac{S_D}{\sqrt{n}}$                                                                                  | $\bar{D} < C - t_{1-\alpha}^{n-1} \cdot \frac{S_D}{\sqrt{n}}$                                                                                   | $\bar{D} > C + t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1} \cdot \frac{S_D}{\sqrt{n}}$<br>ו<br>$\bar{D} < C - t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1} \cdot \frac{S_D}{\sqrt{n}}$                                                      |

$$S_D^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i^2 - n\bar{D}^2}{n-1}, \quad t_{\bar{D}} = \frac{\bar{D} - \mu_D}{S_D / \sqrt{n}}$$

סטטיסטי המבחן:

דוגמה (פתרון בהקלטה):

חברה שיווקית מעוניינת לבדוק את טענת רשת השיווק "מגה בעיר" הטוענת שמחירה נמוכים מהמחירים מרשת השיווק "שופרסל". לצורך הבדיקה נבחרו באקראי 4 מוצרים שונים. המחירים נבדקו בשתי הרשתות. להלן המחירים:

| המוצר / רשת   | מגה בעיר | שופרסל |
|---------------|----------|--------|
| שמפו          | 17       | 18     |
| ג'ל כביסה     | 48       | 57     |
| עוגת גבינה    | 35       | 35     |
| לחם           | 12       | 10     |
| קפה נמס       | 49       | 47     |
| בקבוק יין     | 113      | 142    |
| גבינה בולגרית | 20       | 26     |

בהנחה והמחירים מתפלגים נורמאלית, בדקו ברמת מובהקות של 5% את טענת רשת "מגה בעיר".

## שאלות

- (1) במטרה לבדוק האם קיים הבדל בין חברת  $X$  לחברת  $Y$  מבחינת המחירים לשיחות בינ"ל. נדגמו באקראי 7 מדינות ועבור כל מדינה נבדקה עלות דקת שיחה. להלן התוצאות:

| חברה/מדינה | ארה"ב | קנדה | הולנד | פולין | מצרים | סין | יפן |
|------------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-----|
| $X$        | 1.5   | 2.1  | 2.2   | 3     | 3.5   | 3.2 | 4.2 |
| $Y$        | 1.4   | 2    | 1.9   | 3.1   | 3.2   | 3.2 | 4.2 |

בהנחה והמחירים מתפלגים נורמלית בכל חברה, בדקו ברמת מובהקות של 5% האם קיים הבדל בין החברות מבחינת המחירים במוצא?

- (2) מכון המכין לפסיכומטרי טוען שהוא מעלה את ממוצע הציונים ביותר מ-30 נקודות. 8 נבחנים נבדקו לפני ואחרי שהם למדו במכון. להלן התוצאות שהתקבלו:

|      |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| לפני | 506 | 470 | 420 | 640 | 670 | 390 | 500 | 590 |
| אחרי | 570 | 540 | 430 | 610 | 680 | 510 | 520 | 580 |

מה מסקנתכם ברמת מובהקות 5%? הניחו שציוני פסיכומטרי מתפלגים נורמלית.

- (3) נדגמו 5 סטודנטים שסיימו את הקורס סטטיסטיקה ב'. להלן הציונים שלהם בסמסטר א' ו- ב':

|              |    |    |    |    |     |
|--------------|----|----|----|----|-----|
| סטטיסטיקה א' | 74 | 68 | 90 | 75 | 82  |
| סטטיסטיקה ב' | 80 | 84 | 87 | 76 | 100 |

פורסם שתלמידים שמסיימים את סמסטר ב' משפרים במוצא את הציונים ב-5 נקודות לעומת סמסטר א'. הניחו שהציונים מתפלגים נורמלית.

- א. מהי מובהקות התוצאה לבדיקת הטענה שהשיפור הוא יותר מ-5 נקודות?  
 ב. על סמך הסעיף הקודם, מהי רמת המובהקות המינימלית להכרעה שהשיפור הוא יותר מ-5 נקודות?  
 ג. לאור זאת, מה המסקנה ברמת מובהקות של 10%?

- (4) לצורך בדיקת השפעת היפנוזה על לימוד אנגלית, נבחרו 10 זוגות תאומים זהים. אחד התאומים למד אנגלית בהשפעת היפנוזה, והשני ללא היפנוזה. לאחר מכן נערך לשניהם מבחן באנגלית. נניח שציוני המבחן מתפלגים נורמלית ללא ידיעת השונות האמתית. המבחן שיש לבצע כאן הוא:

- א. מבחן  $Z$  למדגם יחיד.  
 ב. מבחן  $T$  למדגם יחיד.  
 ג. מבחן  $T$  למדגמים בלתי תלויים.  
 ד. מבחן  $T$  למדגמים מזווגים.

- (5) בתחנת טיפת חלב מסוימת יש שני מכשירי שקילה. על מנת להשוות בין שני המשקלים נדגמו 4 תינוקות. כל תינוק בן חודשיים נשקל בכל אחד מהמשקלים. להלן תוצאות השקילה (בק"ג):

|               |     |     |     |     |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| משקל במכשיר 1 | 2.5 | 0.7 | 9.6 | 4.5 |
| משקל במכשיר 2 | 0.5 | 1.7 | 6.9 | 3.5 |

נניח שהמשקלים מתפלגים נורמלית, המבחן שיש לבצע כאן הוא:

- מבחן Z למדגם יחיד.
  - מבחן T למדגם יחיד.
  - מבחן T למדגמים בלתי תלויים.
  - מבחן T למדגמים מזווגים.
- (6) כדי להשוות בין שני אצנים נדגמו 5 תוצאות מריצת 100 מטר של כל אצן. זמני הריצה נרשמו ויש להניח שמתפלגים נורמלית. המטרה להשוות בין האצנים. המבחן שיש לבצע כאן הוא:
- מבחן Z למדגם יחיד.
  - מבחן T למדגם יחיד.
  - מבחן T למדגמים בלתי תלויים.
  - מבחן T למדגמים מזווגים.

### תשובות סופיות

- לא נדחה  $H_0$ .
- לא נדחה  $H_0$ .
- א.  $0.25 \leq p \leq 0.5$     ב. 0.5    ג. לא נדחה  $H_0$ .
- ד'.
- ד'.
- ג'.

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 11 - הקשר בין רווח סמך לבדיקת השערות להפרש תוחלות

תוכן העניינים

1. הקשר בין רווח סמך לבדיקת השערות להפרש תוחלות..... 65

## הקשר בין רווח סמך לבדיקת השערות על הפרש תוחלות

### רקע

ניתן לבצע בדיקת השערות דו צדדית ברמת מובהקות  $\alpha$  על  $\mu_1 - \mu_2$  :

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = C, \quad H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq C$$

על ידי בניית רווח סמך ברמת סמך של  $1 - \alpha$  ל-  $\mu_1 - \mu_2$  :

אם  $C$  נופל ברווח  $\leftarrow$  נקבל את  $H_0$ .

אם  $C$  לא נופל ברווח  $\leftarrow$  נדחה את  $H_0$ .

### דוגמה (פתרון בהקלטה) :

חוקר ביצע בדיקת השערות לתוחלת ההפרש במדגם מזווג.

להלן השערותיו :  $\alpha = 5\%$ ,  $H_0 : \mu_D = 80$ ,  $H_1 : \mu_D \neq 80$ .

החוקר בנה רווח סמך ברמה של 90%,  $78 < \mu_D < 83$ .

האם אפשר לדעת מה מסקנתו, ואם כן מהי?

## שאלות

(1) נדגמו 5 סטודנטים שסיימו את הקורס סטטיסטיקה ב'.

להלן ציוניהם בסמסטר א' ו- ב' :

| סמסטר א' | סמסטר ב' |
|----------|----------|
| 74       | 80       |
| 68       | 84       |
| 90       | 87       |
| 75       | 76       |
| 82       | 100      |

א. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לתוחלת פער הציונים בין סמסטר א' לבין סמסטר ב'.

ב. פורסם שתלמידים שמסיימים את סמסטר ב' משפרים בממוצע את הציונים ב-5 נק' לעומת סמסטר א'. האם יש אמת בפרסום?

(2) הוחלט להשוות הציונים אצל מרצה X ואצל מרצה Y. נבחרו באקראי 6 סטודנטים, 3 סטודנטים של מרצה X ו-3 סטודנטים של מרצה Y, עבורם התקבלו הציונים הבאים :

|        |    |    |    |
|--------|----|----|----|
| מרצה X | 82 | 90 | 68 |
| מרצה Y | 68 | 81 | 64 |

א. חשבו רווח סמך ברמת סמך 90% להפרש בין התוחלות של הציונים אצל שני המרצים.

ב. האם ברמת מובהקות של 10% נכריע שיש הבדל בין תוחלות הציונים אצל שני המרצים?

## שאלות רב-ברירה :

(3) סטטיסטיקאי נתבקש לאמוד את הפרש הממוצעים של שני טיפולים לפי שני מדגמים מקריים בלתי תלויים.

הוא חישב רווח סמך להפרש ברמת סמך 0.98, וקיבל את הרווח  $-2 < \mu_1 - \mu_2 < 4.5$ .

אילו יתבקש החוקר לבדוק לפי אותם נתונים את ההשערות :

$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$  ;  $H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$  ברמת מובהקות 0.05, מסקנתו תהיה :

א. לדחות את השערת האפס.

ב. לא לדחות את השערת האפס.

ג. שלא ניתן לדעת את המסקנה עבור רמת מובהקות 0.05.

ד. שלא נתונות בשאלה סטיות התקן של האוכלוסיות, ולכן לא ניתן להסיק דבר.

- (4) במטרה לבדוק האם קיים הבדל בין קווי זהב לבזק מבחינת ממוצע המחירים לשיחות בינ"ל. נגדמו באקראי 7 מדינות ועבור כל מדינה נבדקה עלות דקת שיחה. בהנחה והמחירים מתפללים נורמלית בנו רווח סמך לממוצע ההפרשים וקיבלו :  $-0.0293 < \mu_D < 0.2145$ , רווח הסמך הוא ברמת סמך של 95%.  
לכן מסקנת המחקר היא :
- ברמת מובהקות של 5% לא נוכל לקבוע שקיים הבדל בין החברות.
  - ברמת מובהקות של 5% נקבע שקיים הבדל מובהק בין החברות.
  - לא ניתן לדעת מה המסקנה ברמת מובהקות של 5% כיוון שלא נאמר מה ההגדרה של  $D$ .

### תשובות סופיות

- (1) א.  $-3.8 \leq \mu_D \leq 19$  ב. נכריע שיש אמת בפרסום.
- (2) א.  $-8.5 \leq \mu_X - \mu_Y \leq 26.5$  ב. נכריע שאין הבדל.
- (3) ג'.
- (4) א'.

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 12 - שאלות מסכמות בבדיקת השערות

תוכן העניינים

1. שאלות פתוחות מסכמות ..... 68
2. שאלות רב ברירה ( אמריקאיות ) ..... 70

## שאלות מסכמות בבדיקת השערות על פרמטרים

### שאלות

- (1) שני חוקרים נתבקשו לבדוק את ההשערות הבאות:  $H_0: \mu = 520$ ,  $H_1: \mu > 520$ . כל חוקר בדק מדגם של 225 נחקרים. ידוע ש- $\sigma = 20$ . חוקר א' קבע את כלל ההכרעה לפי  $\alpha = 0.05$ . חוקר ב' מחליט לדחות  $H_0$  אם  $\bar{X} > 522$ .

- למי מהחוקרים הסתברות לטעות מסוג ראשון קטנה יותר?
- מהי ההסתברות לטעות מסוג שני של חוקר ב' עבור  $\mu_1 = 525$ ?
- הסבר ללא חישוב נוסף, האם ההסתברות לטעות מסוג שני עבור  $\mu_1 = 525$ , של חוקר א' שווה/קטנה/גדולה לזו של חוקר ב'?
- חוקר א' קיבל במדגם שלו  $\bar{X} = 523$ . מהי מסקנתו?

- (2) ידוע כי תוחלת מספר הלייקים היומי של דנה היא 12 עם סטיית תקן 5. דני טוען שהוא יותר פופולארי מדנה בכך שהוא מקבל יותר לייקים מדנה ביום. על-מנת לבדוק זאת ספר דני כמה לייקים הוא קיבל בכל יום במהלך 7 שבועות (כלומר, ב-49 ימים) וקיבל סך-הכול 637 לייקים. נניח כי סטיית התקן של מספר הלייקים שדני מקבל ביום זהה לסטיית התקן של דנה.
- מהי רמת המובהקות שכדאי לדני לדרוש, כדי שדנה תשתכנע בצדקת טענתו (שדני פופולרי יותר בכך שהוא מקבל יותר לייקים מדנה ביום)?
  - אם דני משער שתוחלת מספר ה"לייקים" שהוא מקבל ביום היא 14 וקובע רמת מובהקות 2.5%, מהי עוצמת המבחן של דני?

| מוצר / רשת | A | B |
|------------|---|---|
| 1          | 5 | 5 |
| 2          | 4 | 5 |
| 3          | 5 | 3 |
| 4          | 7 | 4 |

- (3) ברצוננו להשוות בין רשתות A לבין B. לשם כך בחרנו 4 מוצרים, ובדקנו את מחיריהם בשתי הרשתות. להלן התוצאות:
- הניחו כי המחירים מתפלגים נורמלית.
- אם יש הנחות נוספות כדי לבצע את המבחן הפרמטרי רשמו אותן.
- בדקו האם קיים הבדל בין הרשתות מבחינת תוחלת המחירים. רמת מובהקות של 5%.
  - חזרו על הסעיף הקודם בהנחה ונבחרו בכל רשת מוצרים באקראי ולא בהכרח אותם מוצרים.

(4) במטרה לבדוק האם סטודנטים הלומדים במכללות משקיעים יותר זמן ללימודים מאשר סטודנטים באוניברסיטאות נדגמו 12 סטודנטים ובדקו לכל סטודנט את הזמן שהוא משקיע ביום ללימודים. הזמנים נמדדו בדקות:

|     |     |     |     |     |     |                        |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------|
| 180 | 140 | 171 | 189 | 156 | 176 | סטודנטים באוניברסיטאות |
| 150 | 204 | 186 | 191 | 190 | 180 | סטודנטים במכללות       |

א. נסחו את ההשערות ובדוק אותן ברמת מובהקות של 5%. רשום את כלל ההכרעה ואת ההנחות הדרושות לביצוע המבחן הפרמטרי.

ב. חשבו את p-value.

ג. ישנה טענה שממוצע זמן ההשקעה בלימודים במכללות הוא 3.5 שעות ביום. בדוק את הטענה כאשר רמת המובהקות הינה 5%.

(5) נתון כי:  $X \sim N(\mu, \sigma^2 = 10^2)$ .

מעוניינים לבדוק את ההשערות:  $H_0: \mu = 40$ ,  $H_1: \mu > 40$ .

נדגמו 25 תצפיות מהאוכלוסייה והתקבל  $\bar{X} = 45$ .

א. חשבו את p-value (מובהקות התוצאה).

ב. חזרו על סעיף א אם ההשערה האלטרנטיבית הייתה:  $H_1: \mu < 40$ .

ג. חזרו על סעיף א אם ההשערה האלטרנטיבית הייתה:  $H_1: \mu \neq 40$ .

## תשובות סופיות

(1) א. חוקר א' ב. 0.0122 ג. גדלה. ד. נדחה  $H_0$ .

(2) א. לפחות 0.0808 ב. 0.7995.

(3) א. לא נדחה  $H_0$ . ב. לא נדחה  $H_0$ .

(4) א. לא נדחה  $H_0$ . ב. בין 5% ל-10%. ג. נדחה  $H_0$ .

(5) א. 0.0062 ב. 0.9938 ג. 0.0124.

### שאלות סיכום – שאלות רב ברירה על בדיקת השערות

(1) בבדיקת השערה חד-צדדית ימנית ברמת מובהקות  $\alpha = 0.01$ , נדחתה השערת האפס. מה הייתה המסקנה לו נבדקה אותה ההשערה באמצעות אותם נתונים ברמת מובהקות  $\alpha = 0.05$ ?

- השערת האפס הייתה נדחית.
- השערת האפס לא הייתה נדחית.
- ההשערה המחקרית הייתה נדחית.
- בהעדר נתונים נוספים, לא ניתן לדעת.

(2) לצורך בדיקת השפעת היפנוזה על לימוד אנגלית, נבחרו 10 זוגות תאומים זהים. אחד התאומים למד אנגלית בהשפעת היפנוזה, והשני ללא היפנוזה. לאחר מכן נערך לשניהם מבחן באנגלית. נניח שציוני המבחן מתפלגים נורמאלית ללא ידיעת השונות האמיתית. המבחן שיש לבצע כאן הוא:

- מבחן Z למדגם יחיד.
- מבחן T למדגם יחיד.
- מבחן T למדגמים בלתי תלויים.
- מבחן T למדגמים מזווגים.

(3) כדי לבדוק את הטענה שגברים רווקים שוקלים פחות מגברים נשואים לקח חוקר מדגם מקרי של 4 גברים ומדד את משקלם לפני נישואיהם ולאחר נישואיהם. הנה התוצאות:

מהן ההשערות הנבדקות? (ההפרש חושב  $X - Y$ )

|    |    |    |    |                   |
|----|----|----|----|-------------------|
| 68 | 82 | 93 | 69 | לפני הנישואין - X |
| 71 | 84 | 88 | 80 | לאחר הנישואין - Y |

- $H_1: \mu_d < 0, H_0: \mu_d = 0$
- $H_1: \mu_X - \mu_Y < 0, H_0: \mu_X - \mu_Y = 0$
- $H_1: \mu_X - \mu_Y < 0, H_0: \mu_X - \mu_Y = 0$
- $H_1: \mu_d > 0, H_0: \mu_d = 0$

(4) חוקר ביצע מחקר ובו עשה טעות מסוג שני לכן:

- השערת האפס נכונה.
- השערת האפס נדחתה.
- השערת האפס לא נדחתה.
- אף אחת מהתשובות לא נכונה בהכרח.

(5) ידוע כי ילד בגיל שנתיים ישן בממוצע 9 שעות בלילה. במדגם של 20 תינוקות בני שנתיים המתגוררים בצפון נמצא, כי ממוצע שעות השינה בלילה הינו 10 עם סטיית תקן של 1.1 במדגם של 10 תינוקות בדרום נמצא, כי ממוצע שעות השינה בלילה הינו 7.9 עם סטיית תקן של 1.1. על מנת להשוות בין ממוצע שעות השינה של ילדים מהצפון לבין זה של כלל הילדים יש לערוך \_\_\_\_\_, ועל מנת להשוות בין ממוצע שעות השינה של ילדים מהדרום לזה של ילדים המתגוררים בצפון יש לערוך \_\_\_\_\_.

יש להניח שההנחות הדרושות מתקיימות.

- מבחן Z למדגם יחיד ; מבחן T למדגם יחיד.
- מבחן T למדגם יחיד ; מבחן T למדגמים תלויים.
- מבחן T למדגם יחיד ; מבחן T למדגמים בלתי תלויים.
- מבחן T למדגמים בלתי תלויים ; מבחן T לממוצע יחיד.

(6) מובהקות התוצאה (PV) היא גם :

- רמת המובהקות המינימאלית לדחות השערת האפס.
- רמת המובהקות המקסימאלית לדחיית השערת האפס.
- רמת המובהקות שנקבעת מראש על ידי החוקר טרם קיבל את תוצאות המחקר.
- רמת המובהקות המינימאלית לאי דחיית השערת האפס.

(7) כדי לבדוק את הטענה שגברים רווקים שוקלים פחות מגברים נשואים לקח חוקר מדגם מקרי של 4 גברים ומדד את משקלם לפני נישואיהם ולאחר נישואיהם. הנה התוצאות :

|    |    |    |    |               |
|----|----|----|----|---------------|
| 68 | 82 | 93 | 69 | לפני הנישואין |
| 71 | 84 | 88 | 80 | לאחר הנישואין |

באיזה התפלגות משתמשים לבדיקת ההשערות, ובכמה דרגות חופש :

- ההתפלגות Z ללא דרגות חופש.
- ההתפלגות T ו-3 דרגות חופש.
- ההתפלגות T ו-6 דרגות חופש.
- ההתפלגות  $\chi^2$  ו-3 דרגות חופש.

- (8) שני סטטיסטיקאים בודקים השערות ברמת מובהקות  $\alpha = 0.05$  על סמך אותו מדגם. סטטיסטיקאי א' בודק את ההשערה:  $H_0: \mu = 20$  כנגד האלטרנטיבה  $H_1: \mu \neq 20$  ומחליט לא לדחות את השערת האפס. סטטיסטיקאי ב' בודק את ההשערה  $H_0: \mu \leq 20$  כנגד האלטרנטיבה  $H_1: \mu > 20$  מה יחליט סטטיסטיקאי ב'?
- לדחות את השערת האפס.
  - לא לדחות את השערת האפס.
  - ללא נתונים נוספים אי אפשר לדעת מה יחליט.
- (9) חוקר בדק השערה מסוימת והחליט לדחות את השערת האפס ברמת מובהקות 5%. מה נכון לומר?
- הוא בוודאות ידחה את השערת האפס ברמת מובהקות 9% ואילו ברמת מובהקות 2% יש לבדוק מחדש.
  - הוא בוודאות לא ידחה את השערת האפס ברמת מובהקות 9% ואילו ברמת מובהקות 2% יש לבדוק מחדש.
  - הוא בוודאות ידחה את השערת האפס ברמת מובהקות 9% וברמת מובהקות 2%.
  - הוא בוודאות לא ידחה את השערת האפס ברמת מובהקות 9% ואילו ברמת מובהקות 2% יש לבדוק מחדש.
- (10) רמת הכולסטרול בדמם של אנשים מתפלג נורמאלית עם תוחלת של 180 מ"ג (ל 100 סמ"ק דם). וסטיית תקן של 10 מ"ג. מעוניינים לבדוק את הטענה שצמחונים הם בעלי רמת כולסטרול נמוכה יותר. נניח שסטיית התקן אצל צמחונים זהה לסטיית התקן של כלל האנשים. במדגם של 20 צמחונים התקבל ממוצע רמת כולסטרול 174.5 מ"ג. אם הוחלט לקבל את הטענה שצמחונים הם בעלי רמת כולסטרול נמוכה יותר איזה סוג טעות אפשרית במסקנה?
- טעות מסוג ראשון.
  - טעות מסוג שני.
  - טעות מסוג שלישי.
  - לא ניתן לדעת כיוון שאנו לא יודעים מה התוחלת האמתית אצל הצמחונים.

- 11** שני חוקרים העוסקים בתחום מחקרי משותף החליטו להסתמך על נתונים של מדגם שפורסם על ידי הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. חוקר א' ניסח השערה דו צדדית ואילו חוקר ב' ניסח השערה חד צדדית. מסקנתו של איזה מבין המשפטים הבאים הוא הנכון בנוגע למסקנות החוקרים?
- אם חוקר א' ידחה את השערת האפס לא ניתן לדעת מה יחליט חוקר ב' באותה רמת מובהקות.
  - אם חוקר א' יקבל את השערת האפס גם חוקר ב' יקבל את השערת האפס באותה רמת מובהקות.
  - אם חוקר ב' ידחה את השערת האפס גם חוקר א' ידחה את השערת האפס באותה רמת מובהקות.
  - אם חוקר א' ידחה את השערת האפס גם חוקר ב' ידחה את השערת האפס בתנאי שרמת המובהקות כפולה בגודלה.
- 12** ידוע מנתוני העבר כי תוחלת הציונים בבחינה בפסיכולוגיה היא 79. הועלתה השערה כי תוחלת הציונים בקרב העולים החדשים נמוכה יותר. לצורך בדיקת הטענה נלקח מדגם מקרי של 47 סטודנטים עולים ונמצא ממוצע של 75. מה משמעות הפרמטר בניסוח ההשערות?
- תוחלת ציוני העולים באוכלוסייה.
  - ממוצע ציוני העולים במדגם.
  - תוחלת ציוני האוכלוסייה מנתוני העבר.
  - ממוצע ציוני שאר האוכלוסייה במדגם.
- 13** חוקר ביצע מחקר וידוע כי עשה טעות מסוג 1. מה מהבאים נכון?
- החוקר דחה את השערת  $H_0$  כאשר היא הייתה נכונה.
  - החוקר דחה את השערת  $H_1$  כאשר היא הייתה נכונה.
  - החוקר לא דחה את השערת  $H_0$  כאשר היא הייתה לא נכונה.
  - המדגם של החוקר שייד בפועל להתפלגות הדגימה של  $H_1$ .
- 14** חוקר ביקש לבחון האם תאומים זהים אשר הופרדו בילדותם שונים מתאומים זהים אשר גדלו יחדיו מבחינת מידת הפער בין התאומים בלחץ הדם. הוא דגם 20 זוגות תאומים מכל אוכלוסייה ומדד את הפרש בין לחץ הדם בכל זוג תאומים. מהו המבחן הסטטיסטי המתאים?
- מבחן T למדגמים בלתי תלויים עם 38 דרגות חופש.
  - מבחן T למדגמים מזווגים, עם 39 דרגות חופש.
  - מבחן T למדגמים בלתי תלויים עם 39 דרגות חופש.
  - מבחן T למדגמים מזווגים עם 38 דרגות חופש.

**15** שלושה חוקרים רצו לבדוק את השפעתו של שידור פרסומות נגד תאונות דרכים על מהירות הנהיגה של נהגים בישראל (השונות של מהירות הנהיגה בישראל אינה ידועה). עידו השווה את מהירות הנהיגה של קבוצת נהגים אחת, חודש לפני שידור הפרסומות וחודש לאחר שידור הפרסומות. רון השווה את מהירות הנהיגה של קבוצת נהגים, שראו את הפרסומות, למהירות הנהיגה של קבוצת נהגים, שלא ראו את הפרסומות. יואב השווה את מהירות הנהיגה של קבוצת נהגים בחודש בו שודרו הפרסומות, למהירות הנהיגה הממוצעת בישראל על פי נתוני משרד התחבורה. המבחנים בהם צריכים החוקרים להשתמש הם:

- שלושתם במבחן T למדגמים בלתי תלויים.
- עידו במבחן T למדגמים מזווגים, ורון ויואב במבחן T למדגמים בלתי תלויים.
- עידו במבחן T למדגמים מזווגים, רון במבחן T למדגמים בלתי תלויים ויואב במבחן T למדגם יחיד.
- עידו במבחן T למדגמים מזווגים, רון ויואב במבחן T למדגם יחיד.

**16** במחקר נמצא שתוצאה היא מובהקת ברמת מובהקות של 5%. מה תמיד נכון?

- הגדלת רמת המובהקות לא תשתנה את מסקנת המחקר.
- הגדלת רמת המובהקות תשנה את מסקנת המחקר.
- הקטנת רמת המובהקות לא תשנה את מסקנת המחקר.
- הקטנת רמת המובהקות תשנה את מסקנת המחקר.

**17** חוקר ערך מבחן דו צדדי ברמת מובהקות של  $\alpha$  והחליט לדחות את השערת האפס. אם החוקר היה עורך מבחן חד צדדי ברמת מובהקות של  $\frac{\alpha}{2}$  אזי בהכרח:

- השערת האפס הייתה נדחית.
- השערת האפס הייתה לא נדחית.
- לא ניתן לדעת מה תהיה מסקנתו במקרה זה.

