

# סטטיסטיקה



## תוכן העניינים

|      |                                                         |     |
|------|---------------------------------------------------------|-----|
| 1.   | סטטיסטיקה תיאורית- סיווג משתנים וסולמות מדידה           | 1   |
| 5.   | סטטיסטיקה תיאורית- הצגה של נתונים                       | 5   |
| 16.  | סטטיסטיקה תיאורית-גבולות מדומים ואמיתיים                | 16  |
| 18.  | סטטיסטיקה תיאורית- סכימה                                | 18  |
| 22.  | סטטיסטיקה תיאורית - מדדי מיקום מרכזי                    | 22  |
| 6.   | סטטיסטיקה תיאורית- מדדי פיזור (ללא ספר)                 | 6   |
| 31.  | סטטיסטיקה תיאורית - מדדי פיזור - טווח בין רבעוני        | 31  |
| 33.  | סטטיסטיקה תיאורית- מדדי מיקום יחסי-ציון תקן             | 33  |
| 35.  | סטטיסטיקה תיאורית-מדדי מיקום יחסי-אחוזונים במחלקות      | 35  |
| 38.  | סטטיסטיקה תיאורית-אחוזונים בטבלה בדירה                  | 38  |
| 40.  | סטטיסטיקה תיאורית - טרנספורמציה לינארית                 | 40  |
| 43.  | המשתנה המקרי הרציף- התפלגויות כלליות (שימוש באינטגרלים) | 43  |
| 52.  | התפלגויות רציפות מיוחדות- התפלגות מעריכית               | 52  |
| 55.  | התפלגויות רציפות מיוחדות-התפלגות אחידה                  | 55  |
| 58.  | התפלגויות רציפות מיוחדות - התפלגות נורמלית              | 58  |
| 66.  | הסקה סטטיסטית - הקדמה                                   | 66  |
| 69.  | התפלגות הדגימה ומשפט הגבול המרכזי                       | 69  |
| 89.  | מושגי יסוד באמידה                                       | 89  |
| 94.  | רווח סמך לתוחלת (ממוצע)                                 | 94  |
| 105. | רווח סמך לפרופורציה                                     | 105 |
| 111. | רווח סמך להפרש פרופורציות                               | 111 |
| 113. | רווח סמך להפרש תוחלות (ממוצעים) במדגמים בלתי תלויים     | 113 |
| 119. | רווח סמך לתוחלת (ממוצע) ההפרשים במדגמים מזווגים         | 119 |

## תוכן העניינים

|     |                                                 |     |
|-----|-------------------------------------------------|-----|
| 24. | רווח סמך לשונות וסטיית תקן                      | 121 |
| 25. | שאלות מסכמות על רווחי סמך                       | 126 |
| 26. | מבוא לבדיקת השערות על פרמטרים                   | 129 |
| 27. | בדיקת השערות על תוחלת (ממוצע)                   | 135 |
| 28. | בדיקת השערות על פרופורציה                       | 167 |
| 29. | בדיקת השערות על הפרש פרופורציות                 | 180 |
| 30. | בדיקת השערות על הפרש תוחלות במדגמים בלתי תלויים | 184 |
| 31. | בדיקת השערות לתוחלת ההפרש במדגמים מזווגים       | 202 |
| 32. | הקשר בין רווח סמך לבדיקת השערות להפרש תוחלות    | 212 |
| 33. | בדיקת השערות על שונות                           | 215 |
| 34. | שאלות מסכמות בבדיקת השערות                      | 226 |
| 35. | מבחני חי בריבוע                                 | 230 |
| 36. | מקדם המתאם ( מדד קשר ) הלינארי ומובהקותו        | 257 |
| 37. | מדדי קשר - בחירת מדד מתאים                      | 284 |

# סטטיסטיקה

פרק 1 - סטטיסטיקה תיאורית- סיווג משתנים וסולמות מדידה

תוכן העניינים

1. כללי ..... 1



## סטטיסטיקה תיאורית – סיווג משתנים וסולמות מדידה:

### רקע:

סטטיסטיקה תיאורית הוא ענף בו לומדים כיצד לאסוף נתונים, להציג אותם ולנתח אותם. בסטטיסטיקה תיאורית אנו פונים לקבוצה מסוימת, ובאותה קבוצה אנו אוספים נתונים על הישויות באותה קבוצה. משתנה – תכונה שיכולה לקבל מספר ערכים: דעה פוליטית, מקום מגורים, גובה של אדם וכדומה. חלוקה אחת של המשתנים הנמדדים היא לפי סולמות מדידה:

### מיון משתנים לפי סולמות המדידה:

1. סולם שמי (נומינאלי) – משתנה שלערכיו יש משמעות רק מבחינת הזהות ואין עניין של יותר או פחות. לדוגמה: מצב משפחתי (רווק/נשוי/אלמן/גרש), אזור מגורים. משתנה דיכוטומי (הינו מסולם שמי) אותם משתנים שיש להם רק שני ערכים אפשריות זכר/נקבה. מעשן/לא מעשן.
2. סולם סדר (אורדינאלי) – כאשר לערכים של המשתנה בנוסף לשם ישנה גם משמעות לסדר אבל אין משמעות לגודל ההפרש. למשל, דרגה בצבא.
3. סולם רווחים (אינטרוואלי) – משתנה שלערכים שלו בנוסף לשם ולסדר בניהם יש משמעות לרווחים בין הערכים אבל אין משמעות ליחס בין הערכים. למשל, קומה בבניין. סולם לא כל כך פופולרי.

### סולם מנה/יחס:

משתנה שלערכיו בנוסף לשם, לסדר ולרווח יש משמעות גם ליחס בין הערכים. למשל, מספר מכוניות למשפחה, משקל אדם בק"ג. הדרך הקלה ביותר כדי לזהות עם הסולם הוא סולם מנה היא על ידי מבחן האפס. בסולם מנה האפס הוא מוחלט, אבסולוטי, ומייצג אין.

### סוגי משתנים:

נבצע סיווג של המשתנים:

### משתנה איכותי

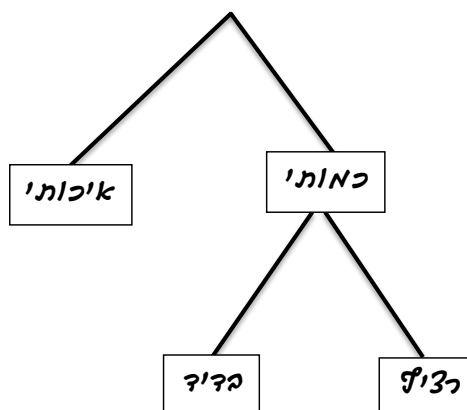
משתנה שלערכיו אין משמעות של יותר או פחות, אין עניין כמותי לערכים המתקבלים. כמו: מקום מגורים של אדם (רעננה, תל אביב, אשדוד...), מין האדם (זכר, נקבה), מצב משפחתי (רווק, נשוי, גרוש, אלמן).

### משתנה כמותי

משתנה שערכיו הם מספרים להם יש משמעות כמותית כמו: גובה אדם בס"מ, ציון בבחינה וכדומה. את המשתנה הכמותי נסווג לשני סוגים:

משתנה בדיד: משתנה שערכיו מתקבלים מתוך סידרה של ערכים אפשריים. כמו: מספר ילדים למשפחה (1,2,3,...), ציון בבחינה (מ-0 ועד 100 בקפיצות של 1).

משתנה רציף: משתנה שערכיו מתקבלים מתוך אינסוף ערכים בתחום מסוים, הערכים מתקבלים ברצף – ללא קפיצות של ערכים. דוגמאות: גובה בס"מ – אם הגובה הנמוך ביותר הוא 150 ס"מ ועד 190 ס"מ – הגבהים בקבוצה הם ברצף. גם בין 160 ל-161 ס"מ יש רצף אינסופי של ערכים אפשריים (כמו 160.233 ס"מ, למשל).



## שאלות:

(1) באיזה סולם מדידה המשתנים הבאים נחקרים (שמי/סדר/רווחים/מנה):

- א. גובה (בס"מ).
- ב. מספר ילדים למשפחה.
- ג. מידת החרדה לפני מבחן.
- ד. שביעות רצון משירות לקוחות בסקלה מ-1 עד 7 (1 - כלל לא מרוצה עד 7 - מרוצה מאוד)
- ה. השכלה.
- ו. מספר אוטובוס.
- ז. מקום מגורים.
- ח. מין (1=גבר ; 2=אישה).
- ט. מידת נעליים.

(2) להלן התפלגות מספר האיחורים לעבודה בחודש של העובדים בחברת "סטאר":

| מספר האיחורים | מספר העובדים |
|---------------|--------------|
| 0             | 17           |
| 1             | 23           |
| 2             | 85           |
| 3             | 50           |
| 4             | 25           |

בחברה 200 עובדים.

- א. מהו המשתנה הנחקר כאן?
- ב. האם מדובר במשתנה איכותי או כמותי?
- אם הוא כמותי האם הוא בדיד או רציף?
- באיזה סולם מדידה המשתנה?