**18** ליאור ורוני העלו את אותן השערות על ממוצע האוכלוסייה. כמו כן הם התבססו על אותן תוצאות של מדגם. ליאור השתמש בטבלה של התפלגות Z. רוני השתמש בטבלה של התפלגות T. מה נוכל לומר בנוגע להחלטת המחקר שלהם?

- אם ליאור ידחה את השערת האפס אז גם בהכרח רוני.
- אם רוני תדחה את השערת האפס אז גם בהכרח ליאור.
- שני החוקרים בהכרח יגיעו לאותה מסקנה.
- לא ניתן לדעת על היחס בין דחיית השערת האפס של שני החוקרים.

(19) נתון ש  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$  כמו כן נתונות ההשערות הבאות:  $H_0: \mu = \mu_0$ ,  $H_1: \mu < \mu_0$ .

- חוקר בדק את ההשערות הללו על סמך מדגם שכלל 10 תצפיות.  $\sigma^2$  לא הייתה ידועה לחוקר. החוקר החליט לדחות את השערת האפס ברמת מובהקות של 5% לאחר מכן כדי לחזק את קביעתו הוא דגם עוד 5 תצפיות ושקלל את תוצאות אלה גם למדגם כך שכלל עכשיו 15 תצפיות.
- א. כעת בברור הוא ידחה את השערת האפס.
  - ב. כעת הוא דווקא יקבל את השערת האפס.
  - ג. כעת לא ניתן לדעת מה תהיה מסקנתו.

(20) אם חוקר החליט להגדיל את רמת המובהקות במחקר שלו אזי:

- א. הסיכוי לטעות מסוג ראשון גדל.
- ב. העוצמה של המבחן גדלה.
- ג. הסיכוי לטעות מסוג שני גדל.
- ד. תשובות א ו-ב נכונות.

(21) חוקר ביצע מחקר ובו עשה טעות מסוג שני לכן:

- א. השערת האפס נכונה.
- ב. השערת האפס נדחתה.
- ג. השערת האפס לא נדחתה.
- ד. אף אחת מהתשובות לא נכונה בהכרח.

(22) מה המצב הרצוי לחוקר המבצע בדיקת השערה:

|             |          |
|-------------|----------|
| $1 - \beta$ | $\alpha$ |
| א. גדולה    | גדולה    |
| ב. גדולה    | קטנה     |
| ג. קטנה     | גדולה    |
| ד. קטנה     | קטנה     |

(23) נערך שינוי בכלל ההחלטה של בדיקת השערה מסוימת ובעקבותיו אזור דחיית  $H_0$  קטן. כל שאר הגורמים נשארו ללא שינוי. כתוצאה מכך:

- א. הן  $\alpha$ , והן  $(1 - \beta)$ , יקטנו.
- ב.  $\alpha$  יישאר ללא שינוי ואילו  $(1 - \beta)$  יגדל.
- ג.  $\alpha$  יגדל ואילו  $(1 - \beta)$  יקטן.
- ד. הן  $\alpha$  והן  $(1 - \beta)$  יגדלו.

**(24)** ידוע כי לחץ דם תקין באוכלוסייה הוא 120. רופא מניח שלחץ הדם בקרב עיתונאים גבוה יותר מהממוצע באוכלוסייה. הוא לקח מדגם של 60 עיתונאים וקיבל ממוצע 137. על סמך המדגם, הוא בודק טענתו ברמת מובהקות 0.02 ומסיק שלחץ הדם בקרב העיתונאים אינו גבוה יותר. מה הטעות האפשרית שהרופא עושה?

- א. טעות מסוג ראשון.
- ב. טעות מסוג שני.
- ג. טעות מסוג שלישי.
- ד. אין טעות במסקנתו.

**(25)** בבדיקת השערות התקבל ש-  $p\text{-value} = 0.02$ . מה תהיה מסקנת חוקר המשתמש ברמת מובהקות 1%? בחר בתשובה הנכונה:

- א. יקבל את השערת האפס בכל מקרה.
- ב. ידחה את השערת האפס מקרה.
- ג. ידחה את השערת האפס רק אם המבחן הנו דו צדדי.
- ד. לא ניתן לדעת כי אין מספיק נתונים.

**(26)** מובהקות התוצאה (PV) היא גם:

- א. רמת המובהקות המינימאלית לדחות השערת האפס.
- ב. רמת המובהקות המקסימאלית לדחיית השערת האפס.
- ג. רמת המובהקות שנקבעת מראש על ידי החוקר טרם קיבל את תוצאות המחקר.
- ד. רמת המובהקות המינימאלית לאי דחיית השערת האפס.

**(27)** בבדיקת השערות מסוימת התקבל  $p\text{ value} = 0.0254$ , לכן:

- א. ברמת מובהקות של 0.01 אך לא של 0.05 נדחה את  $H_0$ .
- ב. ברמת מובהקות של 0.01 ושל 0.05 לא נדחה את  $H_0$ .
- ג. ברמת מובהקות של 0.05 אך לא של 0.01 נדחה את  $H_0$ .
- ד. ברמת מובהקות של 0.01 ושל 0.05 נדחה את  $H_0$ .

**(28)** רמת המובהקות במחקר הייתה 2% לכן.

- א. בסיכוי של 2% נדחה את השערת האפס.
- ב. בסיכוי של 2% לא נדחה את השערת האפס.
- ג. בסיכוי של 2% השערת האפס לא נכונה.
- ד. אף תשובה לא נכונה.

(29) נתון ש:  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ . כמו כן נתונות ההשערות הבאות:  $H_0: \mu = \mu_0$ ,  $H_1: \mu < \mu_0$ .

חוקר בדק את ההשערות הללו על סמך מדגם שכלל 10 תצפיות.

$\sigma^2$  לא הייתה ידועה לחוקר. החוקר החליט לדחות את השערת האפס ברמת מובהקות של 5%. אם הוא היה מגדיל את רמת המובהקות ל-10% אזי:

- כעת בברור הוא ידחה את השערת האפס.
- כעת הוא דווקא יקבל את השערת האפס.
- כעת לא ניתן לדעת מה תהיה מסקנתו.

(30) לצורך בדיקת השפעת היפנוזה על לימוד אנגלית, נבחרו 10 זוגות תאומים

זהים. אחד התאומים למד אנגלית בהשפעת היפנוזה, והשני ללא היפנוזה.

לאחר מכן נערך לשניהם מבחן באנגלית. נניח שציוני המבחן מתפלגים

נורמאליים ללא ידיעת השונות האמתית. מספר דרגות החופש במבחן הוא:

א. 9

ב. 19

ג. 18

ד. 8

(31) בתחנת טיפת חלב מסוימת יש שני מכשירי שקילה. על מנת להשוות בין שני

המשקלים נדגמו 4 תינוקות. כל תינוק בן חודשיים נשקל בכל אחד

מהמשקלים. להלן תוצאות השקילה (בק"ג):

|               |     |     |     |     |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| משקל במכשיר 1 | 2.5 | 0.7 | 9.6 | 4.5 |
| משקל במכשיר 2 | 0.5 | 1.7 | 6.9 | 3.5 |

נניח שהמשקלים מתפלגים נורמליים.

המבחן שיש לבצע כאן הוא:

- מבחן Z למדגם יחיד.
- מבחן T למדגם יחיד.
- מבחן T למדגמים בלתי תלויים.
- מבחן T למדגמים מזווגים.

(32) כדי להשוות בין שני אצים נדגמו 5 תוצאות מריצת 100 מטר של כל אצן. זמני

הריצה נרשמו ויש להניח שמתפלגים נורמליים. המטרה להשוות בין האצנים.

המבחן שיש לבצע כאן הוא:

- מבחן Z למדגם יחיד.
- מבחן T למדגם יחיד.
- מבחן T למדגמים בלתי תלויים.
- מבחן T למדגמים מזווגים.

**(33)** סטטיסטיקאי ערך מבחן סטטיסטי. הוא חישב את עוצמת המבחן וקיבל 0. המשמעות של תוצאה זו היא:

- לעולם לא לדחות את השערת האפס כאשר היא לא נכונה.
- תמיד לדחות את השערת האפס כאשר היא נכונה.
- לעולם לא לדחות את השערת האפס כאשר היא נכונה.
- תמיד לדחות את השערת האפס כאשר היא לא נכונה.

**(34)** סטטיסטיקאי נתבקש לאמוד את הפרש הממוצעים של שני טיפולים לפי שני מדגמים מקריים בלתי תלויים. הוא חישב רווח סמך להפרש ברמת סמך 0.98, וקיבל את הרווח  $-2 < \mu_1 - \mu_2 < 4.5$ . אילו יתבקש החוקר לבדוק לפי אותם נתונים את ההשערות:  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ ;  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ ,

- ברמת מובהקות 0.05 מסקנתו תהיה:
- לדחות את השערת האפס.
  - לא לדחות את השערת האפס.
  - שלא ניתן לדעת את המסקנה עבור רמת מובהקות 0.05.
  - שלא נתונות בשאלה סטיות התקן של האוכלוסיות, ולכן לא ניתן להסיק דבר.

**(35)** במטרה לבדוק האם קיים הבדל בין קווי זהב לבזק מבחינת ממוצע המחירים לשיחות בינ"ל. נגדמו באקראי 7 מדינות ועבור כל מדינה נבדקה עלות דקת שיחה. בהנחה והמחירים מתפללים נורמלית בנו רווח סמך לממוצע ההפרשים וקיבלו:  $-0.0293 < \mu_D < 0.2145$ . רווח הסמך הוא ברמת סמך של 95%. לכן מסקנת המחקר היא:

- ברמת מובהקות של 5% לא נוכל לקבוע שקיים הבדל בין החברות.
- ברמת מובהקות של 5% נקבע שקיים הבדל מובהק בין החברות.
- לא ניתן לדעת מה המסקנה ברמת מובהקות של 5% כיוון שלא נאמר מה ההגדרה של  $D$ .

**(36)** אם רמת מובהקות של מבחן סטטיסטי הינה 0, הכוונה היא:

- תמיד נדחה  $H_0$  כאשר היא נכונה, אך לא תמיד נדחה אותה כאשר היא לא נכונה.
- לא נדחה את  $H_0$  אף פעם.
- לא נדחה את  $H_0$  כאשר היא נכונה אך יתכן ונדחה אותה כאשר היא לא נכונה.
- כל התשובות לא נכונות.

37) חוקר ביצע ניסוי. הוא ניסח את ההשערות הבאות:  $H_0: \mu = 10$ ,  $H_1: \mu \neq 10$ .

לצורך בדיקה הוא לקח מדגם מקרי בגודל 5 מתוך אוכלוסייה המתפלגת נורמאלית עם שונות לא ידועה. על סמך תוצאות המדגם הוא חישב וקיבל:  $t_x = -2.63$ . לכן המסקנה היא:

- הוא ידחה  $H_0$  ברמת מובהקות 0.1 אך לא כן ברמת מובהקות 0.05.
- הוא ידחה  $H_0$  ברמת מובהקות 0.05 אך לא כן ברמת מובהקות 0.025.
- הוא ידחה  $H_0$  ברמת מובהקות 0.025 אך לא כן ברמת מובהקות 0.01.
- הוא לא ידחה  $H_0$  ברמת מובהקות 0.1.

38) האיגוד האמריקני לרפואת ילדים מפרסם הנחיות חדשות הקובעות כי יש ליטול תוספת יוד במהלך תקופת ההיריון וההנקה. מחסור במינרל זה עלול לגרום לפגיעה מוחית אצל העובר והתינוק. החלטה זו נקבעה על סמך מחקר בו השתתפו 1050 נשים שנטלו יוד במהלך תקופת ההיריון וההנקה. מתוך הנשים שהשתתפו במחקר, רק ל-21 נמצאו ילדים בעלי פגיעה מוחית לעומת 3% באוכלוסייה הכללית. בנוסף, פורסם שהאיגוד האמריקאי מגיע למסקנותיו על סמך רמת מובהקות של 0.5%. מה הסיכוי לבצע טעות מסוג ראשון במחקר?

- 0.005
- 0.03
- 0.0287
- 0.05

39) חוקרת שיערה, כי משקלן של נשים כשנה לאחר החתונה גבוה ממשקלן בעת החתונה. החוקרת דגמה 15 נשים, ובדקה את משקלן בשתי נקודות הזמן (בעת החתונה, ושנה לאחריה), אך לא מצאה הבדל מובהק ברמת מובהקות 0.01. בהנחה, כי במצאות השערתה של החוקרת נכונה, סביר כי אם היא תגדיל את גודל המדגם, אזי:

- יקטן הסיכוי לטעות מסוג שני ( $\beta$ ).
- תגדל רמת הביטחון ( $1 - \alpha$ ).
- אף תשובה לא נכונה.
- כל התשובות נכונות.

40) איזה מהמשפטים הבאים נכון תמיד?

- $POWER + \alpha + \beta = 1$
- $POWER = 0.5 - \beta$
- $POWER + \alpha = 1$
- $\beta + \alpha = 1$
- הכול לא נכון.

- 41) מה נכון לומר לגבי הנחת שיוויון השונויות במבחן T למדגמים בלתי תלויים?
- היא אומרת שהשונויות המדגמיות שוות.
  - בלעדיה אין שום דרך לבדוק השערה על הפרש בין תוחלות.
  - היא חשובה הן עבור מדגמים מזווגים והן עבור מדגמים בלתי תלויים.
  - אף תשובה אינה נכונה.
- 42) חוקר החליט לא לדחות השערה ברמת מובהקות של  $\alpha$ . במידה וחוקר זה היה בודק השערה זו ברמת מובהקות של  $2\alpha$  על סמך אותם נתונים, האם ההשערה תדחה?
- ההשערה תדחה.
  - ההשערה לא תדחה.
  - התשובה תלויה בעוצמת המבחן.
  - לא ניתן לדעת בוודאות אם ההשערה תדחה או לא.
- 43) חוקרת שיערה, כי בגילאי הגן בנות יותר תקשורתיות מבנים. אם החוקרת תדגום אקראית 30 בנים ו-30 בנות, ובמדגם יתקבל אותו ממוצע של ציון תקשורת. סטטיסטי המבחן יהיה:
- א. אפס
  - ב. חיובי
  - ג. שלילי
  - ד. לא ניתן לדעת
- 44) עוצמה שווה ל-1 פרושה:
- א. לעולם לא לדחות את השערת האפס כאשר היא נכונה.
  - ב. תמיד לדחות את השערת האפס כאשר היא נכונה.
  - ג. לעולם לא לדחות את השערת האפס כאשר היא לא נכונה.
- 45) מה מהבאים נכון לגבי מבחן T למדגמים מזווגים?
- א. כל התצפיות במחקר אינן תלויות זו בזו.
  - ב. כל התצפיות במחקר תלויות זו בזו.
  - ג. כל הצמדים של תצפיות במחקר אינם תלויים זה בזה.
  - ד. התצפיות בתוך כל צמד אינן תלויות זו בזו.

- (46)** לבדיקת ההשערה החד צדדית על התוחלת של התפלגות נורמלית  $H_0: \mu \geq 10$ ,  $H_1: \mu < 10$ . נלקח מדגם והתקבלה רמת מובהקות מינימאלית לדחיית השערת האפס 0.058. לו רצינו לבדוק את ההשערה הדו צדדית  $H_0: \mu = 10$ ,  $H_1: \mu \neq 10$  אז על סמך תוצאת אותו המדגם ברמת מובהקות 0.05:
- ניתן להכריע בין ההשערות רק אם שונות האוכלוסייה נתונה.
  - מקבלים את השערת האפס.
  - דוחים את השערת האפס.
  - לא ניתן להכריע בין ההשערות שכן חסרים נתונים.

- (47)** לבדיקת ההשערה החד צדדית ימנית  $H_0: \mu = 55$ ,  $H_1: \mu = 65$ . נלקח מדגם מקרי בגודל  $n$  מאוכלוסייה בעלת התפלגות נורמלית ושונות  $\sigma^2$ . רמת המובהקות היא 5%. נמצא שהעוצמה היא 0.9. להלן 3 טענות:
- עבור מדגם בגודל  $n$  וברמת מובהקות 5% לבדיקת ההשערות:  $H_0: \mu = 55$ ,  $H_1: \mu = 60$  העוצמה תהיה גדולה מ-0.9.
  - עבור מדגם בגודל  $2n$  ורמת מובהקות 5% לבדיקת ההשערות:  $H_0: \mu = 55$ ,  $H_1: \mu = 65$  העוצמה תהיה גדולה מ-0.9.
  - עבור מדגם בגודל  $n$  ורמת מובהקות 10% לבדיקת ההשערות:  $H_0: \mu = 55$ ,  $H_1: \mu = 65$  העוצמה תהיה קטנה מ-0.9.
- שלושת הטענות אינן נכונות.
  - טענות 2 ו-3 אינן נכונות וטענה 1 נכונה.
  - טענות 1 ו-2 נכונות וטענה 3 אינה נכונה.
  - טענות 1 ו-3 אינן נכונות וטענה 2 נכונה.

## תשובות סופיות:

| שאלה | תשובה | שאלה | תשובה |
|------|-------|------|-------|
| 1    | א     | 25   | א     |
| 2    | ד     | 26   | א     |
| 3    | א     | 27   | ג     |
| 4    | ג     | 28   | ד     |
| 5    | ג     | 29   | א     |
| 6    | א     | 30   | א     |
| 7    | ב     | 31   | ד     |
| 8    | ג     | 32   | ג     |
| 9    | א     | 33   | א     |
| 10   | א     | 34   | ג     |
| 11   | א     | 35   | א     |
| 12   | א     | 36   | ג     |
| 13   | א     | 37   | א     |
| 14   | א     | 38   | א     |
| 15   | ג     | 39   | א     |
| 16   | א     | 40   | ה     |
| 17   | ג     | 41   | ד     |
| 18   | ב     | 42   | ד     |
| 19   | ג     | 43   | א     |
| 20   | ד     | 44   | ד     |
| 21   | ג     | 45   | ג     |
| 22   | ג     | 46   | ב     |
| 23   | א     | 47   | ד     |
| 24   | ב     |      |       |

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 13 - ניתוח שונות חד כיוונית

תוכן העניינים

1. כללי ..... 83

## ניתוח שונות חד כיוונית

### רקע תיאורטי

ניתוח שונות (חד כיוונית) הוא מבחן להשוואת תוחלות  $(\mu_1, \dots, \mu_k)$  של  $k$  אוכלוסיות שונות. לכן, בניתוח שונות, השערות המחקר הן:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k \quad (\text{התוחלות של כל האוכלוסיות שוות})$$

$$H_1: \quad \text{אחרת} \quad (\text{לפחות שתיים מהתוחלות שונות})$$

### ההנחות הדרושות לביצוע התהליך:

(2) בכל אוכלוסייה מתוך  $k$  האוכלוסיות ההתפלגות נורמלית.

(3) כל האוכלוסיות הן עם אותה שונות  $\sigma^2$ .

(4) המדגמים בלתי תלויים זה בזה.

ישנו משתנה המבדיל בין הקבוצות השונות, הוא המשתנה הבלתי תלוי הנקרא גורם (factor). משתנה זה הוא קטגוריאלי עם  $k$  רמות (levels). כדי לבצע את התהליך יש לבצע מדגם מכל אוכלוסייה: נסמן ב- $n_i$  את גודל המדגם בקבוצה  $i$ .

$$n = \sum_{i=1}^k n_i \quad \text{- מספר התצפיות סך הכול (בכל המדגמים).}$$

$\bar{X}_1$  - ממוצע המדגם הראשון,  $\dots, \bar{X}_k$  - ממוצע המדגם ה- $k$ .  
 $\bar{X}$  - ממוצע כללי (של כל המדגמים).

$$SS_B = \sum_{i=1}^k n_i [\bar{X}_i - \bar{X}]^2 \quad \text{סכום ריבועים בין הקבוצות:}$$

$$SS_W = \sum_{i=1}^k n_i [n_i - 1] \cdot \hat{S}_i^2 \quad \text{סכום ריבועים בתוך הקבוצות:}$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} [X_{ij} - \bar{X}]^2 \quad \text{סכום ריבועים כללי:}$$

$$SST = SSB + SSW$$

יש למלא את טבלת ניתוח השונות הבאה:

| מקור השונות      | סכום<br>הריבועים<br>SS | דרגות חופש<br>$df$ | ממוצע<br>הריבועים<br>MS | F                 |
|------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|
| B - בין הקבוצות  | SSB                    | $k-1$              | $\frac{SSB}{k-1}$       | $\frac{MSB}{MSW}$ |
| W - בתוך הקבוצות | SSW                    | $n-k$              | $\frac{SSW}{n-k}$       |                   |
| T - סה"כ         | SST                    | $n-1$              |                         |                   |

$$F = \frac{\frac{SSB}{k-1}}{\frac{SSW}{n-k}} \sim F(k-1, n-k)$$

אזור דחיית  $H_0$  :  $1-\alpha : F_{(k-1, n-k)}$

## שאלות

- (1) מחקר מעוניין להשוות בין שלוש תרופות לשיכוך כאבים במטרה לבדוק האם קיים הבדל בין התרופות מבחינת הזמן בדקות שלוקח עד שהתרופה משפיעה. לצורך הבדיקה נלקחו 15 אנשים שסובלים מכאבי ראש. אנשים אלה חולקו באקראי לשלוש: קבוצה 1 קיבלה "אקמול" קבוצה 2 קיבלה "אופטלגין" קבוצה 3 קיבלה "נורופן". כל אדם במחקר מסר את מספר הדקות עד שהתרופה השפיעה עליו.
- א. מהו המשתנה התלוי ומהו המשתנה הבלתי תלוי במחקר?  
מהו ה"גורם" וכמה רמות יש לו?
- ב. מהו המבחן הסטטיסטי המתאים כאן? רשמו את ההשערות.
- ג. מה הן ההנחות הדרושות כדי לבצע את המבחן הסטטיסטי שהצעת בסעיף הקודם?

- (2) בעיר מסוימת שלושה בתי ספר תיכון. ראש העיר התעניין לבדוק האם קיים הבדל בהצלחה של בתי הספר במקצוע מתמטיקה. לצורך כך הוא דגם מספר תלמידים שנבחנו במבחן הבגרות במתמטיקה ברמה של 3 יחידות בעירו ובדק עבור כל תלמיד מה ציון הבגרות שלו במתמטיקה. להלן הציונים שהתקבלו:

| "הס" | "רבין" | "המתמיד" |
|------|--------|----------|
| 85   | 98     | 78       |
| 83   | 62     | 65       |
| 74   | 55     | 70       |
| 85   | 80     | 90       |
| 75   |        | 56       |

- א. מהו המבחן הסטטיסטי המתאים?  
רשמו את ההשערות ואת ההנחות של המבחן.
- ב. מהו גודל המדגם? מהו המשתנה הבלתי תלוי (factor) כמה רמות יש לו?
- ג. חשבו את הממוצע ואת סטיית התקן של הציונים בכל אחד מהמדגמים.
- ד. מלאו את טבלת ANOVA.
- ה. רשמו את כלל ההכרעה למבחן שהוצע בסעיף א ברמת מובהקות של 5%.
- ו. האם קיים הבדל בין בתי הספר בעיר מבחינת רמת הצלחת התלמידים במקצוע המתמטיקה? ענה על סמך הסעיפים הקודמים.

- (3) מעוניינים לבדוק האם יש הבדל בהשפעה של שיטות טפול שונות על לחץ הדם הסיסטולי (SBP) באוכלוסייה של קשישים. נבדקו 4 שיטות שונות. בטבלה המצורפת מרוכזים ממצאי המחקר.

| השיטה      | A   | B   | C   | D   |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| גודל המדגם | 12  | 14  | 8   | 12  |
| הממוצע     | 178 | 172 | 180 | 182 |
| סטיית התקן | 4   | 8   | 5   | 3   |

- א. רשמו את השערות המחקר וההנחות הדרושות כדי לבצע את המבחן המתאים.
- ב. מה מסקנת המחקר ברמת מובהקות של 5%?
- ג. האם יש צורך לבצע השוואות מרובות?

4) שלושה אופים נתבקשו להכין עוגת שוקולד. לכל אופה בדקו את משך זמן ההכנה בדקות. כל אופה נדרש לאפות בכל יום 4 עוגות.

האם קיים הבדל בין האופים מבחינת תוחלת זמני ההכנה של העוגות?

בדקו ברמת מובהקות של 5%.

| האופה              | ניר   | מוזס  | שלום |
|--------------------|-------|-------|------|
| סכום הזמנים        | 206   | 212   | 182  |
| סכום ריבועי הזמנים | 10644 | 11250 | 8982 |

5) להלן טבלת ניתוח שונות חד כיוונית. במחקר בחנו 4 סוגי סוללות. רצו לבדוק האם לסוג הסוללה השפעה על תוחלת אורך החיים שלה. הפעילו את כל הסוללות על אותו מכשיר ובדקו את אורך החיים של כל סוללה בשעות. מה המסקנה ברמת מובהקות של 10%? רשמו את ההשערות וההנחות הדרושות.

### ANOVA

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F     | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 10.317         | 3  | 3.439       | 1.361 | .279 |
| Within Groups  | 60.648         | 24 | 2.527       |       |      |
| Total          | 70.964         | 27 |             |       |      |

6) להלן טבלת ANOVA בטבלה הושמטו חלקים. השלימו את החלקים בטבלה שהושמטו ומסומנים באותיות.

### ANOVA

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|---|------|
| Between Groups | 357.450        | ב  | ג           | ה | .000 |
| Within Groups  | א              | 17 | ד           |   |      |
| Total          | 522.950        | 19 |             |   |      |

7) חברת תרופות לקחה 15 אנשים ברמת בריאות דומה. החברה חילקה את האנשים ל שלוש קבוצות שוות בגודלן. לכל קבוצה ניתנה אותה תרופה במינון שונה (dosage). המינונים שניתנו הם: 10 מ"ג, 20 מ"ג ו-30 מ"ג. לאחר שעה מזמן לקיחת התרופה נבדק קצב פעימות הלב של כל אדם (pulse). הנתונים הוזנו לתוכנה סטטיסטית והתקבלו התוצאות הבאות:

## ANOVA

pulse

| ANOVA          |                |    |             |        |      | Tukey HSD <sup>a</sup> |   |                         |         |
|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|------------------------|---|-------------------------|---------|
| pulse          |                |    |             |        |      | pulse                  |   |                         |         |
|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig. | dosage                 | N | Subset for alpha = 0.05 |         |
|                |                |    |             |        |      |                        |   | 1                       | 2       |
| Between Groups | 414.400        | 2  | 207.200     | 19.733 | .000 | 30.00                  | 5 | 71.0000                 |         |
| Within Groups  | 126.000        | 12 | 10.500      |        |      | 20.00                  | 5 |                         | 80.2000 |
| Total          | 540.400        | 14 |             |        |      | 10.00                  | 5 |                         | 83.4000 |
|                |                |    |             |        |      | Sig.                   |   | 1.000                   | .299    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

## Post Hoc Tests

## Multiple Comparisons

 pulse  
 Tukey HSD

| (I) dosage | (J) dosage | Mean Difference (I-J)  | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval |             |
|------------|------------|------------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
|            |            |                        |            |      | Lower Bound             | Upper Bound |
| 10.00      | 20.00      | 3.20000                | 2.04939    | .299 | -2.2675                 | 8.6675      |
|            | 30.00      | 12.40000 <sup>*</sup>  | 2.04939    | .000 | 6.9325                  | 17.8675     |
| 20.00      | 10.00      | -3.20000               | 2.04939    | .299 | -8.6675                 | 2.2675      |
|            | 30.00      | 9.20000 <sup>*</sup>   | 2.04939    | .002 | 3.7325                  | 14.6675     |
| 30.00      | 10.00      | -12.40000 <sup>*</sup> | 2.04939    | .000 | -17.8675                | -6.9325     |
|            | 20.00      | -9.20000 <sup>*</sup>  | 2.04939    | .002 | -14.6675                | -3.7325     |

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

- בדקו ברמת מובהקות של 5% האם קיים הבדל בין המינונים השונים מבחינת תוחלת הדופק של האנשים? רשמו את ההשערות וההנחות הדרושות לצורך פתרון.
- הסבירו ללא חישוב כיצד הייתה משתנה התשובה לסעיף הקודם אם הינו מעלים את הדופק של כל התצפיות במחקר ב-2.
- האם יש צורך במחקר בהשוואת מרובות. נמקו!
- לטבלת ANOVA צורפו טבלאות של השוואות מרובות בשיטה הנקראת "טוקי". ברמת בטחון של 95% מה הם הממצאים לפי שיטה זו?

- (8) בעיר מסוימת רצו לבדוק האם קיים הבדל ברמה של התלמידים בין בתי הספר השונים בעיר. ביצעו מדגם מכל בית ספר ונתנו מבחן זהה לכל הנדגמים. לאחר מכן ריכזו את הנתונים בתוכנה סטטיסטית והפעילו ניתוח שונות. מצורפים הפלטים שהתקבלו. ענו על הסעיפים הבאים :
- כמה בתי ספר יש בעיר?
  - כמה תלמידים השתתפו בסך הכול במחקר?
  - האם קיים הבדל בין בתי הספר בעיר מבחינה רמת הציונים? בדקו ברמת מובהקות של 1%
  - בביטחון של 95% אילו בתי ספר שונים זה מזה ברמת התלמידים? נמקו והסבירו.

#### Oneway

##### ANOVA

grade

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Between Groups | 7799.600       | 4  | 1949.900    | 13.586 | .000 |
| Within Groups  | 2870.400       | 20 | 143.520     |        |      |
| Total          | 10670.000      | 24 |             |        |      |

## Post Hoc Tests

## Multiple Comparisons

grade

Scheffe

| (I) school | (J) school | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig.  | 95% Confidence Interval |             |
|------------|------------|-----------------------|------------|-------|-------------------------|-------------|
|            |            |                       |            |       | Lower Bound             | Upper Bound |
| 1.00       | 2.00       | 5.40000               | 7.57681    | .971  | -20.2543                | 31.0543     |
|            | 3.00       | 36.80000*             | 7.57681    | .003  | 11.1457                 | 62.4543     |
|            | 4.00       | 36.40000*             | 7.57681    | .003  | 10.7457                 | 62.0543     |
|            | 5.00       | -2.60000              | 7.57681    | .998  | -28.2543                | 23.0543     |
| 2.00       | 1.00       | -5.40000              | 7.57681    | .971  | -31.0543                | 20.2543     |
|            | 3.00       | 31.40000*             | 7.57681    | .011  | 5.7457                  | 57.0543     |
|            | 4.00       | 31.00000*             | 7.57681    | .013  | 5.3457                  | 56.6543     |
|            | 5.00       | -8.00000              | 7.57681    | .888  | -33.6543                | 17.6543     |
| 3.00       | 1.00       | -36.80000*            | 7.57681    | .003  | -62.4543                | -11.1457    |
|            | 2.00       | -31.40000*            | 7.57681    | .011  | -57.0543                | -5.7457     |
|            | 4.00       | -.40000               | 7.57681    | 1.000 | -26.0543                | 25.2543     |
|            | 5.00       | -39.40000*            | 7.57681    | .001  | -65.0543                | -13.7457    |
| 4.00       | 1.00       | -36.40000*            | 7.57681    | .003  | -62.0543                | -10.7457    |
|            | 2.00       | -31.00000*            | 7.57681    | .013  | -56.6543                | -5.3457     |
|            | 3.00       | .40000                | 7.57681    | 1.000 | -25.2543                | 26.0543     |
|            | 5.00       | -39.00000*            | 7.57681    | .001  | -64.6543                | -13.3457    |
| 5.00       | 1.00       | 2.60000               | 7.57681    | .998  | -23.0543                | 28.2543     |
|            | 2.00       | 8.00000               | 7.57681    | .888  | -17.6543                | 33.6543     |
|            | 3.00       | 39.40000*             | 7.57681    | .001  | 13.7457                 | 65.0543     |
|            | 4.00       | 39.00000*             | 7.57681    | .001  | 13.3457                 | 64.6543     |

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## Homogeneous Subsets

grade

Scheffe<sup>a</sup>

| school | N | Subset for alpha = 0.05 |         |
|--------|---|-------------------------|---------|
|        |   | 1                       | 2       |
| 3.00   | 5 | 45.0000                 |         |
| 4.00   | 5 | 45.4000                 |         |
| 2.00   | 5 |                         | 76.4000 |
| 1.00   | 5 |                         | 81.8000 |
| 5.00   | 5 |                         | 84.4000 |
| Sig.   |   | 1.000                   | .888    |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

## תשובות סופיות

(1) א. משתנה בלתי תלוי : סוג התרופה. ב. ניתוח שונות חד כיוונית

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 : otherwise$$

משתנה תלוי : הזמן עד להשפעת התרופה בדקות.

ג. 1. מדגמים בלתי תלויים.

2. שוויון שונויות.

3. משתנים מתפלגים נורמלית.

(2) א. המבחן לניתוח שונות חד כיוונית.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 : otherwise$$

הנחות :

1. מדגמים בלתי תלויים.

2. משתנים מתפלגים נורמלית.

3. שוויון שונויות.

ב. גודל המדגם : 14. משתנה ב"ת : בית הספר, בעל 3 רמות.

$$g. \bar{X} = 71.8, \hat{S} = 12.93, \bar{X} = 73.75, \hat{S} = 19.29, \bar{X} = 80.4, \hat{S} = 5.46$$

ד. להלן טבלה :

| מקור השונות | SS      | df | MS    | F    |
|-------------|---------|----|-------|------|
| B           | 200.6   | 2  | 100.3 |      |
| W           | 1904.75 | 11 | 173.2 |      |
| סה"כ        | 2105.35 | 13 |       | 0.58 |

$$h. F > 3.98$$

ו. נקבל את  $H_0$ .

(3) א.  $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$   
 $H_1 : otherwise$   
 ב. נדחה את  $H_0$ .  
 ג. כן.

הנחות :

1. מדגמים בלתי תלויים.

2. שוויון שונויות.

3. משתנים מתפלגים נורמלית.

(4) נקבל את  $H_0$  : נכריע שאין הבדל מובהק בין האופים מבחינת תוחלת זמן הכנה.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \quad (5)$$

$$H_1 : otherwise$$

הנחות :

1. מדגמים בלתי תלויים.

2. שוויון שונות.

3. משתנים מתפלגים נורמלית.

נקבל את  $H_0$  : לסוג סוללה אין השפעה של תוחלת החיים ברמת ביטחון של 10%.

(6) להלן טבלה :

### ANOVA

|                | Sum of Squares | df  | Mean Square | F       | Sig. |
|----------------|----------------|-----|-------------|---------|------|
| Between Groups | 357.450        | 2 ב | 178.725 ג   | 18.36 ה | .000 |
| Within Groups  | 165.5 א        | 17  | 9.735 ד     |         |      |
| Total          | 522.950        | 19  |             |         |      |

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \quad (7)$$

$$H_1 : otherwise$$

הנחות :

1. מדגמים בלתי תלויים.

2. משתנים מתפלגים נורמלית.

3. שוויון שונות.

נדחה את  $H_0$  : ברמת ביטחון של 5% קיים הבדל במינונים השונים מבחינת תוחלת הדופק.

$$\mu_{20} = \mu_{10} > \mu_{30} \quad \text{ד.} \quad \text{ג. כן.} \quad \text{ב. ראה וידאו.} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$25 \quad \text{ב.} \quad 5 \quad \text{א.} \quad (8)$$

ג. נדחה את  $H_0$  : יש לפחות שני בתי ספר בעיר עם תוחלת רמת ציונים שונה.

$$(\mu_3 = \mu_4) < (\mu_1 = \mu_2 = \mu_3) \quad \text{ד.}$$

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 14 - ניתוח שונות דו כיווני

תוכן העניינים

|           |                                       |
|-----------|---------------------------------------|
| 92        | 1. הקדמה                              |
| 102       | 2. אפקטים פשוטים, עיקריים ואינטראקציה |
| 114       | 3. תהליך ניתוח שונות דו כיווני        |
| (ללא ספר) | 4. ניתוח פלטים                        |

## ניתוח שונות דו-כיווני - הקדמה

### רקע

ראשית, נחזור על עיקרי ניתוח השונות החד-כיווני (חד-גורמי).

בניתוח שונות חד-כיווני יש משתנה תלוי יחיד, שהוא כמותי, ומשתנה בלתי תלוי יחיד, שהוא משתנה קטגוריאלי (משתנה שהערכים שלו שייכים למספר סופי של קטגוריות). המשתנה הקטגוריאלי נקרא לעתים גם גורם (פקטור), והקטגוריות שלו נקראות רמות. המטרה בניתוח שונות חד-כיווני היא לבדוק האם לגורם יש השפעה מובהקת על המשתנה התלוי. השערת האפס של המחקר בניתוח שונות חד-כיווני היא שבכל הקטגוריות יש אותה התוחלת, והשערת המחקר טוענת שיש לפחות שתי קטגוריות שבהן התוחלות שונות.

### דוגמה: (פתרון בהקלטה)

נבדקו שלושה סוגי דיאטות על אנשים בעלי משקל עודף. נבחרו 30 מטופלים בעלי משקל עודף, והם חולקו באקראי לשלוש קבוצות שוות בגודלן, כך שכל קבוצה קיבלה דיאטה נחקרת אחרת. כעבור שלושה חודשים בדקו את מספר הקילוגרמים שהפחית כל מטופל ממשקלו בתקופה זו. מטרת המחקר הייתה לבדוק האם קיים הבדל בין הדיאטות מבחינת ההפחתה במשקל.

- מהו המשתנה התלוי במחקר?
- מהו המשתנה הבלתי תלוי במחקר? כמה רמות יש לו?
- מה הן השערות המחקר?
- מהו המבחן הסטטיסטי המתאים?

בניתוח שונות דו-כיווני אנו מוסיפים עוד משתנה בלתי תלוי למחקר, כלומר עוד גורם שאנו רוצים לבדוק איך הוא משפיע על המשתנה התלוי. לכן בניתוח שונות דו-כיווני יש משתנה תלוי כמותי יחיד ושני משתנים בלתי תלויים שכל אחד מהם קטגוריאלי. כזכור, למשתנים הבלתי תלויים אנו קוראים גם גורמים (פקטורים), ומספר הקטגוריות של כל גורם נקרא גם מספר הרמות שלו. ניתוח שונות רב-כיווני או רב-גורמי הוא ניתוח שונות שבו יש יותר מגורם אחד, כלומר יותר ממשתנה בלתי תלוי קטגוריאלי אחד. בניתוח שונות דו-כיווני יש שני גורמים, בניתוח שונות תלת-גורמי יש שלושה גורמים וכו'. ככל שנוסיף גורמים, הניתוח הסטטיסטי יהיה מורכב יותר ויידרשו יותר תצפיות למחקר אבל כיוון שהוא יקטין את שונות הטעויות (שונות מקרית) וייתן יותר הסבר לשונות הכללית, כך שהמבחן יהיה עוצמתי יותר.

### המשך הדוגמה:

מבין 30 המטופלים שבמחקר 15 היו גברים ו-15 היו נשים. המטופלים חולקו כך שבכל דיאטה השתתפו 5 גברים ו-5 נשים.

מה הם המשתנים הבלתי תלויים? כמה רמות יש לכל משתנה?

בניתוח שונות דו-כיוונית אנו בעצם רוצים לבדוק סימולטנית שלוש שאלות מחקר על אוכלוסיית כבדי המשקל:

- האם יש הבדלים משמעותיים בין שיעורי הפחתת המשקל של מטופלים כבדי משקל כתוצאה משימוש בדיאטות שונות?
- האם יש הבדלים משמעותיים בין שיעורי הפחתת המשקל של מטופלים כבדי משקל כתוצאה ממגדר שונה?
- האם יש השפעה משולבת (אינטראקציה) של שני הגורמים הנבדקים על הפחתת המשקל של מטופלים כבדי משקל, כלומר האם צירוף של דיאטה מסוימת ומגדר מסוים מביא להפחתת משקל גדולה יותר או קטנה יותר מצירופים אחרים?

נסמן גורם אחד ב- $a$  ואת מספר הרמות שלו ב- $A$ . באותו האופן הגורם האחר יסומן ב- $b$ , ואת מספר הרמות שלו נסמן ב- $B$ . מספר הקבוצות הכולל שאנו יוצרים הוא  $A \cdot B$ .

### המשך הדוגמה:

- בחרו גורם אחד להיות  $a$  וגורם אחר להיות  $b$ . מהו  $A$  ומהו  $B$ ?
- כמה קבוצות שונות נוצרו במחקר?

נסמן ב- $m$  את מספר התצפיות בכל תא (בהנחה שהוא יהיה מספר קבוע). תא הוא שילוב של רמה מסוימת של גורם  $a$  עם רמה מסוימת של גורם  $b$ .

### המשך הדוגמה:

- כמה תאים (קבוצות) יש במחקר?
- מה ערכו של  $m$ ?
- מהו הקשר המתמטי בין  $m$  לבין  $n$ , גודל המדגם?

נסמן ב- $a_1$  את הרמה הראשונה של  $a$ , ב- $a_2$  את הרמה השנייה שלו וכך הלאה.  
 נסמן ב- $b_1$  את הרמה הראשונה של  $b$ , ב- $b_2$  את הרמה השנייה שלו וכך הלאה.  
 נסמן ב- $\mu_i$  את התוחלת ברמה  $a_i$ . נסמן ב- $\mu_j$  את התוחלת ברמה  $b_j$ . נסמן ב- $\mu_{ij}$  את התוחלת של תא  $ij$ .

#### המשך הדוגמה:

- מה המשמעות של  $\mu_1$  ושל  $\mu_2$ ?
- מה המשמעות של  $\mu_{12}$  ושל  $\mu_{21}$ ?

#### השערות המחקר בניתוח שונות דו-כיווני

את השערות המחקר בניתוח שונות דו-כיווני אפשר לרשום בצורות רבות:

לגורם  $a$  אין השפעה על המשתנה התלוי:  $H_0$

אחרת:  $H_1$

לגורם  $b$  אין השפעה על המשתנה התלוי:  $H_0$

אחרת:  $H_1$

אין אינטראקציה בין שני הגורמים:  $H_0$

אחרת:  $H_1$

דרך אחרת היא שימוש בתוחלות:

$$H_0 : \mu_{1.} = \mu_{2.} = \dots = \mu_{A.}$$

$H_1$  : אחרת

$$H_0 : \mu_{.1} = \mu_{.2} = \dots = \mu_{.B}$$

$H_1$  : אחרת

$H_0$  : אין אינטראקציה בין שני הגורמים

$H_1$  : אחרת

המשך הדוגמה:

אם אנחנו מעוניינים לבצע ניתוח שונות דו-כיווני, מה הן ההשערות הנחקרות?

## שאלות

- (1) בחברת טקסטיל בחנו 4 סוגי בדים שונים מבחינת חוזקם. דגמו 5 חתיכות בד מכל סוג ובדקו את חוזק הקריעה של כל סוג בד.
- א. מהו המשתנה התלוי במחקר?
  - ב. כמה משתנים בלתי תלויים יש במחקר? מה הם?
  - ג. מהו המבחן הסטטיסטי המתאים במקרה זה?
- (2) במחקר בתחום הפסיכולוגיה נדגמו אנשים הסובלים מחרדות מסוגים שונים. כל מטופל סווג כסובל מאחד מסוגי החרדות הבאים: חרדה חברתית, חרדה כללית או אגורפוביה. במחקר השתתפו 6 מטופלים מכל סוג חרדה שצוין. המטופלים במחקר חולקו כך שכל מטופל היה צריך לעבור במשך שנה את אחד מהטיפולים הבאים: טיפול קוגניטיבי התנהגותי (CBT), טיפול קבוצתי או טיפול דיאלקטי התנהגותי (DBT). בכל סוג טיפול השתתפו 2 מטופלים מכל סוג חרדה. בסוף השנה נבדקו כל המטופלים וקיבלו ציון כמותי על השיפור במצבם הנפשי (משתנה כמותי). מטרת המחקר הייתה לבדוק האם סוג החרדה, סוג הטיפול והשילוב ביניהם משפיעים על המצב הנפשי של המטופלים.
- א. מהו גודל המדגם?
  - ב. מהו המשתנה התלוי במחקר הזה ומה הם המשתנים הבלתי תלויים?
  - ג. כמה קטגוריות יש לכל משתנה בלתי תלוי?
  - ד. כמה קבוצות שונות יש במערך המחקרי?
  - ה. מהו המבחן הסטטיסטי המתאים במערך מחקרי זה?

**(3)** מחקר שיווקי בדק את השפעת גובה המדף בסופרמרקט והשפעת החומר שממנו עשוי הבקבוק (זכוכית או פלסטיק) על היקף המכירות של משקאות קלים. נבדקו שני סופרמרקטים. בכל סופרמרקט נבחן כל צירוף אפשרי של גובה המדף וחומר הבקבוק, ועבור כל צירוף כזה נבדק מספר בקבוקי המשקה הקל שנמכרו באותו סופרמרקט ביום מסוים. הנה התוצאות שהתקבלו:

| פלסטיק | זכוכית | סוג בקבוק / גובה המדף |
|--------|--------|-----------------------|
|        |        | גובה המדף             |
| 59     | 23     | נמוך                  |
| 63     | 32     |                       |
| 88     | 47     | בינוני                |
| 90     | 55     |                       |
| 51     | 40     | גבוה                  |
| 56     | 48     |                       |

- מהו המבחן הסטטיסטי המתאים? נמקו.
- מהו מספר הרמות של כל גורם מחקרי?
- מה יהיו השערות המחקר אם יתבצע ניתוח שונות דו-כיוונית?
- מהו ערכו של  $m$  ומהו ערכו של  $n$ ?

4) יצרן של נוזל כביסה מעוניין לבחון שני נוזלי ניקוי מבחינת יעילותם בהסרת כתמים בשלוש רמות טמפרטורה. בכל אחד מששת הצירופים של סוג נוזל וטמפרטורה נבחנה יכולת הסרת הכתמים מבדים דומים, וניתן ציון בין 0 ל-15 (הציון הטוב ביותר).

| מספר סידורי | סוג הנוזל | טמפרטורה במעלות צלזיוס | ציון הסרת כתמים |
|-------------|-----------|------------------------|-----------------|
| 1           | C         | 30                     | 4               |
| 2           | C         | 30                     | 5               |
| 3           | C         | 30                     | 4               |
| 4           | C         | 30                     | 6               |
| 5           | C         | 40                     | 6               |
| 6           | C         | 40                     | 6               |
| 7           | C         | 40                     | 7               |
| 8           | C         | 40                     | 6               |
| 9           | C         | 60                     | 9               |
| 10          | C         | 60                     | 8               |
| 11          | C         | 60                     | 7               |
| 12          | C         | 60                     | 10              |
| 13          | w         | 30                     | 9               |
| 14          | w         | 30                     | 9               |
| 15          | w         | 30                     | 9               |
| 16          | w         | 30                     | 10              |
| 17          | w         | 40                     | 12              |
| 18          | w         | 40                     | 13              |
| 19          | w         | 40                     | 11              |
| 20          | w         | 40                     | 11              |
| 21          | w         | 60                     | 14              |
| 22          | w         | 60                     | 14              |
| 23          | w         | 60                     | 15              |
| 24          | w         | 60                     | 13              |

- א. כמה משתנים יש במחקר?
- ב. לגבי כל משתנה קבעו האם הוא משתנה תלוי או בלתי תלוי.
- ג. כמה רמות יש לכל גורם?
- ד. אם נבצע ניתוח שונות דו-כיוונית, מה יהיו השערות המחקר?
- ה. רכזו את נתוני המחקר בטבלה שבה בשורות גורם אחד, בעמודות גורם שני ובתאים התוצאות שהתקבלו למשתנה התלוי.

(5) קבעו לגבי כל אחד מהבאים האם הוא משתנה קטגוריאלי:

- א. מספר הניתוחים שעבר אדם בחייו.
- ב. אחוז האבטלה בישראל בחודש זה.
- ג. סוג הדם של חולה.
- ד. שונות הציונים בבחינת הבגרות באנגלית במועד האחרון.
- ה. משקל חבילה בדואר בגרמים.
- ו. היבשת שאירחה את משחקי המונדיאל.

#### **בשאלות הבאות יש לבחור את התשובה הנכונה ביותר:**

- (6) משרד החינוך רוצה לבדוק עד כמה שיטת הוראה (יש 3 שיטות הוראה מקובלות) ומגדר משפיעים על ציוני הבגרות בהיסטוריה. מהו המבחן הסטטיסטי המתאים למחקר זה?
- א. מבחן T להשוואת תוחלות.
  - ב. ניתוח שונות חד-כיוונית.
  - ג. ניתוח שונות דו-כיוונית.
  - ד. מבחן T לתוחלת אחת.
- (7) מחלקת שירות הלקוחות של חברת החשמל דגמה עובדים כדי לבחון האם ככל שמספר שנות הוותק של נותן השירות גדול יותר גדל גם מספר הלקוחות שבו הוא מטפל במהלך משמרת. מהו המבחן הסטטיסטי שיכול לבדוק זאת?
- א. מבחן T להשוואת תוחלות.
  - ב. ניתוח שונות חד-כיוונית.
  - ג. ניתוח שונות דו-כיוונית.
  - ד. אף אחת מהאפשרויות שלעיל.

**(8)** האיחוד האירופי המשותף דגם 10 עובדים מתחום ההוראה בכל אחת מהמדינות הבאות: הולנד, צרפת, בלגיה, גרמניה ואוסטריה. לכל עובד בדקו את גובה המשכורת החודשית שלו ביורו. אם נרצה להשוות בין המדינות הללו מבחינת תוחלת השכר של עובדי ההוראה במדינה, מה יהיה המבחן הסטטיסטי המתאים?

- א. מבחן T להשוואת תוחלות
- ב. ניתוח שונות חד-כיווני
- ג. ניתוח שונות דו-כיווני
- ד. אף אחת מהאפשרויות שלעיל

**(9)** בקו ייצור 2 סוגים של מכונות ו-3 רמות ותק של מפעיל המכונה (עד שנתיים במפעל, בין שנתיים ל- חמש שנים במפעל, יותר מחמש שנים במפעל). מנהל הייצור רוצה לבדוק אם קיימת השפעה של סוג המכונה והוותק של המפעיל על מספר המוצרים הפגומים שיוצאים מהמכונה. מה יהיה המבחן הסטטיסטי המתאים במקרה זה?

- א. מבחן T להשוואת תוחלות.
- ב. ניתוח שונות חד-כיווני.
- ג. ניתוח שונות דו-כיווני.
- ד. ניתוח שונות תלת-כיווני.

**(10)** במחקר נאספו הנתונים הבאים על קבוצת נחקרים:

1. כמה כוסות קפה הנחקר שותה ביום: לא שותה / 1-2 כוסות / יותר מ-2 כוסות.

2. מין הנחקר: גבר/אישה.

3. דופק (מספר פעימות בדקה) שעתיים אחרי הקימה.

מטרת המחקר הייתה לבדוק האם מספר כוסות הקפה שאדם שותה ביום משפיע על הדופק אצל גברים אחרת מאשר אצל נשים. מה יהיה המבחן הסטטיסטי המתאים במקרה זה?

- א. מבחן T להשוואת תוחלות.
- ב. ניתוח שונות חד-כיווני.
- ג. ניתוח שונות דו-כיווני.
- ד. ניתוח שונות תלת-כיווני.

- 11) במחקר יש משתנה כמותי אחד ושני גורמים שלכל אחד מהם שתי רמות. אילו מהמשפטים הבאים אינו נכון?
- א. אפשר מבחינה טכנית לבדוק כיצד כל גורם בנפרד משפיע על המשתנה התלוי באמצעות ניתוח שונות חד-כיווני שייערך לכל גורם בנפרד.
- ב. אפשר מבחינה טכנית להשוות בין התוחלות של כל רמה בגורם הראשון על ידי מבחן T להשוואת תוחלות.
- ג. אפשר מבחינה טכנית לבצע ניתוח שונות דו-כיווני במערך מחקרי זה.
- ד. כיוון שבמחקר יש בסך הכול שלושה משתנים, אפשר מבחינה טכנית לבצע ניתוח שונות תלת-כיווני.

### תשובות סופיות

- 1) א. חוזק הקריעה.  
ג. ניתוח שונות חד גורמי.
- 2) א. 18  
ב. המשתנה התלוי : ציון במצב הנפש. המשתנים הב"ת : סוג חרדה, סוג הטיפול.  
ג. 3,3  
ה. ניתוח שונות דו גורמי.
- 3) א. ניתוח שונות דו גורמי.  
ג.  $H_0$  : אין אינטראקציה,  $H_1$  : יש אינטראקציה. ד.  $m = 2, n = 12$
- 4) א. 3  
ב. משתנים ב"ת : סוג הנוזל, טמפרטורה. משתנה תלוי : ציון הסרת כתמים.  
ג. 3,2  
ד.  $H_0$  : אין אינטראקציה בין הגורמים,  $H_1$  : אחרת.
- ה. עיין בסרטון הוידאו.
- 5) א. כן.  
ב. לא.  
ג. כן.  
ד. לא.  
ה. תלוי.  
ו. כן.
- 6) ג.  
7) ד  
8) ב  
9) ג  
10) ג  
11) ד

## אפקטים פשוטים, עיקריים ואינטראקציה

### רקע

בניתוח שונות דו-כיווני אנו דנים במשתנה כמותי תלוי יחיד ובשני משתנים בלתי תלויים (גורמים) המחולקים כל אחד למספר רמות. מטרת המחקר היא לבדוק שלוש השערות שונות:

לגורם  $a$  אין השפעה על המשתנה התלוי:  $H_0$

אחרת:  $H_1$

לגורם  $b$  אין השפעה על המשתנה התלוי:  $H_0$

אחרת:  $H_1$

אין אינטראקציה בין שני הגורמים:  $H_0$

אחרת:  $H_1$

נרצה להבין מה בדיוק כל השערה בודקת לגבי האוכלוסייה הנחקרת.

**אפקט עיקרי:** אם יש שתי קטגוריות (רמות) לפחות של גורם מסוים שהתוחלות שלהן שונות, נאמר שלגורם זה יש השפעה על המשתנה התלוי. השפעה זאת נקראת "אפקט עיקרי". למשל, אם יימצאו לפחות שתי תרופות נוגדות דיכאון שונות שמביאות לתוחלות שונות במצב הנפשי, נגיד שלסוג התרופה יש השפעה על המצב הנפשי, כלומר יש אפקט עיקרי. כמות האפקטים העיקריים שאפשר למצוא היא כמות הגורמים במחקר.

אפקט אינטראקציה: מצב שבו גורם אחד משפיע על המשתנה התלוי באופן שונה בקטגוריות שונות של הגורם השני. למשל, תרופה נוגדת דיכאון אחת מביאה את הגברים למצב רוח טוב יותר מאשר את הנשים לעומת תרופה אחרת שמביאה דווקא את הנשים למצב רוח טוב יותר מאשר את הגברים. אפקט האינטראקציה הוא יחיד, כלומר נאמר אם יש או אין אינטראקציה. כמו כן הוא אפקט סימטרי: אם קיימת אינטראקציה בין מגדר לסוג התרופה, יש גם אינטראקציה בין סוג התרופה למגדר.

אפקט פשוט: אפקט פשוט מתייחס להשפעת גורם אחד על המשתנה התלוי בתוך קטגוריה מסוימת של הגורם השני. למשל, נרצה לבדוק רק בקטגוריה של הגברים האם קיים הבדל בין התרופות נוגדות הדיכאון. אם נמצא הבדלים כאלה נאמר שיש

אפקט פשוט של סוג התרופה בקרב אוכלוסיית הגברים. כמות האפקטים הפשוטים שאפשר למצוא היא סכום מספר הקטגוריות (רמות) של כל גורם. למשל, אם יש שלושה סוגי תרופות ושתי אפשרויות למגדר, בסך הכול נוכל לבדוק 5 אפקטים פשוטים.

### דוגמה

נבדקו שלושה סוגי דיאטות על אנשים בעלי משקל עודף. כעבור שלושה חודשים בדקו כמה קילוגרמים הפחית כל מטופל ממשקלו באותה התקופה. נניח שאנו יודעים את תוחלת הפחתת המשקל של כל דיאטה בחלוקה למגדרים.

נתאר כמה מצבים אפשריים לגבי האוכלוסייה הנחקרת וננתח כל מצב מבחינת ההשפעה של כל גורם על תוחלת המשתנה התלוי ומבחינת אפקט האינטראקציה.

שימו לב שהמצבים שנתאר להלן מתייחסים לתוחלות האמיתיות. בניתוח שונות אין לנו נתוני אמת, אלא רק נתוני מדגם, ונרצה לבדוק האם האפקטים שהתקבלו במדגם הם מובהקים, כנדרש בכל תהליך של הסקה סטטיסטית.

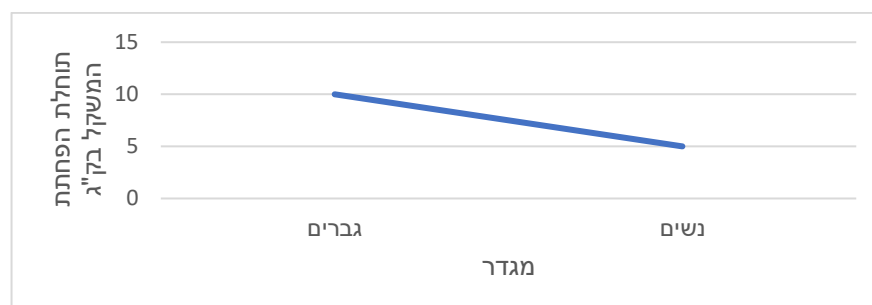
אם התוצאות שלנו יהיו ממוצעי מדגם ולא תוחלות, נוכל לבדוק אם קיימים אפקטים במדגם, אך אין זה אומר שקיימים אפקטים באוכלוסייה, כלומר לא נוכל לדעת אם האפקטים במדגם הם מובהקים. כדי לבדוק אם האפקטים הם מובהקים נצטרך לעשות את מבחן ניתוח השונות.

### מצב א:

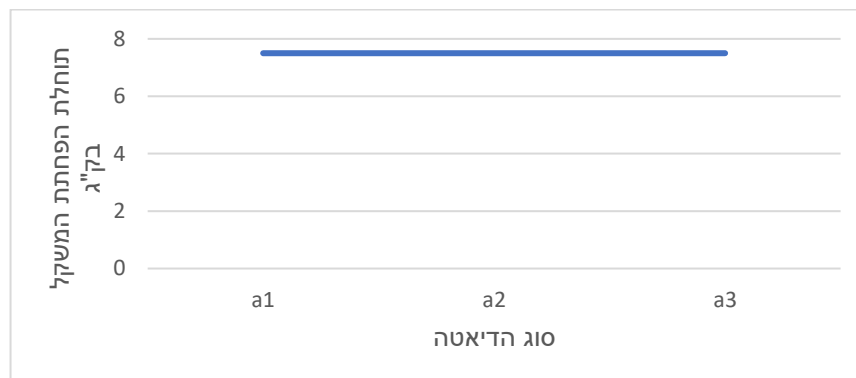
הטבלה הבאה מתארת את תוחלת הפחתת המשקל בק"ג לכל קבוצה:

| נשים | גברים |       |
|------|-------|-------|
| 5    | 10    | $a_1$ |
| 5    | 10    | $a_2$ |
| 5    | 10    | $a_3$ |

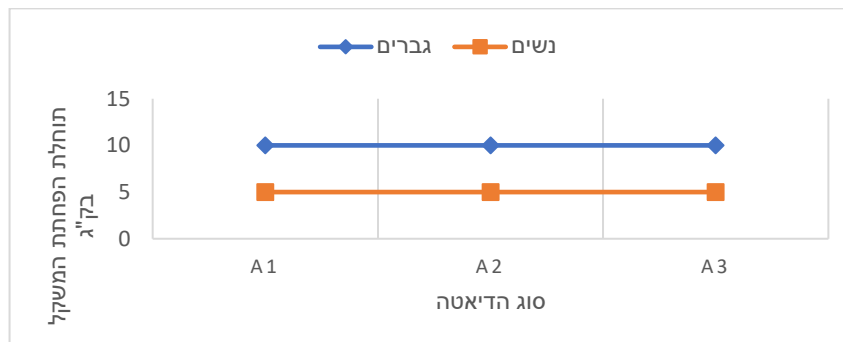
### תיאור גרפי לבדיקת אפקט למגדר



### תיאור גרפי לבדיקת אפקט לסוג הדיאטה



### גרף אפקטים פשוטים



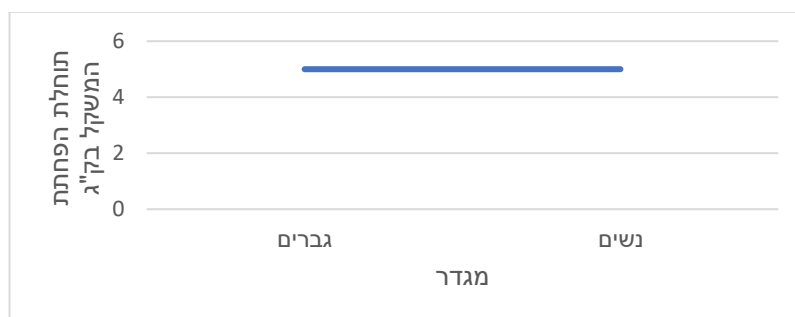
ניתוח המצב: למגדר יש אפקט, לסוג הדיאטה אין אפקט, אין אפקט אינטראקציה.  
הערה: אם הקווים הנוצרים בגרף האפקטים הפשוטים מקבילים או מתלכדים, אנו אומרים שאין אפקט אינטראקציה.

### מצב ב

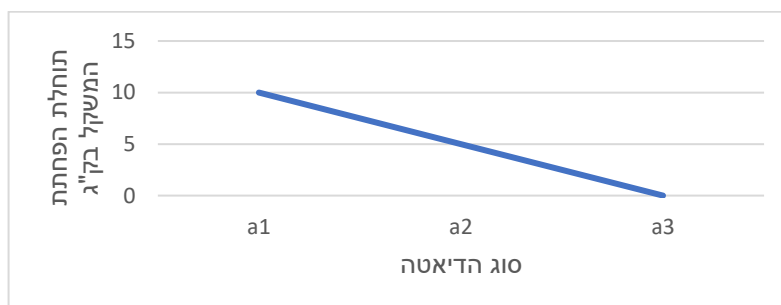
הטבלה הבאה מתארת את תוחלת הפחתת המשקל בק"ג לכל קבוצה:

| נשים | גברים |       |
|------|-------|-------|
| 10   | 10    | $a_1$ |
| 5    | 5     | $a_2$ |
| 0    | 0     | $a_3$ |

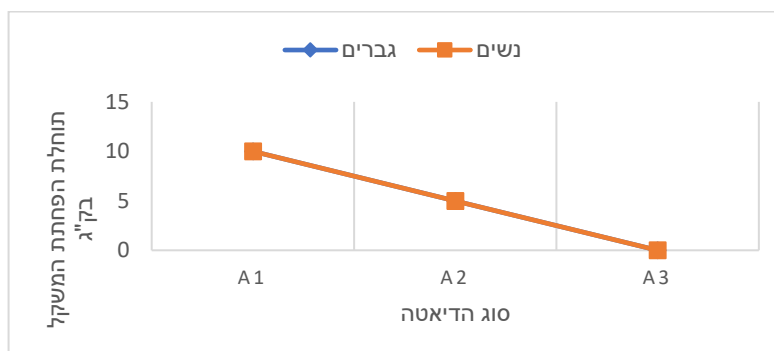
### תיאור גרפי לבדיקת אפקט למגדר



### תיאור גרפי לבדיקת אפקט לסוג הדיאטה



### גרף אפקטים פשוטים



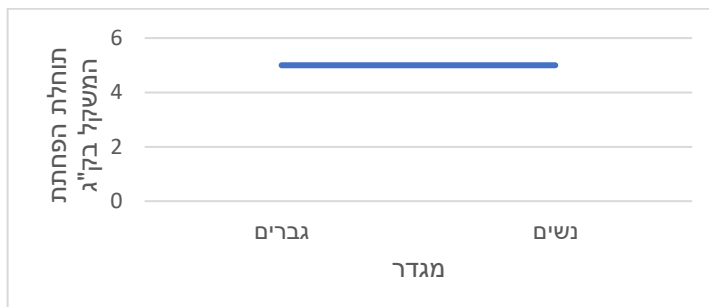
ניתוח המצב: למגדר אין אפקט, לסוג הדיאטה יש אפקט, אין אפקט אינטראקציה.

### מצב ג

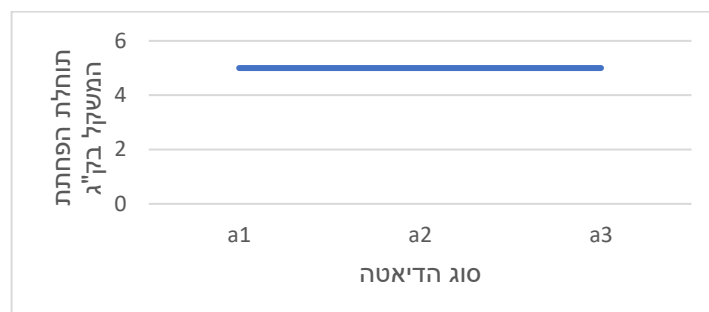
הטבלה הבאה מתארת את תוחלת הפחתת המשקל בק"ג לכל קבוצה:

| נשים | גברים |       |
|------|-------|-------|
| 0    | 10    | $a_1$ |
| 5    | 5     | $a_2$ |
| 10   | 0     | $a_3$ |

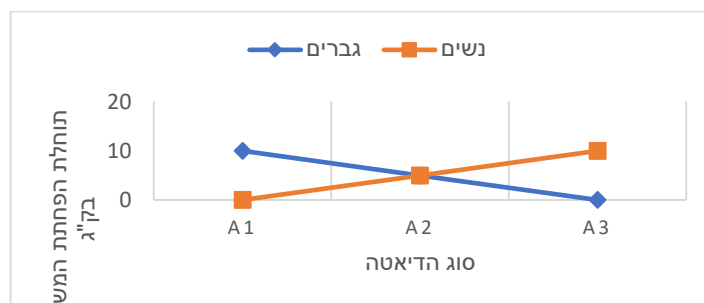
### תיאור גרפי לבדיקת אפקט למגדר



### תיאור גרפי לבדיקת אפקט לסוג הדיאטה



### גרף אפקטים פשוטים



ניתוח המצב: למגדר אין אפקט, לסוג הדיאטה אין אפקט, יש אפקט אינטראקציה.

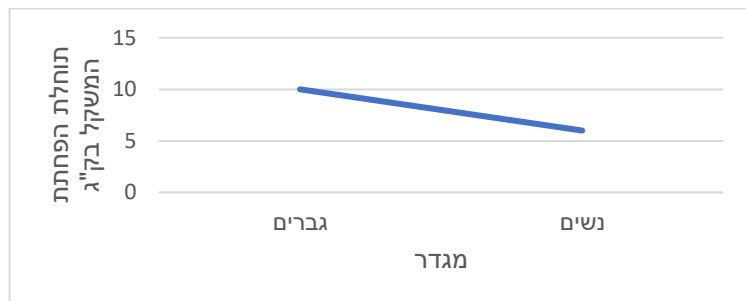
אינטראקציה דיסאורדינלית (נקראת גם "אינטראקציה מהותית"): אפשר לזהות מצב של אינטראקציה כזו באמצעות גרף של אפקטים פשוטים, כאשר נוצרים קווים נחתכים שאחד מהם עולה והאחר יורד. המשמעות היא שגורם אחד משפיע על המשתנה התלוי ברמה מסוימת של הגורם השני באופן הפוך משהוא משפיע על המשתנה התלוי ברמה אחרת של הגורם השני. במצב זה אין להתייחס לאפקטים עיקריים. יש להתייחס רק לאפקטים הפשוטים.

### מצב ה

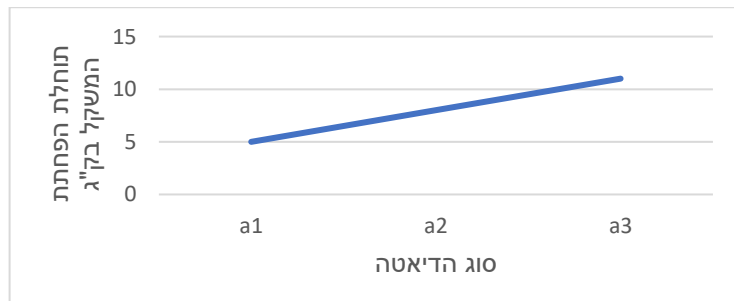
הטבלה הבאה מתארת את תוחלת הפחתת המשקל בק"ג לכל קבוצה:

| נשים | גברים |       |
|------|-------|-------|
| 5    | 5     | $a_1$ |
| 6    | 10    | $a_2$ |
| 7    | 15    | $a_3$ |

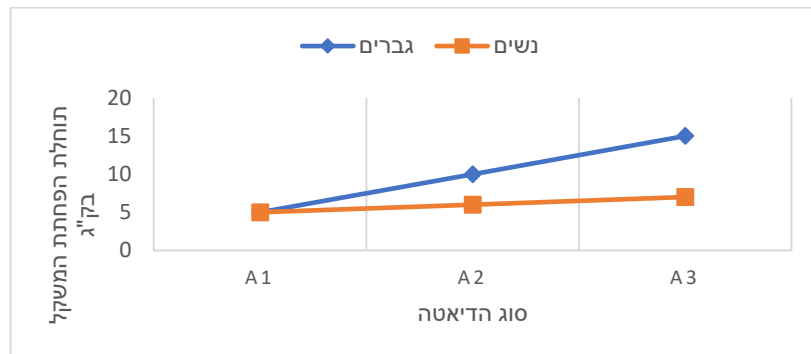
### תיאור גרפי לבדיקת אפקט למגדר



### תיאור גרפי לבדיקת אפקט לסוג הדיאטה



### גרף אפקטים פשוטים



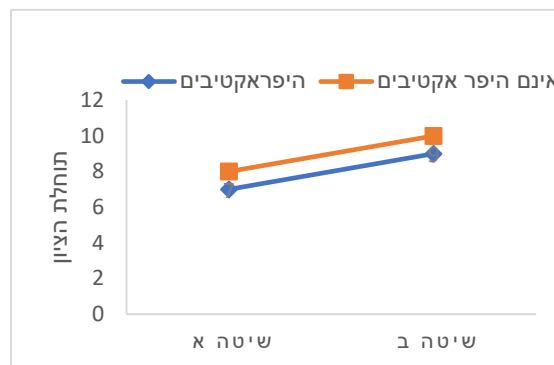
ניתוח המצב: למגדר יש אפקט, לסוג הדיאטה יש אפקט, יש אפקט אינטראקציה.

אינטראקציה אורדינלית (נקראת גם "אינטראקציה לא מהותית"): אפשר לזהות מצב של אינטראקציה כזו כאשר בגרף האפקטים הפשוטים נוצרים קווים נחתכים עם אותו הכיוון (כולם עולים או כולם יורדים אבל לא באותו השיפוע). המשמעות היא שבמעבר של גורם אחד מרמה אחת למרמה אחרת שלו הוא משפיע על המשתנה התלוי באותו אופן בכל רמה של המשתנה האחר אבל עם גודל אפקט שונה.

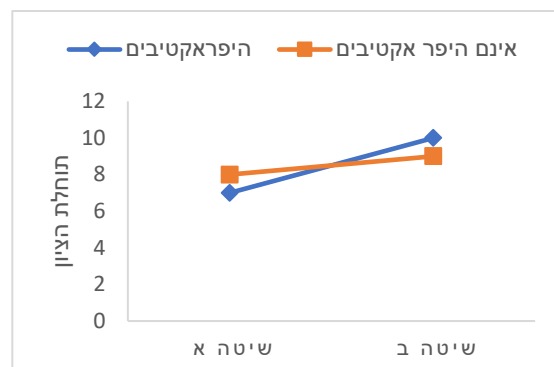
## שאלות

1) בגני החובה יש שתי שיטות הוראה. שיטות אלו נוסו על ילדים היפראקטיביים וילדים שאינם היפראקטיביים. בתרשימים הבאים מיוצגים גרפים שמתארים את תוחלת הציון במבחן אוצר המילים שניתן לילדים בסוף השנה. בכל אחד מהמקרים יש לקבוע האם קיימת אינטראקציה בין שני הגורמים. אם קיימת אינטראקציה, יש לקבוע האם היא אינטראקציה אורדינלית או דיסאורדינלית.

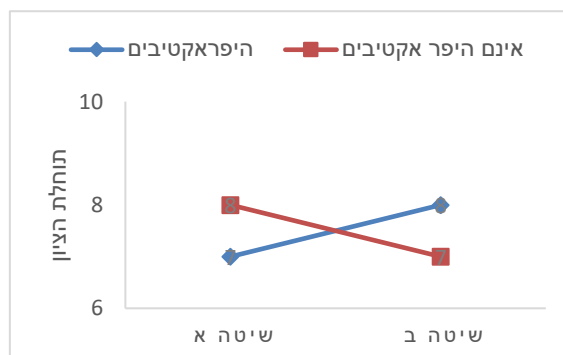
א.



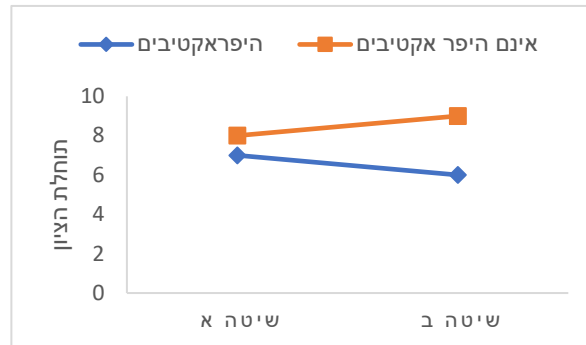
ב.



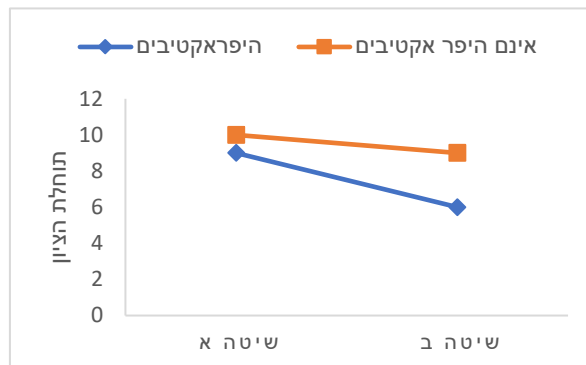
ג.



ד.



ה.



2) משרד האוצר פרסם נתונים על המחיר הממוצע של דירות גן ודירות גג של 4 חדרים ב-3 ערים בארץ. מחיר הדירות נמדד במיליוני שקלים. להלן התוצאות שהתקבלו:

| דירות גן | דירות גג |        |
|----------|----------|--------|
| 4        | 3        | הרצליה |
| 2        | 1        | אשדוד  |
| 3        | 2        | חולון  |

- א. מהו המשתנה התלוי ומה הם המשתנים הבלתי תלויים?
- ב. האם קיים אפקט לעיר? היעזרו בגרף מתאים.
- ג. האם קיים אפקט לסוג הדירה? היעזרו בגרף מתאים.
- ד. האם קיימת אינטראקציה בין הגורמים? אם כן, מהו סוג האינטראקציה? היעזרו בגרף מתאים.
- ה. האם יש אפקט פשוט לעיר עבור דירות גן?
- ו. האם יש אפקט פשוט לעיר עבור דירות גג?
- ז. האם יש אפקט פשוט לסוג הדירה בהרצליה?
- ח. האם יש אפקט פשוט לסוג הדירה באשדוד?
- ט. האם יש אפקט פשוט לסוג הדירה בחולון?

(3) משרד החינוך פרסם נתונים על תוחלת הציונים בבחינת הבגרות באנגלית לפי עיר וסוג בית הספר (עיוני או מקצועי). להלן התוצאות שהתקבלו:

| מקצועי | עיוני |           |
|--------|-------|-----------|
| 70     | 85    | רעננה     |
| 75     | 75    | תל אביב   |
| 85     | 70    | פתח תקווה |

- תארו את הנתונים באמצעות גרף אפקטים פשוטים.
- האם קיימת אינטראקציה בין הגורמים? אם כן, מה סוג האינטראקציה?
- באילו ערים קיים אפקט פשוט לסוג בית הספר?

(4) משרד התחבורה פרסם נתונים על תוחלת מספר עבירות התנועה לבעלי רישיון נהיגה לפי עיר ולפי מגדר. להלן התוצאות שהתקבלו:

| אישה | גבר |        |
|------|-----|--------|
| 1    | 2   | חיפה   |
| 1    | 2   | אשקלון |
| 1    | 2   | רמת גן |

- האם קיים אפקט עיקרי לעיר?
- האם קיים אפקט עיקרי למגדר?
- האם יש אפקט פשוט לעיר אצל הגברים?
- האם קיימת אינטראקציה בין הגורמים? אם כן, מהו סוג האינטראקציה?

(5) המשרד לאיכות הסביבה פרסם נתונים על תוחלת רמת זיהום האוויר בערים שונות בארץ בחורף ובקיץ. להלן התוצאות שהתקבלו:

| קיץ | חורף |         |
|-----|------|---------|
| 20  | 20   | חיפה    |
| 10  | 10   | ירושלים |
| 15  | 15   | באר שבע |

- האם קיים אפקט עיקרי לעיר?
- האם קיים אפקט עיקרי לעונה?
- האם קיימת עיר שבה יש אפקט פשוט לעונה?
- האם קיימת אינטראקציה בין הגורמים? אם כן, מה סוג האינטראקציה?

- 6) המשרד לאיכות הסביבה פרסם נתונים על תוחלת רמת זיהום האוויר בערים שונות בארץ בחורף ובקיץ. להלן התוצאות שהתקבלו:

| חורף | קיץ |         |
|------|-----|---------|
| 10   | 10  | רמת גן  |
| 10   | 10  | גבעתיים |
| 10   | 10  | בת ים   |

האם קיים אפקט עיקרי לגורם כלשהו? האם קיימת אינטראקציה?

**בשאלות הבאות יש לבחור את התשובה הנכונה ביותר:**

- 7) במחקר נדגמו 5 אנשים מכל אחת מ-4 הקבוצות הבאות: 1. מתעמלים באופן קבוע ושומרים על תזונה בריאה; 2. מתעמלים באופן קבוע ולא שומרים על תזונה בריאה; 3. לא מתעמלים באופן קבוע ושומרים על תזונה בריאה; 4. לא מתעמלים באופן קבוע ולא שומרים על תזונה בריאה. להלן טבלה המסכמת את ממוצע הטריגליצרידים בדם (מ"ג לדציליטר) שנמצא בכל מדגם:

| לא תזונה בריאה | תזונה בריאה |            |
|----------------|-------------|------------|
| 100            | 90          | מתעמלים    |
| 160            | 100         | לא מתעמלים |

- א. קיים אפקט עיקרי מובהק לגורם ההתעמלות.  
 ב. קיים אפקט עיקרי מובהק לגורם התזונה.  
 ג. קיים אפקט אינטראקציה מובהק בין שני הגורמים במחקר.  
 ד. אי אפשר לדעת אם קיים אפקט מובהק כלשהו על סמך תוצאות המדגם בלבד ללא ביצוע מבחן מתאים וללא קביעת רמת המובהקות של המחקר.

- 8) במחקר בדקו 3 טיפולים שונים לחולי פסוריאזיס. המחקר השווה גם בין גברים לנשים ובדק את זמן התגובה לטיפול. מסקנת המחקר הייתה שאצל גברים נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים השונים מבחינת תוחלת זמן התגובה. לאיזה סוג אפקט המסקנה מתייחסת?

- א. אפקט אינטראקציה.  
 ב. אפקט עיקרי של גורם המין.  
 ג. אפקט עיקרי של גורם סוג הטיפול.  
 ד. אפקט פשוט.

- (9)** במחקר בדקו 3 טיפולים שונים לחולי פסוריאזיס. המחקר השווה גם בין גברים לנשים ובדק את זמן התגובה לטיפול. במדגם היה ממוצע זמן התגובה של הגברים שונה מממוצע זמן התגובה של הנשים.
- א. אפשר להגיד שבמדגם קיים אפקט עיקרי, אך אי אפשר לדעת אם האפקט העיקרי מובהק.
- ב. אפשר להגיד שבמדגם קיימת אינטראקציה, אך אי אפשר לדעת אם האינטראקציה מובהקת.
- ג. אפשר להגיד שקיים אפקט עיקרי מובהק.
- ד. אפשר להגיד שקיימת אינטראקציה מובהקת.
- (10)** במחקר בדקו 3 טיפולים שונים לחולי פסוריאזיס. המחקר השווה גם בין גברים לנשים ובדק את זמן התגובה לטיפול. אחת המסקנות של המחקר הייתה שהטיפול השונים משפיעים במידה משמעותית יותר על זמן התגובה של הגברים מאשר על זה של הנשים, אם כי באותו האופן.
- א. המסקנה היא שאין אינטראקציה בין הגורמים במחקר.
- ב. המסקנה היא שיש אינטראקציה אורדינלית בין הגורמים במחקר.
- ג. המסקנה היא שיש אינטראקציה דיסאורדינלית בין הגורמים במחקר.
- ד. המסקנה היא שיש אפקט עיקרי של המגדר.

### תשובות סופיות

- (1)** א. אין אינטראקציה.  
ג. אינטראקציה דיסאורדינלית.  
ה. אינטראקציה אורדינלית.
- (2)** א. המשתנים הב"ת: העיר, סוג הדירה. המשתנה התלוי: מחיר.  
ב. קיים.  
ד. לא קיים.  
ו. קיים.  
ח. קיים.
- (3)** א. עיין בסרטון הוידאו.  
ג. רעננה ופתח תקווה.
- (4)** א. לא.  
ג. לא.
- (5)** א. כן.  
ג. לא.
- (6)** לא, לא.
- (7)** ד
- (8)** ד
- (9)** א
- (10)** ב
- ב. אינטראקציה אורדינלית.  
ד. אינטראקציה דיסאורדינלית.
- ב. קיים.  
ה. קיים.  
ז. קיים.  
ט. קיים.
- ב. אינטראקציה דיסאורדינלית.
- ב. כן.  
ד. לא.  
ב. לא.  
ד. לא.

## תהליך ניתוח שונות דו כיווני – הליך מבחן

### רקע

כפי שכבר ציינו, ניתוח שונות דו-כיווני נעשה כאשר יש שני גורמים מחקרניים ומשתנה כמותי תלוי אחד. מטרת המחקר היא לבדוק האם הגורמים משפיעים על המשתנה התלוי. מערך מחקר זה נקרא "מערך מחקר פקטוריאלי", כיוון שאנו בונים את המחקר לפי גורמים. מערך דו-גורמי יסומן כמערך מסוג  $A \times B$ , כאשר  $A$  מייצג את מספר הרמות של גורם  $a$ , ו- $B$  מייצג את מספר הרמות של גורם  $b$ .

במערך מחקרי תלת-גורמי נסמן את סוג המערך  $A \times B \times C$ , וכך הלאה.

### דוגמה

נבדקו שלושה סוגי דיאטות על אנשים בעלי משקל עודף. נבחרו 18 מטופלים בעלי משקל עודף, 9 מהם גברים ו-9 נשים. המטופלים חולקו כך שבכל דיאטה השתתפו 3 גברים ו-3 נשים. כעבור שלושה חודשים מתחילת הדיאטה נשקלו כלל המטופלים ונבדק המשקל בק"ג שהם הפחיתו. הטבלה הבאה מסכמת את המשקל שכל מטופל במדגם הפחית כעבור שלושה חודשים.

| סוג<br>הדיאטה<br>\ מין | $b_1$         | $b_2$        | $b_3$         | סה"כ |
|------------------------|---------------|--------------|---------------|------|
| נשים                   | 8<br>4<br>0   | 6<br>8<br>10 | 4<br>6<br>8   | 54   |
| גברים                  | 6<br>10<br>14 | 0<br>2<br>4  | 9<br>12<br>15 | 72   |
| סה"כ                   | 42            | 30           | 54            | 126  |

מטרת המחקר היא לבדוק האם יש השפעה של סוג הדיאטה, המין והשילוב ביניהם על ההפחתה במשקל.

- באיזה סוג מערך מחקרי מדובר?
- מהו המבחן הסטטיסטי המתאים לבדיקת ההשערות?
- מה הן השערות המחקר?

בדומה לניתוח שונות חד-כיווני גם התהליך של ניתוח שונות דו-כיווני דורש הנחות. ההנחות הן:

1.  $A \times B$  הקבוצות שנוצרות בלתי תלויות זו בזו.
2. בכל  $A \times B$  האוכלוסיות המשתנה התלוי מתפלג נורמלית.
3. בכל  $A \times B$  האוכלוסיות אותה שונות,  $\sigma^2$ .

הערה: ניתוח שונות הוא מבחן רובסטי, כלומר יש לו רגישות נמוכה להנחות. התיאוריה הסטטיסטית שפותחה התבססה על ההנחות האלה, אבל הלכה למעשה השיטה תעבוד טוב גם אם ההנחות הללו לא יתקיימו במדויק במלואן. זו הסיבה שהשיטה הזו נפוצה כל כך בעולם הסטטיסטיקה.

#### בהמשך לדוגמה

רשמו את כל ההנחות הדרושות לביצוע ניתוח השונות.

### הליך המבחן

בניית טבלת ממוצעים

נבנה טבלת ממוצעים לכל רמה ולכל תא :

$\bar{X}_{i.}$  – ממוצע המדגם ברמה  $i$  של גורם  $a$

$\bar{X}_{.j}$  – ממוצע המדגם ברמה  $j$  של גורם  $b$

$\bar{X}_{ij}$  – ממוצע המדגם בתא  $ij$

### בהמשך לדוגמה

- מלאו את טבלת הממוצעים הבאה :

| סוג<br>הדיאטה  | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | $\bar{X}_{i.}$ |
|----------------|-------|-------|-------|----------------|
| מין            |       |       |       |                |
| נשים           |       |       |       |                |
| גברים          |       |       |       |                |
| $\bar{X}_{.j}$ |       |       |       |                |

- שרטטו גרפים מתאימים לבדיקת אפקטים עיקריים ולבדיקת אינטראקציה במדגם. האם אפשר להגיד שיש אפקט מובהק?

**בניית טבלת ריבועי הפרשים מהממוצעים**

נמלא את הטבלה הבאה. בתוך תא  $ij$  נחשב:  $(\bar{X}_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X})^2$

**בהמשך לדוגמה**

- מלאו את טבלת הפרשי הממוצעים:

| סוג<br>הדיאטה<br>מין \    | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | $(\bar{X}_i - \bar{X})^2$ |
|---------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|
| נשים                      |       |       |       |                           |
| גברים                     |       |       |       |                           |
| $(\bar{X}_j - \bar{X})^2$ |       |       |       |                           |

### חישוב סכום ריבועי הסטיות מהממוצע

מתוך טבלת ריבועי הסטיות מהממוצע נחשב את סכום ריבועי הסטיות מהממוצע הבאים:

הסימון  $SS$  הוא ראשי התיבות של "sum of squares" (סכום הריבועים).

$$SS_a = m \cdot B \sum_{i=1}^A (\bar{X}_{i.} - \bar{X})^2 \quad \text{סכום ריבועי הסטיות מהממוצע של גורם } a:$$

$$SS_b = m \cdot A \sum_{j=1}^B (\bar{X}_{.j} - \bar{X})^2 \quad \text{סכום ריבועי הסטיות מהממוצע של גורם } b:$$

$$SS_{ab} = m \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \bar{X})^2 \quad \text{סכום ריבועי הסטיות של האינטראקציה:}$$

סכום ריבועי השגיאות (סכום ריבועי הסטיות של התצפיות בתא מהממוצע בתא):

$$SS_W = \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B \sum_{k=1}^m (X_{ijk} - \bar{X}_{ij})^2 = (m-1) \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B S_{ij}^2$$

סכום ריבועי הסטיות של כלל התצפיות מהממוצע הכללי:

$$SS_T = \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B \sum_{k=1}^m (X_{ijk} - \bar{X})^2 = (n-1) \cdot S^2$$

הקשר המתמטי בין סכום הריבועים הללו הוא:

$$SS_T = SS_a + SS_b + SS_{ab} + SS_W$$

לכן אין אנו צריכים לחשב את כל חמשת המרכיבים הללו.

החלק הזה של הנוסחה מתייחס לשונות השיטתית:  $SS_a + SS_b + SS_{ab}$ . השונות השיטתית היא שונות שמקורה בגורמים עצמים.

החלק הזה של הנוסחה מתייחס לשונות המקרית:  $SS_W$ . השונות המקרית היא שונות שנקראת גם "שונות טעויות" או "שונות בתוך הקבוצות". זוהי שונות בין התצפיות שאינה נובעת מהגורמים הנחקרים. האות  $W$  מייצגת את המילה "Within", כלומר שונות בתוך התאים.



בהמשך לדוגמה

- חשבו את ריבועי הסטיות הבאים :

$$SS_a =$$

$$SS_b =$$

$$SS_{ab} =$$

$$SS_T =$$

$$SS_w =$$

### חישוב ממוצע ריבועי הסטיות וסטטיסטי המבחן

MS הוא הסימון של ממוצע ריבועי הסטיות (Mean Square) שמהווה אומד לשונות של כל גורם. החישוב יעשה על ידי חלוקת ה-SS המתאים בדרגות החופש המתאימות. לאחר מכן נחשב שלושה סטטיסטי מבחן, בהתאם לשלוש ההשערות הנבדקות.

נרכז את כלל החישובים הללו בטבלה הנקראת טבלת ניתוח שונות, ANOVA (Analysis of Variance).

| מקור השונות<br>Source of Variation | דרגות החופש<br>Degrees of Freedom | סכום ריבועי הסטיות<br>מהממוצע<br>Sum of Squares | ממוצע ריבוע<br>הסטייה<br>Mean Square | $F$                       |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| $a$                                | $A - 1$                           | $SS_a$                                          | $MS_a$                               | $F_a = MS_a / MS_w$       |
| $b$                                | $B - 1$                           | $SS_b$                                          | $MS_b$                               | $F_b = MS_b / MS_w$       |
| $ab$                               | $(A - 1)(B - 1)$                  | $SS_{ab}$                                       | $MS_{ab}$                            | $F_{ab} = MS_{ab} / MS_w$ |
| Within                             | $AB(m - 1)$                       | $SS_w$                                          | $MS_w$                               |                           |
| Total                              | $n - 1 = ABm - 1$                 | $SS_T$                                          |                                      |                           |

בהמשך לדוגמה: מלאו את טבלת ניתוח השונות

| מקור השונות<br>Source of Variation | דרגות החופש<br>Degrees of Freedom | סכום ריבועי<br>הסטיות מהממוצע<br>Sum of Squares | ממוצע ריבוע<br>הסטייה<br>Mean Square | F |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|---|
| a                                  |                                   |                                                 |                                      |   |
| b                                  |                                   |                                                 |                                      |   |
| ab                                 |                                   |                                                 |                                      |   |
| Within                             |                                   |                                                 |                                      |   |
| Total                              |                                   |                                                 |                                      |   |

### כללי ההכרעה לבדיקת ההשערות

הסטטיסטי  $F_a$  מייצג את היחס בין השונות המדגמית של גורם  $a$  ובין השונות המקרית. לכן ככל שהערכים שלו גבוהים יותר, נרצה להגיד שלגורם  $a$  יש השפעה גדולה יותר על המשתנה התלוי.  $F_a$  יקבל ערכים גבוהים אם השונות המדגמית של גורם A תגדל או אם השונות המדגמית המקרית תקטן. הסטטיסטי מתפלג התפלגות F, ואזור הדחייה שלו יהיה בצד ימין.

- כלל ההכרעה לבדיקת המובהקות של גורם  $a$ :

דחה את השערת  $H_0$  ברמת מובהקות של  $\alpha$  אם

$$F_a > F_{1-\alpha}(df_a, df_w)$$

לפי אותו עיקרון שאר כללי ההכרעה יהיו:

- כלל ההכרעה לבדיקת המובהקות של גורם  $b$ :

דחה את השערת  $H_0$  ברמת מובהקות של  $\alpha$  אם

$$F_b > F_{1-\alpha}(df_b, df_w)$$

- כלל ההכרעה לבדיקת המובהקות של האינטראקציה:

דחה את השערת  $H_0$  ברמת מובהקות של  $\alpha$  אם

$$F_{ab} > F_{1-\alpha}(df_{ab}, df_w)$$

### בהמשך לדוגמה

רשמו את כל כללי ההכרעה המתאימים והסיקו מסקנות מתאימות ברמת מובהקות של 5%.

### הערות

1. אם מכריעים שקיימת אינטראקציה מובהקת, יש לבדוק האם היא אורדינלית או דיסאורדינלית. אם האינטראקציה דיסאורדינלית, יש לבדוק האם האפקטים העיקריים נמצאו מובהקים. אם לפחות אחד מהם נמצא מובהק נאמר שהוא אינו משמעותי כיוון שהוא נובע מהאינטראקציה בין הגורמים ולא מהגורם עצמו.
2. אם אחד מהאפקטים נמצא מובהק, אין זה אומר אילו רמות שונות זו מזו בתוחלת. למשל, אם נמצא הבדל מובהק בין סוגי הטיפולים, לא נוכל לדעת לפי זה איזה טיפול שונה מאחר באופן מובהק. לכן יש להמשיך בתהליך של השוואות מרובות כדי להסיק ממה נובע השוני.

### בהמשך לדוגמה

האם יש סיבה לבצע השוואות מרובות במחקר?

## שאלות

1) מחקר שיווקי בדק את השפעת גובה המדף בסופרמרקט והשפעת החומר שממנו עשוי הבקבוק (זכוכית או פלסטיק) על היקף המכירות של משקאות קלים. נבדקו שני סופרמרקטים. בכל סופרמרקט נבחן כל צירוף אפשרי של גובה המדף וחומר הבקבוק, ועבור כל צירוף כזה נבדק מספר בקבוקי המשקה הקל שנמכרו באותו סופרמרקט ביום מסוים. הנה התוצאות שהתקבלו:

| פלסטיק | זכוכית | סוג בקבוק / גובה המדף |
|--------|--------|-----------------------|
|        |        | גובה המדף             |
| 59     | 23     | נמוך                  |
| 63     | 32     |                       |
| 88     | 47     | בינוני                |
| 90     | 55     |                       |
| 51     | 40     | גבוה                  |
| 56     | 48     |                       |

בצעו ניתוח שונות דו-כיווני על נתוני מחקר זה ברמת מובהקות של 5%. סכמו את המסקנות מתוך ניתוח השונות שביצעתם. מה הן ההנחות הדרושות לביצוע המבחן?

**(2)** במחקר בתחום החקלאות נדגמו 8 חלקות אדמה: 4 חלקות בנגב ו-4 בעמק יזרעאל. בכל חלקה ההשקיה הייתה או באמצעות ממטרות או באמצעות טפטפות. בדקו את יכול העגבניות (בטונה לדונם) בכל חלקה. להלן התוצאות שהתקבלו:

| מספר חלקה | מיקום החלקה | שיטת השקיה | יכול העגבניות |
|-----------|-------------|------------|---------------|
| 1         | נגב         | ממטרות     | 12            |
| 2         | נגב         | ממטרות     | 10            |
| 3         | נגב         | טפטפות     | 15            |
| 4         | נגב         | טפטפות     | 17            |
| 5         | עמק יזרעאל  | ממטרות     | 12            |
| 6         | עמק יזרעאל  | ממטרות     | 14            |
| 7         | עמק יזרעאל  | טפטפות     | 17            |
| 8         | עמק יזרעאל  | טפטפות     | 19            |

- א. רשמו את כלל המשתנים במחקר וציינו לגבי כל אחד מהם האם הוא משתנה תלוי או בלתי תלוי.
- ב. הציגו את נתוני המחקר באמצעות גרפים מתאימים. האם נראה שבמדגם יש אפקט עיקרי לכל גורם? האם יש אינטראקציה בין הגורמים במדגם? האם האפקטים מובהקים?
- ג. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם האפקט העיקרי של כל גורם הוא מובהק והאם האינטראקציה היא מובהקת. מה הן ההנחות הדרושות?

- (3) חברה לייצור מוצרי שיער פיתחה נוסחה חדשנית לצבע לשיער שאינו דורש תוספת חמצן בעת תהליך הצביעה. החברה השוותה את צבע השיער החדש לצבע השיער הרגיל מבחינת כושר הכיסוי וזאת על שלושה סוגי שיער: בהיר, כהה ושיבה. ציון רמת הכיסוי הוא משתנה שמתפלג נורמלית עם שונות קבועה לכל סוג שיער ולכל סוג צבע. לכל קבוצה של סוג צבע וסוג שיער נדגמו 4 צביעות שנוסו על אנשים שונים, וניתן ציון מספרי על רמת הכיסוי. להלן סיכום תוצאות המדגם שהתקבלו:

| שונות | ממוצע | הקבוצה                |
|-------|-------|-----------------------|
| 40    | 62    | צבע רגיל על שיער בהיר |
| 44    | 51    | צבע רגיל על שיער כהה  |
| 42    | 45    | צבע רגיל על שיער שיבה |
| 46    | 60    | צבע חדש על שיער בהיר  |
| 40    | 54    | צבע חדש על שיער כהה   |
| 42    | 44    | צבע חדש על שיער שיבה  |

בצעו ניתוח שונות דו-כיווני על הנתונים ברמת מובהקות של 5%. סכמו את כל המסקנות המתקבלות.

- (4) בוצע ניתוח שונות על נתונים. במערך המחקרי לגורם  $a$  יש 4 רמות ולגורם  $b$  יש 3 רמות. נערכו 3 תצפיות לכל אחת מ-12 הקבוצות שנוצרו. להלן טבלת ניתוח שונות דו-גורמי שבוצע:

| מקור השונות | $df$ | SS  | MS | F |
|-------------|------|-----|----|---|
| $a$         | ?    | 318 | ?  | ? |
| $b$         | ?    | ?   | ?  | ? |
| אינטראקציה  | ?    | 190 | ?  | ? |
| W           | ?    | 156 | ?  |   |
| T           | ?    | 674 |    |   |

- מלאו את כל התאים בטבלה המסומנים בסימני שאלה.
- בצעו את הבדיקות הבאות ברמת מובהקות של 5%:
  - האם האינטראקציה מובהקת?
  - האם גורם  $a$  משפיע על המשתנה התלוי הנחקר?
  - האם לגורם  $b$  יש לפחות שתי רמות עם תוחלות שונות?

5) במחקר בדקו האם ארץ מוצא ומגדר של אדם משפיעים על שנות ההשכלה שלו. הנתונים סוכמו בטבלת ניתוח שונות:

| מקור השונות | df | SS | MS  | F |
|-------------|----|----|-----|---|
| ארץ מוצא    | 4  | 34 |     |   |
| מגדר        |    |    | 2   |   |
| אינטראקציה  |    | 18 | 4.5 |   |
| W           | 10 | 12 |     |   |
| T           |    |    |     |   |

- א. כמה ארצות מוצא נבדקו במחקר זה?
- ב. מהו גודל המדגם הכולל במחקר זה?
- ג. חשבו את ערכי F הסטטיסטי עבור ארץ המוצא, המגדר והאינטראקציה.
- ד. מה הם האפקטים המובהקים במחקר זה ברמת מובהקות של 5%?

6) בטבלה הבאה מסוכמים הממוצעים של מערך מחקרי דו-גורמי עם משתנה כמותי תלוי :

|       | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ |
|-------|-------|-------|-------|
| $a_1$ | 8     | 14    | 11    |
| $a_2$ | 6     | 13    | 16    |

מספר התצפיות בכל תא הוא 5.  
הטבלה הבאה היא טבלה מסכמת של ניתוח השונות על סמך נתוני מחקר זה :

| מקור השונות | df | SS    | MS | F |
|-------------|----|-------|----|---|
| $a$         |    |       |    |   |
| $b$         |    | 281.7 |    |   |
| $ab$        |    | 71.7  |    |   |
| $W$         |    | 190.1 |    |   |
| $T$         |    |       |    |   |

- א. מלאו את טבלת ניתוח השונות.
- ב. הסיקו מסקנות ברמת מובהקות של 5%.
- ג. שרטטו גרף אינטראקציות והסבירו את משמעות הממצאים.

### תשובות סופיות

- 1) עיין בסרטון הוידאו.
- 2) א. משתנים ב"ת : מיקום החלקה, שיטת השקיה. משתנה תלוי : יבול בטונה לדונם.  
ב. עיין בסרטון הוידאו.  
ג. עיין בסרטון הוידאו.
- 3) עיין בסרטון הוידאו.
- 4) א. עיין בסרטון הוידאו. ב. i. כן. ii. כן. iii. לא.
- 5) א. 4 ב. 20 ג. עיין בסרטון הוידאו.
- ד. עיין בסרטון הוידאו.
- 6) א. עיין בסרטון הוידאו. ב. עיין בסרטון הוידאו. ג. עיין בסרטון הוידאו.

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 15 - מקדם המתאם ( מדד קשר ) הלינארי ומובהקותו

תוכן העניינים

1. מקדם המתאם הלינארי ( פירסון) ..... 128
2. חישוב מקדם המתאם הלינארי (פירסון) ..... 139
3. בדיקת השערות על מקדם המתאם הלינארי..... 144
4. ניתוח פלטים על מקדם המתאם הלינארי..... 148

## מקדם המתאם (מדד קשר) הלינארי ומובהקותו

### מדד הקשר הלינארי (פירסון) – מבוא

מעוניינים לבדוק עד כמה קיים קשר מסוג קשר לינארי (קו ישר) בין שני משתנים. שני המשתנים שאנו בודקים לגביהם קשר צריכים להיות משתנים כמותיים. מבחינת סולמות מדידה כל משתנה נחקר צריך להיות מסולם רווחים או מנה. בדרך כלל המשתנה המוצג כ-  $Y$  הוא המשתנה התלוי והמשתנה המוצג ב-  $X$  הוא המשתנה הבלתי תלוי. תיאור גרפי לנתונים נעשה על ידי דיאגרמת פיזור. בדיאגרמת פיזור אנחנו מסמנים כל תצפית בנקודה לפי שיעור ה-  $X$  ושיעור ה-  $Y$  שלה. דיאגרמת הפיזור נותנת אינדיקציה גרפית על הקשר בין שני המשתנים.

### דוגמה (פתרון בהקלטה) :

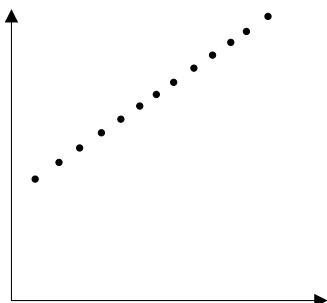
בבניין 8 דירות בדקו לכל דירה את מספר החדרים שלה וכמו כן את מספר הנפשות הגרות בדירה. להלן התוצאות שהתקבלו :

|   |   |   |   |   |   |   |   |                   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------|
| 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | מספר חדרים בדירה  |
| 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | מספר הנפשות בדירה |

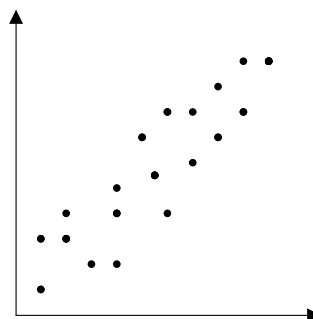
- (1) כמה תצפיות ישנן בדוגמה?
- (2) כמה משתנים ישנם בדוגמה, מי הם?
- (3) שרטטו לנתונים דיאגרמת פיזור.
- (4) מי המשתנה התלוי ומיהו המשתנה הבלתי תלוי?

## דיאגרמות פיזור לקשר בין משתנים וניתוחם

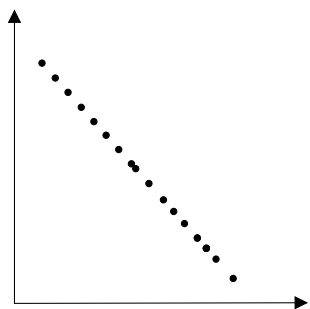
קשר לינארי חיובי מלא



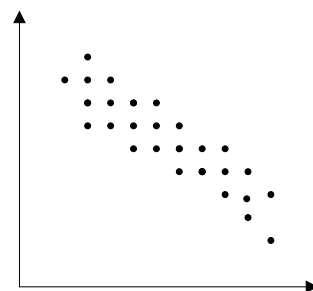
קשר לינארי חיובי חלקי



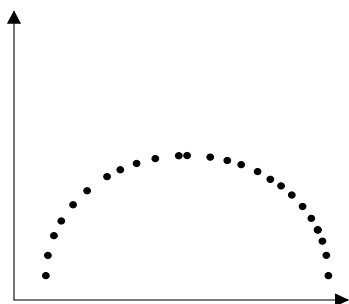
קשר לינארי שלילי מלא



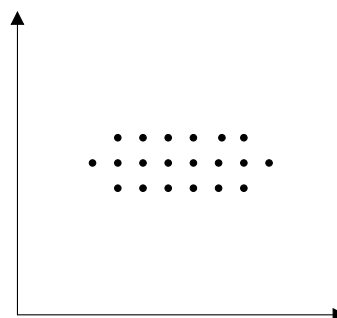
קשר לינארי שלילי חלקי



אין קשר לינארי



אין קשר



### משמעות מקדם המתאם:

כדי לבדוק עד כמה קיים קשר לינארי בין שני המשתנים ישנו מדד קשר שנקרא גם מקדם המתאם הלינארי הידוע גם בשם מקדם המתאם של פירסון. מקדם מתאם זה מקבל ערכים בין 1 ל-1.

-1

0

1

מקדם מתאם 1-או 1 אומר שקיים קשר לינארי מלא בין המשתנים שניתן לבטאו על ידי נוסחה של קו ישר:  $y = ax + b$ .

### מתאם חיובי מלא (מקדם מתאם 1):

קיים קשר לינארי מלא בו השיפוע  $a$  יהיה חיובי ואילו מתאם שלילי (מקדם מתאם-1) מלא אומר שקיים קשר לינארי מלא בו השיפוע  $a$  שלילי.

### מתאם חיובי חלקי:

ככל שמשתנה אחד עולה לשני יש נטייה לעלות בערכו אבל לא קיימת נוסחה לינארית שמקשרת את  $X$  ל- $Y$  באופן מוחלט ואילו מתאם שלילי חלקי אומר שככל שמשתנה אחד עולה לשני יש נטייה לרדת אבל לא קיימת נוסחה לינארית שמקשרת את  $X$  ל- $Y$  באופן מוחלט. ככל שמקדם המתאם קרוב לאפס עוצמת הקשר יותר חלשה וככל שהמדד רחוק יותר מהאפס העוצמה יותר חזקה. לסיכום, מקדם המתאם בודק את עוצמת הקשר הלינארי, ואת כיוון הקשר.

מקדם המתאם הלינארי אינו מושפע מיחידות המדידה. כל שינוי ביחידות המדידה של המשתנים, לא ישנה את מקדם המתאם.

מדד הקשר הלינארי באוכלוסייה, שנקרא גם מקדם המתאם של פירסון או מדד הקשר של פירסון באוכלוסייה מסומן ב:  $\rho$  - פרמטר המאפיין את עוצמת הקשר הלינארי באוכלוסייה וכיוונו בין שני המשתנים הנחקרים. כאשר:

$r$  - מדד הקשר הלינארי במדגם שמהווה אומדן לפרמטר  $\rho$ .

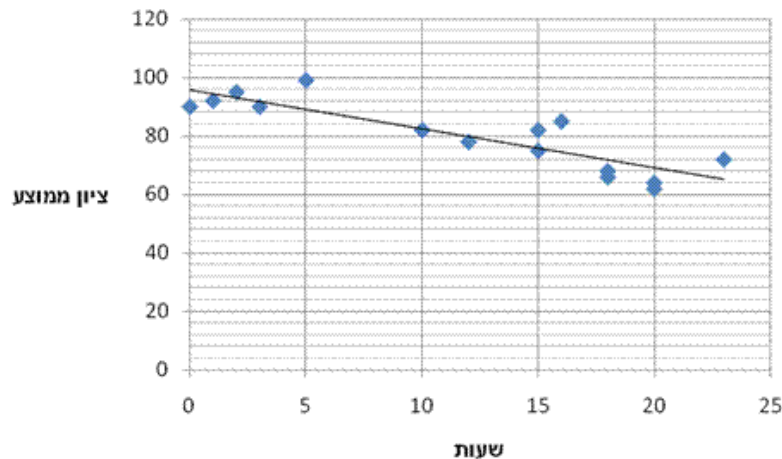
קיומו של מתאם בין שני משתנים אינו מצביע על סיבתיות בהכרח. למשל, אם נמצא מתאם חיובי בין כמות הסוכרזית שאדם אוכל לבין במשקל שלו אין זה אומר שהסיבה להשמנה היא הסוכרזית. מדד הקשר של פירסון הוא מדד קשר סימטרי, כלומר אם נחליף את  $X$  ב- $Y$  התוצאה תהיה זהה.

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

- מה ניתן להגיד על מקדם המתאם של שני המשתנים על סמך דיאגרמת הפיזור ששרטטנו?
- אם היינו משנים את השרטוט כך שבציר האנכי היה המשתנה "מספר החדרים" ובציר האופקי היה "מספר הנפשות", האם הדבר היה משפיע על מדד הקשר של פירסון?

## שאלות

- (1) חוקר רצה לאפיין את הקשר בין מספר השעות בשבוע שסטודנט מקדיש לבילויים לבין הציון הממוצע שלו בסוף הסמסטר. לשם כך הוא אסף נתונים של 15 סטודנטים ויצר דיאגרמת פיזור:



- א. מיהו המשתנה הבלתי תלוי?  
 ב. מה ניתן לומר על כיוון הקשר בין מספר שעות הבילוי השבועיות לבין הציון הממוצע של הסמסטר? מה ניתן להגיד על עוצמת הקשר?
- (2) להלן טבלה המסכמת את מקדמי המתאם הלינארי בין ציוני מבחנים שונים שהתקבלו עבור תלמידים בכיתה מסוימת:

| מתמטיקה | לשון | ספורט |         |
|---------|------|-------|---------|
| ?       | -0.7 | ?     | ספורט   |
| 0.6     | ?    | ?     | לשון    |
| ?       | ?    | -0.1  | מתמטיקה |

- א. השלימו את מקדמי המתאם שמסומנים בסימן שאלה בטבלה.  
 ב. בין אילו שני ציוני מקצועות שונים קיים מתאם בעל העוצמה החזקה ביותר?

- (3) במחקר נתבקשו לבדוק את הקשר בין מספר שעות התרגול של קורס לבין הציון הסופי שלו. להלן תוצאות מדגם שהתקבל:

| שעות תרגול | ציון סופי |
|------------|-----------|
| 20         | 90        |
| 25         | 90        |
| 30         | 95        |
| 15         | 60        |
| 30         | 90        |
| 20         | 85        |
| 10         | 50        |

- א. מיהו המשתנה התלוי ומיהו המשתנה הבלתי תלוי בדוגמה זו?  
 ב. שרטטו דיאגרמת פיזור לנתונים.  
 ג. מה ניתן לומר על הקשר בין המשתנים במדגם?  
 ד. מסתבר שבסופו של דבר נתנו פקטור של 5 נקודות לציון הסופי. כיצד הדבר היה משנה את מקדם המתאם של המדגם?

(4) בתחנה המטאורולוגית רצו לבדוק את הקשר שבין הטמפרטורה במעלות צלזיוס לכמות המשקעים במ"מ. הם אספו נתונים על 10 ימים במהלך חודש ינואר. המתאם שהתקבל היה 0.8.

א. השלימו את המשפט:

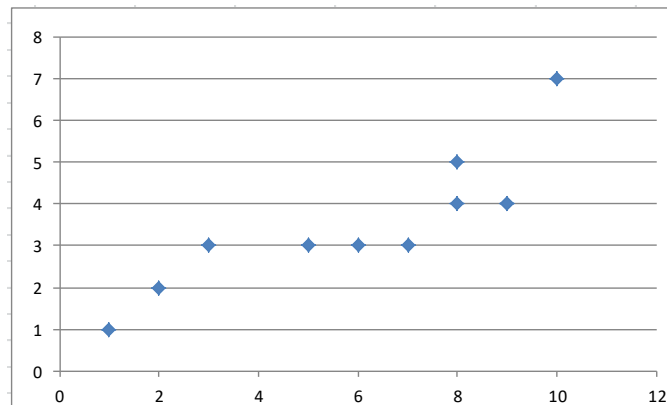
בחודש ינואר ככל שהטמפרטורה היומית נוטה לרדת, כך כמות המשקעים נוטה \_\_\_\_\_.

ב. הוחלט להעביר את הטמפרטורה למעלות פרנהייט על מנת שיוכלו

להשוות אותה לנתונים מארה"ב. נוסחת המעבר היא  $F^0 = 32 + \frac{9}{5}C^0$ .

כיצד הדבר ישפיע על מקדם המתאם בין הטמפרטורה במעלות פרנהייט לכמות המשקעים במ"מ?

(5) להלן דיאגרמת פיזור המראה קשר בין שני משנים:



א. השלימו: ניתן לראות שהקשר הוא לינארי \_\_\_\_\_ (מלאו חלקי) כיוון הקשר הוא (חיובי/שלילי).

ב. השלימו: אם היינו מוסיפים תצפית שערך ה-  $X$  שלה הוא 4 וערך ה-  $Y$  שלה הוא 7, מקדם המתאם של פירסון היה \_\_\_\_\_ (גדלו קטן/לא משתנה).

**שאלות רב ברירה (יש לבחור את התשובה הנכונה):**

(6) חוקר אקלים דגם כמה ימים בשנה ומדד את הטמפרטורה בטורונטו שבקנדה ואת הטמפרטורה בסידני שבאוסטרליה באותו היום. הוא חישב ומצא מקדם מתאם שלילי בין הטמפרטורה היומית בטורונטו לבין הטמפרטורה היומית בסידני. משמעות מקדם המתאם השלילי במדגם:

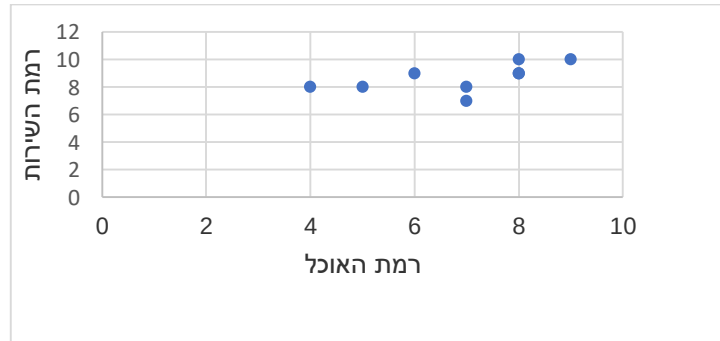
א. אין קשר בין הטמפרטורה בטורונטו לבין הטמפרטורה בסידני בימים שנדגמו.

ב. במדגם, רוב הטמפרטורות בטורונטו היו שליליות.

ג. ההפרש בין הטמפרטורה בטורונטו לבין הטמפרטורה באוסטרליה, במדגם זה, הוא שלילי.

ד. במדגם יש נטייה שהטמפרטורה יורדת בטורונטו לטמפרטורה לעלות בסידני.

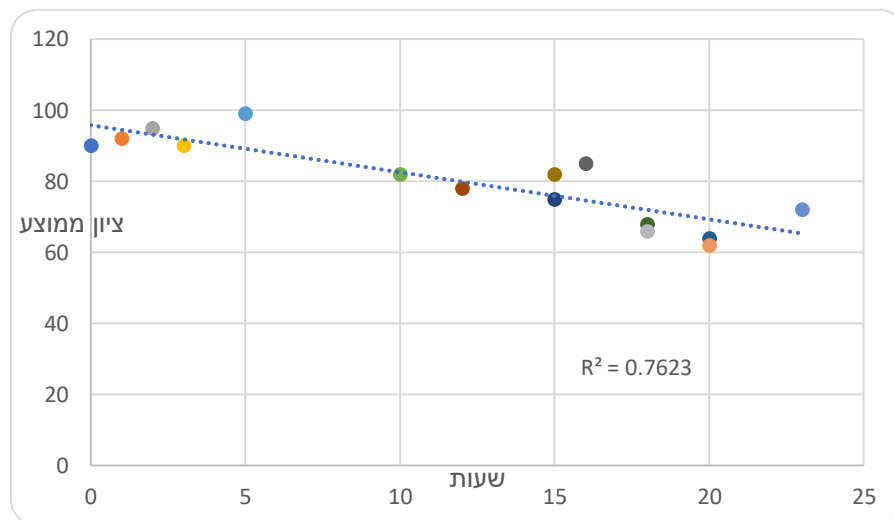
- 7) בסקר שביעות רצון שנערך בבית הקפה "פת לחם" התבקשו הלקוחות לדרג את מידת שביעות הרצון שלהם (בסולם 1-10) בשני נושאים: רמת האוכל ורמת השירות.



מה יהיה ערכו של מקדם המתאם ( $r$ )?

- א.  $r = -0.3$
- ב.  $r = 0$
- ג.  $r = 1.125$
- ד.  $r = 0.593$

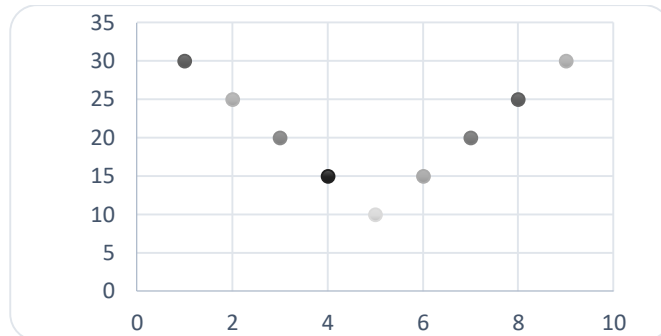
- 8) חוקר רצה לאפיין את הקשר בין מספר השעות בשבוע שסטודנט מקדיש לבילויים לבין הציון הממוצע שלו בסוף הסמסטר. לשם כך הוא אסף נתונים של 15 סטודנטים ויצר דיאגרמת פיזור.



מה ניתן לומר על כיוון הקשר במדגם בין מספר שעות הבילוי השבועיות לבין הציון הממוצע של הסמסטר?

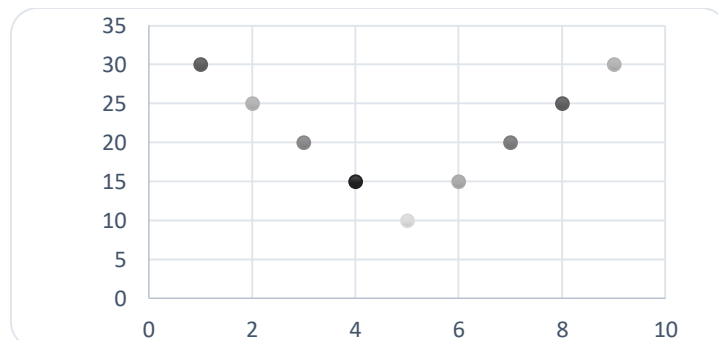
- א. ככל שמבליים יותר הציון נוטה לרדת.
- ב. אין קשר בין שעות הבילוי לציון.
- ג. ככל שמבליים פחות הציון נוטה לרדת.
- ד. ככל שהציון נוטה לרדת הסטודנט מבלה פחות.

9) התרשים הבא מתאר קשר בין שני משתנים, איזה מהמתאמים הבאים הוא המתאים ביותר לתיאור הקשר בין שני המשתנים?



- א.  $r = 1$  היות ושני המשתנים יוצרים קוים ישרים.
- ב.  $r = 2$  היות ויש שני קוים בעלי קשר מושלם.
- ג.  $r = 0$  היות והקו יורד ואחר כך עולה באותו האופן.
- ד.  $r = \pm 1$  היות ויש קו עולה וגם קו יורד.

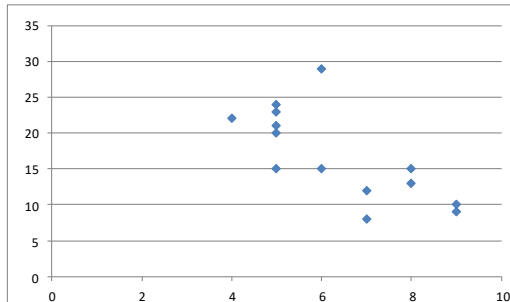
10) התרשים הבא מתאר דיאגרמת פיזור.



איזו טענה נכונה?

- א. בתרשים מוצג הקשר בין שני משתנים.
- ב. בתרשים מוצג הקשר בין 9 משתנים.
- ג. בתרשים מוצג הקשר בין 10 משתנים.
- ד. אין לדעת כמה משתנים מוצגים בתרשים.

בגרף הבא מתוארת דיאגרמת פיזור של שני משתנים:



$X$  - (משתנה בלתי תלוי בציר האופקי)

$Y$  - (משתנה תלוי).

במדגם התקבל  $r^2 = 0.52$ .

11) לאור הנתונים המופיעים בדיאגרמה, איזה מבין הערכים הבאים מתאים להיות התוצאה של  $r$ ?

א. -0.52

ב. 0.72

ג. -0.72

ד. 0.52

12) אם מקדם המתאם בין שני משתנים הוא 1, אזי:

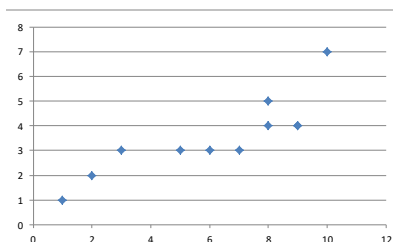
א. הערכים של המשתנים הם חיוביים.

ב. עבור כל תצפית ערך של משתנה אחד שווה לערך של המשתנה השני.

ג. הקשר הלינארי הוא בעוצמה חזקה.

ד. אף אחת מהתשובות לא בהכרח נכונה.

13) להלן דיאגרמת פיזור:



מה יהיה מקדם המתאם בין שני המשתנים?

א. 1

ב. 0.85

ג. 0.15

ד. 0

14) בבדיקת קשר בין שני משתנים התקבל:  $r = -1$ .

א. קיימת נוסחה לינארית הקושרת בין כל התצפיות.

ב. לא קיים קשר בין שני המשתנים.

ג. ככל שמשתנה אחד נוטה לרדת גם לשני יש נטייה לרדת.

ד. קיים קשר בין שני המשתנים, אך לא ניתן לדעת מאיזה סוג.

15) לפי הפתגם "רחוק מהעין, רחוק מהלב", יש קשר \_\_\_\_ בין קרבה פיזית לקרבה נפשית.

- א. חיובי
- ב. שלילי
- ג. אפסי
- ד. לא ניתן לדעת.

16) מבחן אמי"ר הינו מבחן מיון באנגלית של המרכז הארצי לבחינות והערכה. הציון המינימלי בבחינה הינו 150 והמקסימלי הינו 250. בקורס הכנה למבחן השתתפו 19 תלמידים. להלן הציונים שלהם על פי פלט שהתקבל:

|        |         |
|--------|---------|
|        | 159     |
|        | 170     |
|        | 180     |
|        | 185     |
|        | 204     |
|        | 224     |
|        | 236     |
|        | 212     |
|        | 168     |
|        | 189     |
|        | 195     |
|        | 163     |
|        | 187     |
|        | 206     |
|        | 201     |
|        | 223     |
|        | 242     |
|        | 203     |
|        | 205     |
| 197.47 | AVERAGE |
| 536.25 | VARPA   |

יש להוסיף עמודה נוספת לצד עמודת הציונים שתראה לכל תלמיד כמה נקודות חסרות לו כדי להשלים לציון המקסימלי בבחינה.

מה יהיה מקדם המתאם בין שתי העמודות (כלומר, מקדם המתאם בין הציון לבין הנקודות החסרות)?

- א. -1
- ב. 1
- ג. -0.5
- ד. 0.5

17) מקדם המתאם בין שטחי דירה למחיר שלהם חושב ונמצא 1.2. מה נובע מכך?

- א. ככל שהדירה גדולה יותר בשטחה כך היא יקרה יותר.
- ב. ככל שהדירה קטנה יותר בשטחה כך היא זולה יותר.
- ג. לא קיים קשר בין שטח הדירה למחיר הדירה.
- ד. מצב כזה שמתואר הנתונים לא אפשרי.

18) אם ניקח 10 אנשים ונרשום לכל אדם את הגובה במטר וכמו כן את הגובה בס"מ. מה יהיה מקדם המתאם בין גובה האדם במטר לגובה האדם בס"מ?

- א. 1
- ב. 0
- ג. -1
- ד. לא ניתן לדעת.

- 19** נמצא מתאם חיובי בעוצמה גבוהה בין  $X$  – ציון בבגרות בלשון ל  $Y$  – ציון בבגרות במתמטיקה. אילו מהמשפטים הבאים נכון?
- א. ניתן לומר שאחת מהסיבות להבדלים שיש לסטודנטים במתמטיקה נובעים מההבדלים שיש להם בלשון.
- ב. קיימת נוסחה של קו ישר שקושרת בין ציון בבגרות במתמטיקה לציון בבגרות בלשון.
- ג. ללא יוצא מן הכלל, ניתן להגיד שכל תלמיד שמצליח יותר מתלמיד אחר בלשון גם יצליח יותר מאותו תלמיד במתמטיקה.
- ד. אף אחד מהטענות שהוצגו אינה בהכרח נכונה.

- 20** עבור סדרה של תצפיות מדדו את  $X$  ואת  $Y$ . נמצא שעבור כל התצפיות שהערך של  $Y$  ירד הערך של  $X$  בהכרח ירד ללא יוצא מן הכלל. מקדם המתאם של פירסון יהיה בהכרח :

- א. 1
- ב. -1
- ג. 0
- ד. אף אחת מהתשובות.

## תשובות סופיות

- (1) א. שעות בילוי.  
 ב. הקשר חלקי, כיוון הקשר שלילי.  
 (2) א. להלן טבלה:

| מתמטיקה | לשון | ספורט |         |
|---------|------|-------|---------|
| 0.1     | -0.7 | 1     | ספורט   |
| 0.6     | 1    | -0.7  | לשון    |
| 1       | 0.6  | -0.1  | מתמטיקה |

- (3) א. ב"ת- מס' שעות התרגול, תלוי- ציון.  
 ג. קשר לינארי חיובי חלקי.  
 (4) א. לעלות.  
 (5) א. חלקי, חיובי.

(6) ד' (7) ד' (8) א' (9) ג' (10) א'

(11) ג' (12) ד' (13) ב' (14) א' (15) א'

(16) א' (17) ד' (18) א' (19) ד' (20) ד'

## מדדי קשר – מדד הקשר הלינארי (פירסון) – רקע

המטרה היא לבדוק האם קיים קשר (קורלציה, מתאם) של קו ישר בין שני משתנים כמותיים. מבחינת סולמות המדידה קשר בין סולמות רווחים ומנה. בדרך כלל,  $X$  הוא המשתנה המסביר (הבלתי תלוי) ו- $Y$  הוא המשתנה המוסבר (התלוי).

### דוגמה:

נרצה להסביר כיצד השכלה של אדם הנמדדת בשנות לימוד  $X$  מסבירה את ההכנסה שלו  $Y$ . במקרה זה שנות ההשכלה זהו המשתנה המסביר (או הבלתי תלוי) ואנחנו מעוניינים לבדוק כיצד שינויים בשנות ההשכלה של אדם יכולים להסביר את השינויים שלו בהכנסה, ולכן רמת ההכנסה זהו המשתנה המוסבר התלוי במשתנה המסביר אותו.

**שלב ראשון:** נהוג לשרטט דיאגרמת פיזור. זו דיאגרמה שנותנת אינדיקציה ויזואלית על טיב הקשר בין שני המשתנים.

### דוגמה:

| מס' דירה | $X$ | $Y$ |
|----------|-----|-----|
| 1        | 3   | 2   |
| 2        | 2   | 2   |
| 3        | 4   | 3   |
| 4        | 3   | 3   |
| 5        | 5   | 4   |

בבניין של 5 דירות בדקו את הנתונים הבאים:  
 $X$  - מס' חדרים בדירה.  $Y$  - מס' נפשות הגרות בדירה.  
 להלן התוצאות שהתקבלו:

נשרטט מנתונים אלה דיאגרמת פיזור (הדיאגרמה המלאה בסרטון). נתבונן בכמה מקרים של דיאגרמות פיזור וננתח אותן (הדיאגרמות המלאות בסרטון).

**שלב שני:** מחשבים את מקדם המתאם (מדד הקשר) שבודק עד כמה קיים קשר לינארי בין שני המשתנים. המדד (ניקרא גם מדד הקשר של פירסון) מכמת את מה שניראה בשלב הראשון רק בעין.  
 המדד בודק את כיוון הקשר (חיובי או שלילי) ואת עוצמת הקשר (חלש עד חזק).  
 מקדם מתאם זה מקבל ערכים בין -1 ל-1.  
 מקדם מתאם -1 או 1 אומר שקיים קשר לינארי מוחלט ומלא בין המשתנים שניתן לבטאו על ידי הנוסחה:  $y = bx + a$ .

### מתאם חיובי מלא (מקדם מתאם 1):

קיים קשר לינארי מלא בו השיפוע  $b$  יהיה חיובי ואילו מתאם שלילי מלא אומר שקיים קשר לינארי מלא בו השיפוע  $b$  שלילי (מקדם מתאם -1).

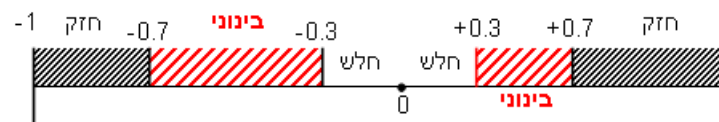
### מתאם חיובי חלקי:

ככל שמשתנה אחד עולה לשני יש נטייה לעלות בערכו אבל לא קיימת נוסחה לינארית שמקשרת את  $X$  ל- $Y$  באופן מוחלט.

### מתאם שלילי חלקי:

ככל שמשתנה אחד עולה לשני יש נטייה לרדת אבל לא קיימת נוסחה לינארית שמקשרת את  $X$  ל- $Y$  באופן מוחלט.

ככל שערך מקדם המתאם קרוב לאפס נאמר שעוצמת הקשר חלשה יותר וככל שמקדם המתאם רחוק מהאפס נאמר שעוצמת הקשר חזקה יותר:



מקדם המתאם יסומן באות  $r$ .

כדי לחשב את מקדם המתאם, יש לחשב את סטיות התקן של כל משתנה ואת השונות המשותפת.

$$COV(x, y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n} = \frac{\sum xy}{n} - \bar{x} \cdot \bar{y} : \text{שונות משותפת}$$

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2 : \text{שונות של המשתנה } X$$

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} - \bar{y}^2 : \text{שונות המשתנה } Y$$

$$r_{xy} = \frac{COV(x, y)}{S_x \cdot S_y} : \text{מקדם המתאם הלינארי}$$

## שאלות

- 1) להלן נתונים לגבי שישה תלמידים שנגשו למבחן. בדקו לגבי כל תלמיד את הציון שלו בסוף הקורס וכמו כן את מספר החיסורים שלו מהקורס.

| מספר חיסורים | 2  | 1  | 0  | 2  | 3  | 4  |
|--------------|----|----|----|----|----|----|
| ציון         | 80 | 90 | 90 | 70 | 70 | 50 |

- א. שרטטו דיאגרמת פיזור לנתונים. מה ניתן להסיק מהדיאגרמה על טיב הקשר בין מספר החיסורים של תלמיד לציונו? מיהו המשתנה הבלתי תלוי ומיהו המשתנה התלוי?
- ב. חשבו את מדד הקשר של פירסון. האם התוצאה מתיישבת עם תשובתך לסעיף א'?
- ג. הסבירו, ללא חישוב, כיצד מקדם המתאם היה משתנה אם היה מתווסף תלמיד שהחסיר 4 פעמים וקיבל ציון 80?

| X  | Y  |
|----|----|
| 10 | 12 |
| 14 | 15 |
| 15 | 15 |
| 18 | 17 |
| 20 | 21 |

- 2) במחקר רפואי רצו לבדוק האם קיים קשר בין רמת ההורמון X בדם החולה לרמת ההורמון Y שלו. לצורך כך מדדו את רמת ההורמונים ההלו עבור חמישה חולים. להלן התוצאות שהתקבלו:
- א. מה הממוצע של כל רמת הורמון?
- ב. מהו מקדם המתאם בין ההורמונים? ומה משמעות התוצאה?

- 3) נסמן ב-X את ההכנסה של משפחה באלפי ₪. נסמן ב-Y את ההוצאות של משפחה באלפי ₪. נלקחו 20 משפחות והתקבלו התוצאות הבאות:

$$\sum_{i=1}^{20} Y_i = 200 \qquad \sum_{i=1}^{20} X_i = 240$$

$$\sum_{i=1}^{20} (Y_i - \bar{Y})^2 = 76 \qquad \sum_{i=1}^{20} (X_i - \bar{X})^2 = 76$$

$$\sum_{i=1}^{20} (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) = 60.8$$

- א. חשב את מדד הקשר הלינארי בין X ל-Y. מיהו המשתנה התלוי?
- ב. מה המשמעות של התוצאה שקיבלת בסעיף א'?

- (4) נסמן ב-  $X$  את ההכנסה של משפחה באלפי ₪. נסמן ב-  $Y$  את ההוצאות של משפחה באלפי ₪. נלקחו 20 משפחות והתקבלו התוצאות הבאות:

$$\sum_{i=1}^{20} Y_i = 200 \quad \sum_{i=1}^{20} X_i = 240$$

$$\sum_{i=1}^{20} Y_i^2 = 2080 \quad \sum_{i=1}^{20} X_i^2 = 2960$$

$$\sum_{i=1}^{20} X_i Y_i = 2464$$

חשבו את מדד הקשר הלינארי בין  $X$  ל-  $Y$ .

- (5) במוסד אקדמי ציון ההתאמה מחושב כך: מכפילים את הציון הממוצע בבגרות ב-3 ומפחיתים 2 נקודות. ידוע שעבור 40 מועמדים סטיית התקן של ממוצע הציון בבגרות הייתה 2.  
מה מקדם המתאם בין ציון ההתאמה לציון הממוצע בבגרות שלהם?

- (6) להלן רשימת טענות, לגבי כל טענה קבעו נכון/לא נכון ונמקו.  
א. מתווך דירות המיר מחירי דירות מדולר לשקל. נניח שדולר אחד הוא 3.5 ₪. אם מתווך הדירות יחשב את מדד הקשר של פירסון בין מחיר הדירה בשקלים למחיר הדירה בדולרים הוא יקבל 1.  
ב. לסדרה של נתונים התקבל  $\bar{X} = \bar{Y} = 6$ ,  $S_x = S_y = 1$ . לכן, מדד הקשר של פירסון יהיה 1.  
ג. אם השונות המשותפת של  $X$  ושל  $Y$  הינה 0 אז בהכרח גם מקדם המתאם של פירסון יהיה 0.

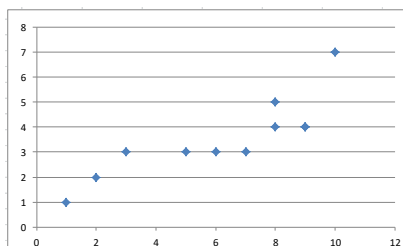
### שאלות רב-ברירה:

- (7) נמצא שקיים מקדם מתאם שלילי בין הציון בעברית לציון בחשבון בבחינה לכן:  
א. הדבר מעיד שהציונים בכיתה היו שליליים.  
ב. ככל שהציון של תלמיד יורד בחשבון יש לו נטייה לרדת בעברית.  
ג. ככל שהציון של תלמיד עולה בחשבון יש לו נטייה לרדת בעברית.  
ד. אף אחת מהתשובות לא נכונה.

(8) נלקחו 20 מוצרים ונבדק ביום מסוים המחיר שלהם בדולרים והמחיר שלהם בש"ח (באותו היום ערך הדולר היה-4.2ש"ח). מהו מקדם המתאם בין המחיר בדולר למחיר בש"ח?

- א. 1
- ב. 0
- ג. 4.2
- ד. לא ניתן לדעת.

(9) להלן דיאגרמת פיזור: מה יהיה מקדם המתאם בין שני המשתנים?



- א. 1
- ב. 0.85
- ג. 0.15
- ד. 0

## תשובות סופיות

- (1) א. משתנה תלוי: ציון, משתנה ב"ת: מס' חיסורים. ראה דיאגרמה בוידאו. ניתן להסיק שקיים קשר לינארי שלילי וחלקי בין מספר החיסורים לציון התלמיד.  
ב. -0.9325.  
ג. הקשר יישאר לינארי שלילי חלקי אך עוצמתו תחלש.
- (2) א.  $\bar{y} = 16$ ,  $\bar{x} = 15.4$       ב.  $r_{xy} = 0.96$ .
- (3) א. 0.8
- (4) 0.8
- (5) 1
- (6) א. נכון.      ב. לא נכון.      ג. נכון.
- (7) ג'.
- (8) א'.
- (9) ב'.

### בדיקת השערות על מקדם המתאם הלינארי – רקע

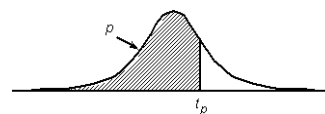
מדד הקשר הלינארי באוכלוסייה, שנקרא גם מקדם המתאם של פירסון או מדד הקשר של פירסון באוכלוסייה מסומן ב:  $\rho$  - פרמטר המאפיין את עוצמת הקשר הלינארי וכיוונו בין שני המשתנים הנחקרים באוכלוסייה. כאשר:  $r$  - מדד הקשר הלינארי במדגם שמהווה אומדן לפרמטר  $\rho$ .

**השערת האפס:** תהיה שבאוכלוסייה לא קיים כלל קשר לינארי בין שני המשתנים  $H_0: \rho = 0$ .  
ההנחה שעליה אנו מתבססים בתהליך היא ששני המשתנים הנחקרים מתפלגים דו נורמלית.

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \sim t(n-2)$$

סטטיסטי זה מתפלג  $t$  עם  $n-2$  דרגות חופש.

|                       |                        |                                                      |                                         |
|-----------------------|------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| $H_0: \rho = 0$       | $H_0: \rho = 0$        | $H_0: \rho = 0$                                      | השערת האפס:                             |
| $H_1: \rho > 0$       | $H_1: \rho < 0$        | $H_1: \rho \neq 0$                                   | השערת המחקר:                            |
| $t \geq t_{1-\alpha}$ | $t \leq -t_{1-\alpha}$ | $t \geq t_{1-\alpha}$<br>ו<br>$t \leq -t_{1-\alpha}$ | כלל ההכרעה:<br>אזור דחייה של השערת האפס |

**טבלת ערכים קריטיים של  $t$  - נספח: טבלת התפלגות  $T$** 
 $P$ 

| דרגות חופש | 0.75  | 0.90  | 0.95  | 0.975  | 0.99   | 0.995  | 0.9995  |
|------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| 1          | 1.000 | 3.078 | 6.314 | 12.709 | 31.821 | 63.657 | 636.619 |
| 2          | 0.816 | 1.886 | 2.920 | 4.303  | 6.965  | 9.925  | 31.598  |
| 3          | 0.765 | 1.638 | 2.353 | 3.182  | 4.541  | 5.841  | 12.941  |
| 4          | 0.741 | 1.533 | 2.132 | 2.776  | 3.747  | 4.604  | 8.610   |
| 5          | 0.727 | 1.476 | 2.015 | 2.571  | 3.365  | 4.032  | 6.859   |
| 6          | 0.718 | 1.440 | 1.943 | 2.447  | 3.143  | 3.707  | 5.959   |
| 7          | 0.711 | 1.415 | 1.895 | 2.365  | 2.998  | 3.499  | 5.405   |
| 8          | 0.706 | 1.397 | 1.860 | 2.306  | 2.896  | 3.355  | 5.041   |
| 9          | 0.703 | 1.383 | 1.833 | 2.262  | 2.821  | 3.250  | 4.781   |
| 10         | 0.700 | 1.372 | 1.812 | 2.228  | 2.764  | 3.169  | 4.587   |
| 11         | 0.697 | 1.363 | 1.796 | 2.201  | 2.718  | 3.106  | 4.437   |
| 12         | 0.695 | 1.356 | 1.782 | 2.179  | 2.681  | 3.055  | 4.318   |
| 13         | 0.694 | 1.350 | 1.771 | 2.160  | 2.650  | 3.012  | 4.221   |
| 14         | 0.692 | 1.345 | 1.761 | 2.145  | 2.624  | 2.977  | 4.140   |
| 15         | 0.691 | 1.341 | 1.753 | 2.131  | 2.602  | 2.947  | 4.073   |
| 16         | 0.690 | 1.337 | 1.746 | 2.120  | 2.583  | 2.921  | 4.015   |
| 17         | 0.689 | 1.333 | 1.740 | 2.110  | 2.567  | 2.898  | 3.965   |
| 18         | 0.688 | 1.330 | 1.734 | 2.101  | 2.552  | 2.878  | 3.922   |
| 19         | 0.688 | 1.328 | 1.729 | 2.093  | 2.539  | 2.861  | 3.883   |
| 20         | 0.687 | 1.325 | 1.725 | 2.086  | 2.528  | 2.845  | 3.850   |
| 21         | 0.686 | 1.323 | 1.721 | 2.080  | 2.518  | 2.831  | 3.819   |
| 22         | 0.686 | 1.321 | 1.717 | 2.074  | 2.508  | 2.819  | 3.792   |
| 23         | 0.685 | 1.319 | 1.714 | 2.069  | 2.500  | 2.807  | 3.767   |
| 24         | 0.685 | 1.318 | 1.711 | 2.064  | 2.492  | 2.797  | 3.745   |
| 25         | 0.684 | 1.316 | 1.708 | 2.060  | 2.485  | 2.787  | 3.725   |
| 26         | 0.684 | 1.315 | 1.706 | 2.056  | 2.479  | 2.779  | 3.707   |
| 27         | 0.684 | 1.314 | 1.703 | 2.052  | 2.473  | 2.771  | 3.690   |
| 28         | 0.683 | 1.313 | 1.701 | 2.048  | 2.467  | 2.763  | 3.674   |
| 29         | 0.683 | 1.311 | 1.699 | 2.045  | 2.462  | 2.756  | 3.659   |
| 30         | 0.683 | 1.310 | 1.697 | 2.042  | 2.457  | 2.750  | 3.646   |
| 40         | 0.681 | 1.303 | 1.684 | 2.021  | 2.423  | 2.704  | 3.551   |
| 60         | 0.679 | 1.296 | 1.671 | 2.000  | 2.390  | 2.660  | 3.460   |
| 120        | 0.677 | 1.289 | 1.658 | 1.980  | 2.358  | 2.617  | 3.373   |
| $\infty$   | 0.674 | 1.282 | 1.645 | 1.960  | 2.326  | 2.576  | 3.291   |

## שאלות

(1) להלן נתונים על הוותק בעבודה (בשנים) ועל השכלה (בשנים) במדגם של 10 עובדים:

| נחקר      | 1  | 2  | 3  | 4 | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|-----------|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|
| X - וותק  | 13 | 18 | 2  | 8 | 16 | 9  | 5  | 28 | 17 | 24 |
| Y - השכלה | 12 | 14 | 17 | 8 | 11 | 12 | 13 | 8  | 12 | 15 |

מקדם המתאם חושב והתקבל:  $-0.31$ .

- א. האם קיים מתאם בין וותק העובד להשכלתו? בדקו ברמת מובהקות של 5%?  
 ב. אם הוותק של העובד היה נמדד בחודשים האם התשובה לסעיף א' הייתה משתנה?

(2) מחקר התעניין לבדוק את הקשר בין גיל נשים בהריון לרמת ההמוגלובין שלהן בדם בזמן הריון. נדגמו 7 נשים והתקבלו התוצאות הבאות:

| נחקרת     | 1    | 2    | 3   | 4  | 5    | 6  | 7    |
|-----------|------|------|-----|----|------|----|------|
| המוגלובין | 14.7 | 13.5 | 9.7 | 12 | 10.8 | 13 | 10.3 |
| גיל       | 39   | 34   | 30  | 29 | 28   | 26 | 23   |

במדגם חושב מדד הקשר של פירסון להיות  $0.7$ .

- א. האם ניתן לומר שבמדגם אם אישה היא יותר מבוגרת אזי בהכרח יש לה יותר המוגלובין בדם?  
 ב. האם ניתן לומר, ברמת מובהקות של 5%, שקיים מתאם בין גיל האישה שבהריון לבין רמת ההמוגלובין שלה בדם?

(3) בתחנה המטאורולוגית רצו לבדוק את הקשר שבין הטמפרטורה במעלות צלזיוס לכמות המשקעים במ"מ. הם אספו נתונים על 10 ימים במהלך חודש ינואר. המתאם שהתקבל היה  $-0.8$ .

- א. בדקו ברמת מובהקות של 2.5% האם קיים קשר לינארי שלילי בחודש ינואר בין הטמפרטורה במעלות צלזיוס לבין המשקעים במעלות צלזיוס.  
 ב. כיצד הייתה משתנה התשובה לסעיף א אם הינו מוסיפים עוד תצפיות למדגם?  
 ג. על סמך טבלת T המצורפת עבור אילו רמות מובהקות ניתן להחליט שקיים קשר לינארי שלילי מובהק?

(4) מתווך דירות חישב את מקדם המתאם בין שטח דירה במרכז תל אביב לבין המחיר של הדירה עבור 17 דירות. מקדם המתאם שקיבל היה  $0.6$ .

- א. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם ניתן להגיד שקיים קשר ישר עולה בין שטח הדירה לבין מחיר הדירה במרכז תל אביב?  
 ב. מהי מובהקות התוצאה לבדיקת ההשערה שקיים קשר ישר עולה בין שטח הדירה לבין מחיר הדירה בתל אביב.

**תשובות סופיות**

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| ב. לא תשתנה.              | (1) א. לא נדחה את $H_0$ . |
| ב. לא נדחה את $H_0$ .     | (2) א. לא                 |
| ב. לא ניתן לדעת.          | (3) א. נדחה את $H_0$ .    |
|                           | ג. לפחות 0.005.           |
| ב. $0.005 < P_v < 0.01$ . | (4) א. נדחה את $H_0$ .    |

## מדד הקשר הלינארי – ניתוח פלטים – רקע

מדד הקשר הלינארי באוכלוסייה, שנקרא גם מקדם המתאם של פירסון או מדד הקשר של פירסון באוכלוסייה מסומן ב:  $\rho$  - פרמטר המאפיין את עוצמת הקשר הלינארי באוכלוסייה וכיוונו בין שני המשתנים הנחקרים. כאשר:

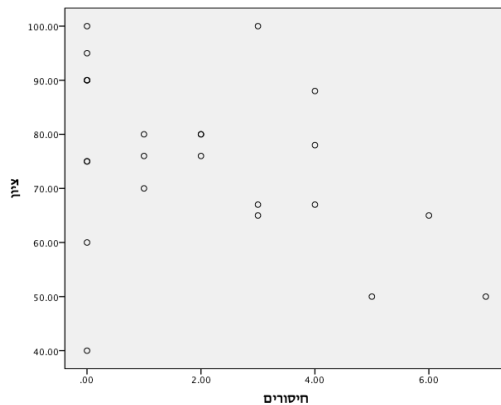
$r$  - מדד הקשר הלינארי במדגם שמהווה אומדן לפרמטר  $\rho$ .

השערת האפס: תהיה שבאוכלוסייה לא קיים כלל קשר לינארי בין שני המשתנים:  $H_0: \rho = 0$ .

ההנחה שעליה אנו מתבססים בתהליך היא ששני המשתנים הנחקרים מתפלגים דו נורמלית.

**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

הדיקן ביקש לדגום סטודנטים כדי לבדוק את הקשר בין ציון הסטודנט בקורס למספר הפעמים שהוא החסיר שיעור בקורס. דיאגרמת הפיזור שהתקבלה במדגם שבוצע:



- א. מיהו המשתנה התלוי ומיהו המשתנה הבלתי תלוי במחקר?
- ב. מה ניתן לראות לגבי הקשר הלינארי בין המשתנים שהתקבל במדגם?

Correlations

|         |                     | חיסורים | ציון  |
|---------|---------------------|---------|-------|
| חיסורים | Pearson Correlation | 1       | -.389 |
|         | Sig. (2-tailed)     |         | .060  |
|         | N                   | 24      | 24    |
| ציון    | Pearson Correlation | -.389   | 1     |
|         | Sig. (2-tailed)     | .060    |       |
|         | N                   | 24      | 24    |

- ג. מהו מקדם המתאם שהתקבל במדגם? מה המשמעות שלו?
- ד. האם ניתן להגיד ברמת מובהקות של 5% שקיים מתאם לינארי שלילי בין מספר החיסורים של הסטודנטים מהקורס לבין הציון של הסטודנטים בקורס?

## שאלות

1) מחקר רפואי התעניין לבדוק האם קיים קשר לינארי בין גיל האישה בהריון לרמת ההמוגלובין שלה. להלן תוצאות מדגם שהתקבלו, עבור נשים בהריון :

Correlations

|            |                 | age  | hemoglobin |
|------------|-----------------|------|------------|
| age        | Pearson         | 1    | .565       |
|            | Correlation     |      |            |
|            | Sig. (2-tailed) | 23   | .005       |
|            | N               |      |            |
| hemoglobin | Pearson         | .565 | 1          |
|            | Correlation     |      |            |
|            | Sig. (2-tailed) | .005 | 23         |
|            | N               |      |            |

- א. מהי אוכלוסיית המחקר?
- ב. מהן השערות המחקר?
- ג. מהו המשתנה הבלתי תלוי ומהו המשתנה התלוי במחקר?
- ד. מהי מסקנת המחקר ברמת מובהקות של 5%?

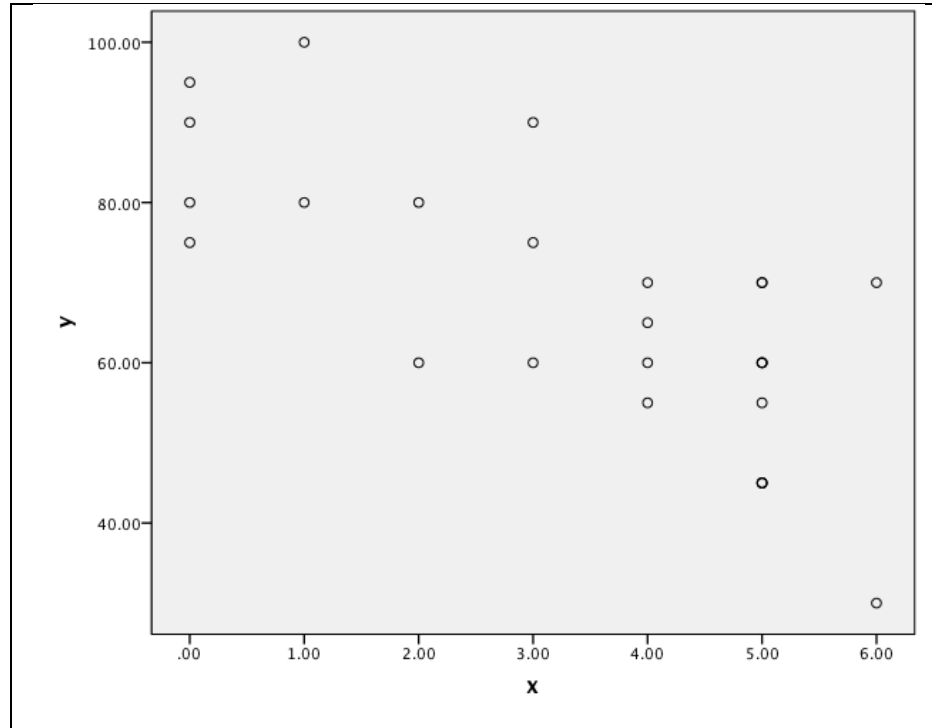
2) במדגם שנעשה נבדקו מספר משתנים על התצפיות שנדגמו. להלן פלט שהופק על המדגם:

Correlations

|   |                 | x     | y     | z     | w     |
|---|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| x | Pearson         | ???   | -.682 | .134  | .176  |
|   | Correlation     |       |       |       |       |
|   | Sig. (2-tailed) |       | .005  | .634  | .530  |
|   | N               | 15    | 15    | 15    | 15    |
| y | Pearson         | -.682 | 1     | ???   | -.555 |
|   | Correlation     |       |       |       |       |
|   | Sig. (2-tailed) | .005  |       | .544  | .032  |
|   | N               | 15    | 15    | 15    | 15    |
| z | Pearson         | .134  | .170  | 1     | -.247 |
|   | Correlation     |       |       |       |       |
|   | Sig. (2-tailed) | ???   | .544  |       | .374  |
|   | N               | 15    | 15    | 15    | 15    |
| w | Pearson         | .176  | -.555 | -.247 | 1     |
|   | Correlation     |       |       |       |       |
|   | Sig. (2-tailed) | .530  | .032  | .374  |       |
|   | N               | 15    | 15    | 15    | 15    |

- א. בין אילו שני משתנים שונים הקשר הלינארי במדגם נמצא עם העוצמה הכי חזקה?
- ב. ברמת מובהקות של 5%, אילו שני משתנים בעל קשר לינארי מובהק?
- ג. השלימו את המספרים המסומנים בפלט בסימני שאלה.

3) נדגמו מספר תלמידים בכיתה יב' ובדקו לכל תלמיד:  $X$  - מספר שעות שבועיות שהתלמיד צופה בטלוויזיה ביום  $Y$  - ציון הבגרות שלו במתמטיקה. להלן התוצאות שהתקבלו במחקר:



Correlations

|   |                 | x       | y       |
|---|-----------------|---------|---------|
| x | Pearson         | 1       | -.741** |
|   | Correlation     |         |         |
|   | Sig. (2-tailed) |         |         |
|   | N               |         |         |
| y | Pearson         | -.741** | 1       |
|   | Correlation     |         |         |
|   | Sig. (2-tailed) |         |         |
|   | N               |         |         |

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

- מהו המשתנה התלוי ומהו המשתנה הבלתי תלוי?
- מהו כיוון הקשר שהתקבל במדגם ומהו עוצמתו?
- האם ניתן להגיד שבאופן מובהק ככל שתלמיד צופה יותר בטלוויזיה הוא מצליח פחות בבגרות במתמטיקה?
- בהמשך לסעיף הקודם, האם ניתן להגיד שהסיבה להצלחה או אי הצלחה בבגרות במתמטיקה היא זמן הצפייה בטלוויזיה?

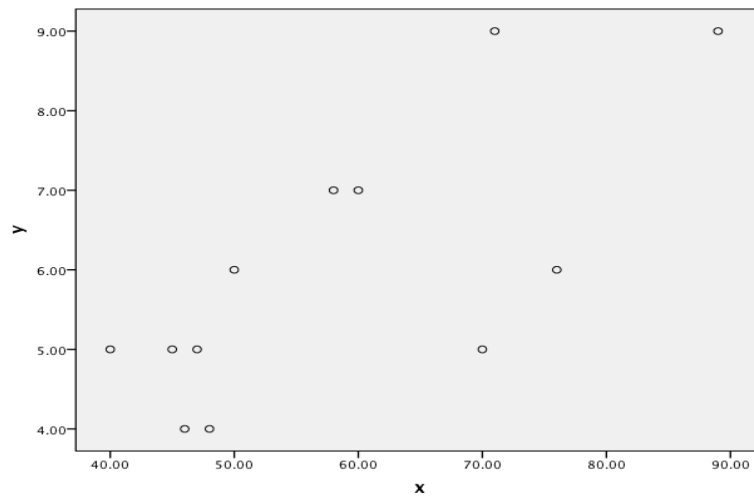
4) נדגמו ילדים בגיל 8 ונבדק עבור כל ילד גובהו בס"מ ומשקלו בק"ג. להלן הפלט שהתקבל עבור תוצאות המדגם:

### Correlations

|                 | משקל | גובה |
|-----------------|------|------|
| גובה Pearson    | .552 | 1    |
| Correlation     |      |      |
| Sig. (2-tailed) | .062 |      |
| N               | 12   | 12   |
| משקל Pearson    | 1    | .552 |
| Correlation     |      |      |
| Sig. (2-tailed) | .062 |      |
| N               | 12   | 12   |

- בדקו ברמת מובהקות של 5% האם קיים קשר לנארי חיובי בין המשקל והגובה.
- באילו רמות מובהקות ניתן לקבוע שקיים קשר לנארי חיובי בין במשקל והגובה?
- כיצד התשובה לסעיף הקודם הייתה משתנה אם היו מתווספות עוד 3 תצפיות למדגם?

5) בתהליך כימי מסוים חוקר בדק את הקשר בין הטמפרטורה בתהליך ( $X$ ) לבין אחוז החומר ( $Y$ ) בתהליך. דיאגרמת הפיזור שהתקבלה היא:



Correlations

|   |                 | x      | y      |
|---|-----------------|--------|--------|
| x | Pearson         | 1      | .732** |
|   | Correlation     |        |        |
|   | Sig. (2-tailed) |        |        |
|   | N               |        |        |
| y | Pearson         | .732** | 1      |
|   | Correlation     |        |        |
|   | Sig. (2-tailed) |        |        |
|   | N               |        |        |

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

- מה ניתן להגיד על סמך הפלט על הקשר שנימצא במדגם בין הטמפרטורה בתהליך לאחוז החומר?
- האם הקשר בין הטמפרטורה בתהליך לבין אחוז החומר הוא קווי חיובי מובהק? בדקו ברמת מובהקות של 5%.
- מה היה קורה למקדם המתאם במדגם ומובהקות התוצאה אם הייתה מתווספת תצפיות שבה הטמפרטורה היא 40 ואחוז החומר 9?

## תשובות סופיות

- (1) א. נשים בהריון. ב.  $H_0 : p = 0$   
 $H_1 : p \neq 0$
- ג. משתנה תלוי – רמת ההמוגלובין, משתנה בלתי תלוי- גיל.  
 ד. קיים קשר לינארי בין גיל האישה בהריון לרמת ההמוגלובין שלה בדם.
- (2) א. בין  $X$  ל-  $Y$ . ב.  $X$  ו-  $Y$ . כמו כן,  $W$  ו-  $Y$ . ג. ראה וידאו.
- (3) א. משתנה תלוי – ציון בבגרות במתמטיקה, משתנה בלתי תלוי- שעות צפייה.  
 ב. כיוון שלילי ועוצמה של 0.741. ג. כן. ד. לא.
- (4) א. נדחה את  $H_0$ . ב. לפחות 0.032. ג. לא ניתן לדעת.
- (5) א. קיים קשר לינארי חיובי וחלקי שעוצמתו : 0.732. ב. נדחה את  $H_0$ .  
 ג. מקדם המתאם קטן ומובהקות התוצאה גדלה.

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 16 - רגרסיה

תוכן העניינים

1. כללי ..... 155

## מדדי קשר – רגרסיה ליניארית:

### רקע:

במידה וקיים קשר חזק בין שני המשתנים הכמותיים נהוג לבצע ניבוי. לבנות קו ניבויים הנקרא גם קו רגרסיה המנבא משתנה אחד על סמך האחר. מדובר בקו שמנבא את  $Y$  על סמך  $X$ .

השיטה למציאת הקו הנ"ל נקראת שיטת הריבועים הפחותים והקו המתקבל נקרא קו הרגרסיה או קו הניבויים או קו הריבועים הפחותים.

$a$  - נותן את ערך  $Y$  כאשר  $X$  הנו אפס על גבי קו הניבויים. הוא נקרא החותך של הקו.

$b$  - הוא שיפוע הקו נותן בכמה בעצם  $Y$  משתנה כאשר  $X$  גדל ביחידה אחת על גבי קו הניבויים.

להלן המשוואות למציאת הפרמטרים של קו הרגרסיה:  $Y = bX + a$ ,  $b = r \frac{S_y}{S_x}$ .

לצורך בניית קו ניבויים לניבוי  $X$  על סמך  $Y$  נצטרך לעדכן את הנוסחאות בהתאם.

## שאלות:

- (1) נסמן ב-  $X$  את ההכנסה של משפחה באלפי ₪. נסמן ב-  $Y$  את ההוצאות של משפחה באלפי ₪. נלקחו 20 משפחות והתקבלו התוצאות הבאות:

$$\sum_{i=1}^{20} Y_i = 200, \quad \sum_{i=1}^{20} X_i = 240$$

$$\sum_{i=1}^{20} (X_i - \bar{X})^2 = 76, \quad \sum_{i=1}^{20} (Y_i - \bar{Y}) = 76$$

$$\sum_{i=1}^{20} (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) = 60.8$$

- א. חשבו את מדד הקשר הלינארי בין  $X$  ל-  $Y$ . מיהו המשתנה התלוי?  
 ב. מצאו את קו הרגרסיה לניבוי ההוצאה של משפחה על סמך הכנסה שלה. הסבירו את משמעות הפרמטרים של קו הרגרסיה.  
 ג. משפחת כהן הכניסה 15,000 ₪. מה ההוצאה הצפויה שלה?

- (2) נסמן ב-  $X$  את ההשכלה של אדם בשנות לימוד. נסמן ב-  $Y$  את הכנסתו באלפי ₪. במחקר התקבלו התוצאות הבאות:

$$S_x = 2, \quad S_y = 5, \quad \bar{X} = 14, \quad \bar{Y} = 8, \quad \text{COV}(X, Y) = 7.5$$

- א. חשבו את מדד הקשר של פירסון בין ההשכלה להכנסה.  
 ב. מה ההכנסה הצפויה לאדם שהשכלתו 12 שנים?  
 ג. מה ההשכלה הצפויה לאדם שהכנסתו 10,000 ₪?

- (3) חוקר רצה לחקור את הקשר הקווי שבין הציון המבחן בסטטיסטיקה לבין מספר שעות ההכנה של הסטודנטים למבחן. במדגם של 100 סטודנטים שנבחנו בקורס נרשמו התוצאות הבאות: הציון הממוצע של הסטודנטים היה 65 עם סטיית תקן של 27. מספר שעות ההכנה הממוצע היה 30 עם סטיית תקן של 18. מקדם המתאם בין הציון לשעות ההכנה היה 0.8.  
 א. על פי משוואת הרגרסיה, שעת הכנה נוספת משפרת את ציון המבחן ב-?  
 ב. על פי משוואת הרגרסיה, תלמיד שייגש למבחן ללא שעות הכנה כלל יקבל ציון?  
 ג. מהו קו הרגרסיה לניבוי הציון לפי שעות ההכנה?

- (4) נתונים 2 משתנים  $X$  ו-  $Y$ . כמו כן נתון:  $\bar{X} = 1.5, S_x = S_y = 4$ ,  
 וכן שקו הרגרסיה של  $Y$  על בסיס  $X$  הינו:  $Y = -0.2X + 0.5$ .  
 חשבו מהו מקדם המתאם בין  $X$  ל-  $Y$ .

**תשובות סופיות:**

- |                      |                       |             |
|----------------------|-----------------------|-------------|
| ג. 12.4 אלפי ₪.      | ב. $Y = 0.8X + 0.4$ . | א. 0.8. (1  |
| ג. 14.6 שנים.        | ב. 4.25 אלפי ₪.       | א. 0.75. (2 |
| ג. $Y = 1.2X + 29$ . | ב. 29.                | א. 1.2. (3  |
|                      |                       | א. -0.2. (4 |

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 17 - מדדי קשר-רגרסיה - שונות מוסברת ושונות לא מוסברת

תוכן העניינים

1. כללי..... 158

## מדדי קשר – רגרסיה – שונות מוסברת ושונות לא מוסברת:

### רקע:

המטרה ברגרסיה היא להסביר את השונות של המשתנה התלוי. למשל, להסביר את השונות של המשכורת באמצעות הוותק או להסביר את השוני בציונים באמצעות כמות החיסורים.

$r^2$  - החלק מהשונות של המשתנה התלוי מוסבר. השונות המוסברת נקראת גם שונות ניבויים. השונות הלא מוסברת נקראת גם שונות טעויות.

## שאלות:

- (1) נמצא קשר חיובי בעוצמה של 0.7 בין שטח דירה למחירה. כמו כן, נתון שסטיית התקן של מחירי הדירות הינה 200.
- איזה אחוז מהשונות של מחירי הדירות מוסבר על ידי שטח הדירה?
  - איזה אחוז מהשונות של מחירי הדירות לא מוסבר על ידי שטח הדירה?
  - מהי השונות המוסברת ומהי השונות הלא מוסברת של מחירי הדירות?
- (2) להלן רשימת טענות, לגבי כל טענה קבעו נכון/לא נכון ונמקו:
- אם שונות הטעויות שווה ל-0 (השונות הלא מוסברת) אז מקדם המתאם של פירסון יהיה 1.
  - אם מקדם המתאם של פירסון בין שני משתנים הוא 1 אזי שונות הטעויות (השונות הלא מוסברת) תהיה 0.
  - אם השונות המשותפת של  $X$  ושל  $Y$  היא 0 אז בהכרח גם מקדם המתאם של פירסון יהיה 0.

## שאלות רב-ברירה:

- (3) בקשר בין שני משתנים התקבל:  $r^2 = 0.64$ , לכן:
- ללא יוצא מן הכלל ככל שערכי משתנה אחד עולה השני יעלה.
  - 64% מהשונות של משתנה אחד מוסבר על ידי המשתנה השני.
  - הקשר בין שני המשתנים הוא בעוצמה של 0.64.
  - כל התשובות נכונות.
- (4) אם מגדילים את  $r^2$ , ניתן לומר כי:
- אחוז השונות המוסברת יקטן.
  - אחוז השונות המוסברת יגדל.
  - אחוז השונות המוסברת יישאר ללא שינוי.
  - סטיית התקן משתנה.
  - לא ניתן לדעת.

- (5) בקורס מבוא לכלכלה ניתנו במשך השנה שני מבחנים : מבחן בסוף סמסטר א'  $X$  ומבחן בסוף סמסטר ב'  $Y$ . כאשר בנו את קו הרגרסיה של הציון במבחן סוף סמסטר ב' לפי הציון במבחן סוף סמסטר א' התקבלה שונות טעויות של 80, ושונות ניבויים של 20.
- לפי נתונים אלו, מקדם המתאם בין הציון במבחן סוף סמסטר א' לבין הציון במבחן סוף סמסטר ב' הוא :
- א. 0.44
  - ב. - 0.44
  - ג. עוצמת ההקשר הלינארי היא 0.44, אך אין אפשרות לדעת את סימנה.
  - ד. אין אפשרות לחשב את מקדם המתאם.
  - ה. 0.35

### תשובות סופיות:

- (1) א. 49%      ב. 51%  
ג. שונות מוסברת : 19,600, שונות לא מוסברת : 20,400
- (2) א. לא נכון.      ב. נכון.      ג. נכון.
- (3) ב'.
- (4) ב'.
- (5) ג'.

# הסקה סטטיסטית ותכנון ניסויים

פרק 18 - מבחני חי בריבוע

תוכן העניינים

|     |                   |
|-----|-------------------|
| 161 | 1. מבחן טיב התאמה |
| 166 | 2. מבחן לאי תלות  |

## מבחני חי בריבוע

### מבחן טיב התאמה – רקע

מבחן זה בא לבדוק האם אוכלוסייה מסוימת מתפלגת לפי התפלגות נתונה. המשתנה הנחקר מחולק למספר קטגוריות ויש לבדוק האם תוצאות המדגם תואמות להתפלגות הנתונה.

#### מבנה המבחן:

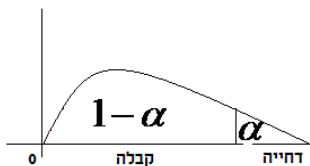
##### השערות:

המשתנה מתפלג לפי התפלגות מסוימת -  $H_0$ .

אחרת -  $H_1$ .

##### כלל הכרעה:

הערך הקריטי נקבע על סמך התפלגות חי בריבוע. התפלגות זו היא אסימטרית חיובית ותלויה בדרגות החופש.  $d.f = K - 1$ , כאשר  $K$  - מספר הקטגוריות.



הערך הקריטי הוא:  $\chi^2_{1-\alpha, K-1}$ , כלומר האחוזון ה- $1 - \alpha$  בהתפלגות חי בריבוע שדרגות החופש הן  $K - 1$ .

אם  $\chi^2 > \chi^2_{1-\alpha, K-1}$ , דוחים את השערת האפס.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad \text{סטטיסטי המבחן}$$

$O_i$  - השכיחות שנצפתה במדגם בקטגוריה  $i$ .

$p_i$  - הסתברות לקטגוריה  $i$  לפי השערת האפס.

$E_i = np_i$  - שכיחות צפויה במדגם לקטגוריה  $i$  בהנחת השערת האפס.

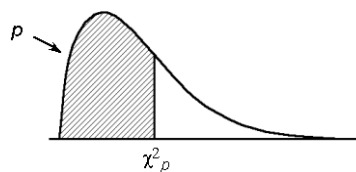
**הערה:**

תנאי כדי לבצע את המבחן הוא  $E_i \geq 5$  לכל  $i$ . במידה ותנאי זה לא מתקיים יש אפשרות לאחד קטגוריות סמוכות עד שהתנאי יתקיים.

**דוגמה (פתרון בהקלטה) :**

במדינה מסוימת שלוש מפלגות. בפרלמנט הנוכחי התפלגות מספר המושבים היא 30% למפלגה A, 60% למפלגה B ו-10% למפלגה C. לקראת הבחירות המתוכננות בשבוע הבא נעשה סקר שכלל 300 אזרחים. בסקר התקבל ש-40% יצביעו למפלגה A, 50% למפלגה B ו-10% למפלגה C. האם תוצאות הסקר תואמות להתפלגות המושבים בפרלמנט הנוכחי? בדקו ברמת מובהקות של 5%.

## טבלת התפלגות חי-בריבוע – ערכי החלוקה



| df | p        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|    | .005     | .01      | .025     | .05      | .10      | .25      | .50      | .75      | .90      | .95      | .975     | .99      | .995     |
| 1  | 0.004393 | 0.004393 | 0.004393 | 0.004393 | 0.004393 | 0.004393 | 0.004393 | 0.004393 | 0.004393 | 0.004393 | 0.004393 | 0.004393 | 0.004393 |
| 2  | 0.0100   | 0.0201   | 0.0506   | 0.103    | 0.211    | 0.575    | 1.39     | 2.77     | 4.61     | 5.99     | 7.38     | 9.21     | 10.6     |
| 3  | 0.0717   | 0.115    | 0.216    | 0.352    | 0.584    | 1.21     | 2.37     | 4.11     | 6.25     | 7.81     | 9.35     | 11.3     | 12.8     |
| 4  | 0.207    | 0.297    | 0.484    | 0.711    | 1.06     | 1.92     | 3.36     | 5.39     | 7.78     | 9.49     | 11.1     | 13.3     | 14.9     |
| 5  | 0.412    | 0.554    | 0.831    | 1.15     | 1.61     | 2.67     | 4.35     | 6.63     | 9.24     | 11.1     | 12.8     | 15.1     | 16.7     |
| 6  | 0.676    | 0.872    | 1.24     | 1.64     | 2.20     | 3.45     | 5.35     | 7.84     | 10.6     | 12.6     | 14.4     | 16.8     | 18.5     |
| 7  | 0.989    | 1.24     | 1.69     | 2.17     | 2.83     | 4.25     | 6.35     | 9.04     | 12.0     | 14.1     | 16.0     | 18.5     | 20.3     |
| 8  | 1.34     | 1.65     | 2.18     | 2.73     | 3.49     | 5.07     | 7.34     | 10.2     | 13.4     | 15.5     | 17.5     | 20.1     | 22.0     |
| 9  | 1.73     | 2.09     | 2.70     | 3.33     | 4.17     | 5.90     | 8.34     | 11.4     | 14.7     | 16.9     | 19.0     | 21.7     | 23.6     |
| 10 | 2.16     | 2.56     | 3.25     | 3.94     | 4.87     | 6.74     | 9.34     | 12.5     | 16.0     | 18.3     | 20.5     | 23.2     | 25.2     |
| 11 | 2.60     | 3.05     | 3.82     | 4.57     | 5.58     | 7.58     | 10.3     | 13.7     | 17.3     | 19.7     | 21.9     | 24.7     | 26.8     |
| 12 | 3.07     | 3.57     | 4.40     | 5.23     | 6.30     | 8.44     | 11.3     | 14.8     | 18.5     | 21.0     | 23.3     | 26.2     | 28.3     |
| 13 | 3.57     | 4.11     | 5.01     | 5.89     | 7.04     | 9.30     | 12.3     | 16.0     | 19.8     | 22.4     | 24.7     | 27.7     | 29.8     |
| 14 | 4.07     | 4.66     | 5.63     | 6.57     | 7.79     | 10.2     | 13.3     | 17.1     | 21.1     | 23.7     | 26.1     | 29.1     | 31.3     |
| 15 | 4.60     | 5.23     | 6.26     | 7.26     | 8.55     | 11.0     | 14.3     | 18.2     | 22.3     | 25.0     | 27.5     | 30.6     | 32.8     |
| 16 | 5.14     | 5.81     | 6.91     | 7.96     | 9.31     | 11.9     | 15.3     | 19.4     | 23.5     | 26.3     | 28.8     | 32.0     | 34.3     |
| 17 | 5.70     | 6.41     | 7.56     | 8.67     | 10.1     | 12.8     | 16.3     | 20.5     | 24.8     | 27.6     | 30.2     | 33.4     | 35.7     |
| 18 | 6.26     | 7.01     | 8.23     | 9.39     | 10.9     | 13.7     | 17.3     | 21.6     | 26.0     | 28.9     | 31.5     | 34.8     | 37.2     |
| 19 | 6.84     | 7.63     | 8.91     | 10.1     | 11.7     | 14.6     | 18.3     | 22.7     | 27.2     | 30.1     | 32.9     | 36.2     | 38.6     |
| 20 | 7.43     | 8.26     | 9.59     | 10.9     | 12.4     | 15.5     | 19.3     | 23.8     | 28.4     | 31.4     | 34.2     | 37.6     | 40.0     |
| 21 | 8.03     | 8.90     | 10.3     | 11.6     | 13.2     | 16.3     | 20.3     | 24.9     | 29.6     | 32.7     | 35.5     | 38.9     | 41.4     |
| 22 | 8.64     | 9.54     | 11.0     | 12.3     | 14.0     | 17.2     | 21.3     | 26.0     | 30.8     | 33.9     | 36.8     | 40.3     | 42.8     |
| 23 | 9.26     | 10.2     | 11.7     | 13.1     | 14.8     | 18.1     | 22.3     | 27.1     | 32.0     | 35.2     | 38.1     | 41.6     | 44.2     |
| 24 | 9.89     | 10.9     | 12.4     | 13.8     | 15.7     | 19.0     | 23.3     | 28.2     | 33.2     | 36.4     | 39.4     | 43.0     | 45.6     |
| 25 | 10.5     | 11.5     | 13.1     | 14.6     | 16.5     | 19.9     | 24.3     | 29.3     | 34.4     | 37.7     | 40.6     | 44.3     | 46.9     |
| 26 | 11.2     | 12.2     | 13.8     | 15.4     | 17.3     | 20.8     | 25.3     | 30.4     | 35.6     | 38.9     | 41.9     | 45.6     | 48.3     |
| 27 | 11.8     | 12.9     | 14.6     | 16.2     | 18.1     | 21.7     | 26.3     | 31.5     | 36.7     | 40.1     | 43.2     | 47.0     | 49.6     |
| 28 | 12.5     | 13.6     | 15.3     | 16.9     | 18.9     | 22.7     | 27.3     | 32.6     | 37.9     | 41.3     | 44.5     | 48.3     | 51.0     |
| 29 | 13.1     | 14.3     | 16.0     | 17.7     | 19.8     | 23.6     | 28.3     | 33.7     | 39.1     | 42.6     | 45.7     | 49.6     | 52.3     |
| 30 | 13.8     | 15.0     | 16.8     | 18.5     | 20.6     | 24.5     | 29.3     | 34.8     | 40.3     | 43.8     | 47.0     | 50.9     | 53.7     |

## שאלות

- (1) במטרה לבדוק האם קובייה הוגנת, מטילים אותה 120 פעמים. התקבל 17 פעמים 1, 23 פעמים 2, 20 פעמים 3, 25 פעמים 4, 18 פעמים 5 ו-17 פעמים 6. מה מסקנתכם ברמת מובהקות של 5%?
- (2) מפעל מייצר סוכריות בצבעים כחול, אדום, ירוק וכתום. מעוניינים לבדוק שפרופורציית הסוכריות הכחולות גדולה פי 2 מכל צבע אחר. לצורך כך נדגמו באקראי 200 סוכריות והתקבל: 70 כחולות, 50 אדומות, 40 ירוקות והיתר כתומות. מה מסקנתכם ברמת מובהקות של 5%?
- (3) 200 איש נתבקשו לבחור ספרה באקראי והנה התוצאות שהתקבלו:  
 18 איש בחרו בספרה 0, 24 איש בחרו בספרה 1, 17 איש בחרו בספרה 2, 19 איש בחרו בספרה 3, 20 איש בחרו בספרה 4, 18 איש בחרו בספרה 5, 22 איש בחרו בספרה 6 והיתר בחרו בספרות 7-9.  
 א. על סמך התוצאות הללו האם בחירת הספרות אקראית?  
 בדקו ברמת מובהקות של 2.5%.  
 ב. תנו הערכה למובהקות התוצאה.  
 ג. אם נגדיל את גודל המדגם פי 2 ונשמור על אותם יחסים של כמות האנשים במדגם שבחרו בספרות, כיצד הדבר ישפיע על ערכו של הסטטיסטי  $\chi^2$ ? מה תהיה המסקנה במקרה זה?
- (4) מעוניינים לבדוק האם קובייה היא הוגנת. הטילו את הקובייה פעמיים והתבוננו בסכום הוצאות. חזרו על התהליך 72 פעמים. להלן התוצאות שהתקבלו במדגם:  
 מה המסקנה ברמת מובהקות של 5%?
- | מספר הטלות | סכום התוצאות |
|------------|--------------|
| 20         | 2-5          |
| 17         | 6-8          |
| 20         | 9-10         |
| 15         | 11-12        |
- (5) בפנס יש 4 סוללות. בבדיקה שנערכה ב-400 פנסים נמצאו סוללות פגומות לפי השכיחויות הבאות:
- | מספר הסוללות הפגומות | 0   | 1   | 2  | 3 ומעלה |
|----------------------|-----|-----|----|---------|
| שכיחות               | 276 | 104 | 12 | 8       |
- מעוניינים לבדוק על סמך תוצאות מדגם אלה האם הסיכוי לסוללה פגומה הוא 20%. מהי רמת המובהקות המינימלית עבורה נכריע שהסיכוי לסוללה פגומה אינו 20%?

(6) להלן השערות מחקר:  $H_0 : X \sim N(40, 2^2)$ ,  $H_1 : \text{else}$

תוצאות המדגם הן :

|        |       |       |         |              |
|--------|-------|-------|---------|--------------|
| מעל 44 | 40-44 | 36-40 | מתחת 36 | $X$          |
| 2A     | 45A   | 50A   | 3A      | מספר הדגימות |

מהו ערכו המקסימלי של A עבורו נקבל את  $H_0$  ברמת מובהקות של 5%?

### תשובות סופיות

- (1) לא נדחה  $H_0$ .
- (2) לא נדחה  $H_0$ .
- (3) א. לא נדחה  $H_0$ . ב. בין 0.95 ל-0.975 ג. יגדל פי 2 ; המסקנה לא תשתנה.
- (4) נכריע שהקובייה אינה הוגנת.
- (5) 0.005.
- (6) 14.

## מבחן חי בריבוע לאי תלות בין משתנים – רקע

מבחן לאי תלות מטרתו לבדוק האם קיים קשר בין שני משתנים. שני המשתנים שנבדקים צריכים להיות מחולקים למספר קטגוריות.

**מבנה המבחן:**

**השערות:**

אין תלות בין המשתנים  $H_0$ .

יש תלות בין המשתנים  $H_1$ .

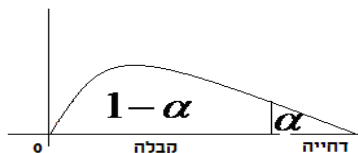
**כלל הכרעה:**

הערך הקריטי נקבע על סמך התפלגות חי בריבוע. התפלגות זו היא אסימטרית חיובית ותלויה בדרגות החופש  $d.f = (r-1)(c-1)$ . כאשר:  $r$  - מספר הקטגוריות של המשתנה שבשורות.  $c$  - מספר הקטגוריות של המשתנה שבעמודות.

הערך הקריטי הוא:  $\chi^2_{1-\alpha, (r-1)(c-1)}$ , כלומר האחוזון ה- $1-\alpha$  בהתפלגות חי בריבוע שדרגות החופש הן  $(r-1)(c-1)$ . אם  $\chi^2 > \chi^2_{1-\alpha, (r-1)(c-1)}$  אז דוחים את השערת האפס.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

כאשר:



$O_i$  - השכיחות נצפית במדגם בתא  $i$ .

$E_i$  - שכיחות צפויה במדגם בתא  $i$  בהנחת השערת האפס.

$$E_i = \frac{f(x) \cdot f(y)}{n}$$

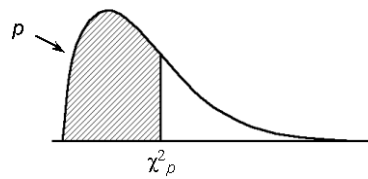
**הערה:**

תנאי כדי לבצע את המבחן הוא  $E_i \geq 5$  לכל  $i$ . במידה ותנאי זה לא מתקיים יש אפשרות לאחד קטגוריות סמוכות עד שהתנאי יתקיים.  
 תנאי חלופי: אין  $E$  קטן מ-1 וגם אין ביותר מ 20% מהתאים  $E$  קטן מ-5.

**דוגמה (הפתרון בהקלטה):**

האם יש תלות בין המגדר לבין דעה מסוימת?  
 יש לבדוק ברמת מובהקות של 5% על סמך תוצאות הסקר:

| המגדר / דעה | בעד | נגד | נמנע | סה"כ |
|-------------|-----|-----|------|------|
| גברים       | 50  | 40  | 10   |      |
| נשים        | 20  | 60  | 20   |      |
| סה"כ        |     |     |      |      |

טבלת התפלגות חי-בריבוע – ערכי החלוקה  $\chi^2_p$ 

| df | $p$      |         |         |         |        |       |       |      |      |      |      |      |      |
|----|----------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
|    | .005     | .01     | .025    | .05     | .10    | .25   | .50   | .75  | .90  | .95  | .975 | .99  | .995 |
| 1  | 0.004393 | 0.00157 | 0.00982 | 0.02393 | 0.0158 | 0.102 | 0.455 | 1.32 | 2.71 | 3.84 | 5.02 | 6.63 | 7.88 |
| 2  | 0.0100   | 0.0201  | 0.0506  | 0.103   | 0.211  | 0.575 | 1.39  | 2.77 | 4.61 | 5.99 | 7.38 | 9.21 | 10.6 |
| 3  | 0.0717   | 0.115   | 0.216   | 0.352   | 0.584  | 1.21  | 2.37  | 4.11 | 6.25 | 7.81 | 9.35 | 11.3 | 12.8 |
| 4  | 0.207    | 0.297   | 0.484   | 0.711   | 1.06   | 1.92  | 3.36  | 5.39 | 7.78 | 9.49 | 11.1 | 13.3 | 14.9 |
| 5  | 0.412    | 0.554   | 0.831   | 1.15    | 1.61   | 2.67  | 4.35  | 6.63 | 9.24 | 11.1 | 12.8 | 15.1 | 16.7 |
| 6  | 0.676    | 0.872   | 1.24    | 1.64    | 2.20   | 3.45  | 5.35  | 7.84 | 10.6 | 12.6 | 14.4 | 16.8 | 18.5 |
| 7  | 0.989    | 1.24    | 1.69    | 2.17    | 2.83   | 4.25  | 6.35  | 9.04 | 12.0 | 14.1 | 16.0 | 18.5 | 20.3 |
| 8  | 1.34     | 1.65    | 2.18    | 2.73    | 3.49   | 5.07  | 7.34  | 10.2 | 13.4 | 15.5 | 17.5 | 20.1 | 22.0 |
| 9  | 1.73     | 2.09    | 2.70    | 3.33    | 4.17   | 5.90  | 8.34  | 11.4 | 14.7 | 16.9 | 19.0 | 21.7 | 23.6 |
| 10 | 2.16     | 2.56    | 3.25    | 3.94    | 4.87   | 6.74  | 9.34  | 12.5 | 16.0 | 18.3 | 20.5 | 23.2 | 25.2 |
| 11 | 2.60     | 3.05    | 3.82    | 4.57    | 5.58   | 7.58  | 10.3  | 13.7 | 17.3 | 19.7 | 21.9 | 24.7 | 26.8 |
| 12 | 3.07     | 3.57    | 4.40    | 5.23    | 6.30   | 8.44  | 11.3  | 14.8 | 18.5 | 21.0 | 23.3 | 26.2 | 28.3 |
| 13 | 3.57     | 4.11    | 5.01    | 5.89    | 7.04   | 9.30  | 12.3  | 16.0 | 19.8 | 22.4 | 24.7 | 27.7 | 29.8 |
| 14 | 4.07     | 4.66    | 5.63    | 6.57    | 7.79   | 10.2  | 13.3  | 17.1 | 21.1 | 23.7 | 26.1 | 29.1 | 31.3 |
| 15 | 4.60     | 5.23    | 6.26    | 7.26    | 8.55   | 11.0  | 14.3  | 18.2 | 22.3 | 25.0 | 27.5 | 30.6 | 32.8 |
| 16 | 5.14     | 5.81    | 6.91    | 7.96    | 9.31   | 11.9  | 15.3  | 19.4 | 23.5 | 26.3 | 28.8 | 32.0 | 34.3 |
| 17 | 5.70     | 6.41    | 7.56    | 8.67    | 10.1   | 12.8  | 16.3  | 20.5 | 24.8 | 27.6 | 30.2 | 33.4 | 35.7 |
| 18 | 6.26     | 7.01    | 8.23    | 9.39    | 10.9   | 13.7  | 17.3  | 21.6 | 26.0 | 28.9 | 31.5 | 34.8 | 37.2 |
| 19 | 6.84     | 7.63    | 8.91    | 10.1    | 11.7   | 14.6  | 18.3  | 22.7 | 27.2 | 30.1 | 32.9 | 36.2 | 38.6 |
| 20 | 7.43     | 8.26    | 9.59    | 10.9    | 12.4   | 15.5  | 19.3  | 23.8 | 28.4 | 31.4 | 34.2 | 37.6 | 40.0 |
| 21 | 8.03     | 8.90    | 10.3    | 11.6    | 13.2   | 16.3  | 20.3  | 24.9 | 29.6 | 32.7 | 35.5 | 38.9 | 41.4 |
| 22 | 8.64     | 9.54    | 11.0    | 12.3    | 14.0   | 17.2  | 21.3  | 26.0 | 30.8 | 33.9 | 36.8 | 40.3 | 42.8 |
| 23 | 9.26     | 10.2    | 11.7    | 13.1    | 14.8   | 18.1  | 22.3  | 27.1 | 32.0 | 35.2 | 38.1 | 41.6 | 44.2 |
| 24 | 9.89     | 10.9    | 12.4    | 13.8    | 15.7   | 19.0  | 23.3  | 28.2 | 33.2 | 36.4 | 39.4 | 43.0 | 45.6 |
| 25 | 10.5     | 11.5    | 13.1    | 14.6    | 16.5   | 19.9  | 24.3  | 29.3 | 34.4 | 37.7 | 40.6 | 44.3 | 46.9 |
| 26 | 11.2     | 12.2    | 13.8    | 15.4    | 17.3   | 20.8  | 25.3  | 30.4 | 35.6 | 38.9 | 41.9 | 45.6 | 48.3 |
| 27 | 11.8     | 12.9    | 14.6    | 16.2    | 18.1   | 21.7  | 26.3  | 31.5 | 36.7 | 40.1 | 43.2 | 47.0 | 49.6 |
| 28 | 12.5     | 13.6    | 15.3    | 16.9    | 18.9   | 22.7  | 27.3  | 32.6 | 37.9 | 41.3 | 44.5 | 48.3 | 51.0 |
| 29 | 13.1     | 14.3    | 16.0    | 17.7    | 19.8   | 23.6  | 28.3  | 33.7 | 39.1 | 42.6 | 45.7 | 49.6 | 52.3 |
| 30 | 13.8     | 15.0    | 16.8    | 18.5    | 20.6   | 24.5  | 29.3  | 34.8 | 40.3 | 43.8 | 47.0 | 50.9 | 53.7 |

## שאלות

- (1) נבדקה התלות בין גודל הארגון לבין שביעות הרצון של העובדים. להלן התוצאות:

| שביעות רצון<br>גודל המפעל | נמוכה | בינונית | גבוהה | סה"כ |
|---------------------------|-------|---------|-------|------|
| גדול                      | 182   | 203     | 215   | 600  |
| קטן                       | 154   | 110     | 136   | 400  |
| סה"כ                      | 336   | 313     | 351   | 1000 |

מה המסקנה ברמת מובהקות של 2.5%?

- (2) מפעל עובד בשלוש משמרות. להלן מספר המוצרים הפגומים והתקינים בכל אחת מן המשמרות לפי מדגם שנעשה:

| לילה | ערב | יום |        |
|------|-----|-----|--------|
| 70   | 60  | 50  | פגומים |
| 800  | 700 | 600 | תקינים |

האם יש הבדל בין שיעורי הפגומים במשמרות השונות? הסיקו עבור רמת מובהקות  $\alpha = 0.05$ .

- (3) נדגמו 50 מוצרים ממפעל מסוים מתוך 30 מוצרים שיוצרו ביום 17 נבחרו לייצוא מתוך המוצרים שיוצרו בלילה 10 נבחרו לייצוא. האם יש קשר בין היות מוצר לייצוא למועד שבו הוא יוצר? בדקו ברמת בטחון של 95%.

## תשובות סופיות

- (1) נסיק שיש קשר בין גודל הארגון לשביעות הרצון של העובדים.  
 (2) נסיק שאין הבדל מובהק בין שיעור הפגומים במשמרות השונות.  
 (3) נסיק שאין קשר בין היות מוצר לייצוא למועד שבו הוא יוצר.