(3) להלן רשימה של משתנים כמותיים. ציינו האם הוא משתנה רציף/בדיד:

- א. שכר ב-ש.
- ב. ציון בחינת בגרות.
- ג. תוצאה של הטלת קובייה.
- ד. מהירות ריצה בתחרות.
- ה. שיעור התמיכה בממשלה.

### תשובות סופיות:

- |    |                   |                          |          |
|----|-------------------|--------------------------|----------|
| (1 | א. מנה.           | ב. מנה.                  | ג. סדר.  |
|    | ד. סדר.           | ה. מנה/ סדר.             | ו. שמי.  |
|    | ז. שמי.           | ח. שמי.                  | ט. סדר.  |
| (2 | א. מספר האיחורים. | ב. כמותי בדיד בסולם מנה. |          |
| (3 | א. רציף.          | ב. בדיד.                 | ג. בדיד. |
|    | ד. רציף.          | ה. רציף.                 |          |

# סטטיסטיקה

פרק 2 - סטטיסטיקה תיאורית- הצגה של נתונים

תוכן העניינים

1. כללי ..... 5

## סטטיסטיקה תיאורית – הצגה של נתונים:

### רקע:

דרכים להצגת נתונים שנאספו:

### רשימה של תצפיות:

התצפית היא הערך שנצפה עבור ישות מסוימת בקבוצה. רושמים את התצפיות שהתקבלו כרשומה, יעיל שיש מספר מועט של תצפיות. ההצגה הזו רלבנטית לכל סוגי המשתנים. למשל, להלן מספר החדרים בבניין בן 5 דירות: 3, 4, 3, 5, 4.

### טבלת שכיחויות בדידה:

| שם המשתנה-<br>$X$ | שכיחות –<br>$f(x)$     | שכיחות יחסית<br>באחוזים   |
|-------------------|------------------------|---------------------------|
| $X_1$             | $f_1$                  | $\frac{f_1}{N} \cdot 100$ |
| $X_2$             | $f_2$                  | $\frac{f_2}{N} \cdot 100$ |
| $X_3$             | $f_3$                  | $\frac{f_3}{N} \cdot 100$ |
| $\vdots$          | $\vdots$               | $\vdots$                  |
| $X_k$             | $f_k$                  | $\frac{f_k}{N} \cdot 100$ |
| <b>סה"כ</b>       | $N = \sum_{i=1}^k f_i$ | 100%                      |

רושמים את התצפיות בטבלה שבה עמודה אחת מבטאת את ערכי המשתנה והשנייה את השכיחות. יעיל עבור משתנה איכותי וכמותי בדיד וכשיש מספר רב של תצפיות. לא יעיל למשתנה כמותי רציף.

**דוגמה:**

להלן התפלגות הציונים בכיתה מסוימת:

| הציון - $X$ | מספר התלמידים –<br>השכיחות - $f$ | $F_i$ | $\frac{f_i}{n}$ |
|-------------|----------------------------------|-------|-----------------|
| 5           | 2                                | 2     | $0.08=2/25$     |
| 6           | 4                                | 6     | $0.16=4/25$     |
| 7           | 8                                | 14    | $0.32=8/25$     |
| 8           | 5                                | 19    | $0.2=5/25$      |
| 9           | 4                                | 23    | $0.16=4/25$     |
| 10          | 2                                | 25    | $0.08=2/25$     |

שכיחות מצטברת – צבירה של השכיחויות.

השכיחויות  $F_i$  – השכיחות המצטברת נותנת כמה תצפיות קטנות או שוות לערך.

שכיחות יחסית (פרופורציה) – השכיחות מחולקת לכמות התצפיות הכללי:

 $\frac{f_i}{n}$  – איזה חלק מהתצפיות בקבוצה שוות לערך.**טבלת שכיחויות במחלקות:**

משתמשים שהמשתנה כמותי רציף או כאשר יש מספר ערכים רב במשתנה הבדיד  
וטבלת שכיחויות תהיה ארוכה מידי.

**דוגמה:**

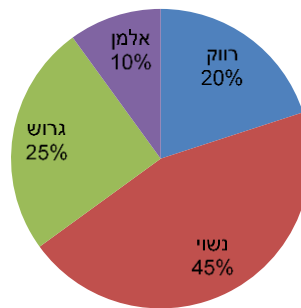
נתנו לקבוצת ילדים לבצע משימה, בדקו את התפלגות זמן הביצוע, בדקות.  
להלן ההתפלגות שהתקבלה:

| מספר הילדים | זמן בדקות |
|-------------|-----------|
| 20          | 0.5-3.5   |
| 18          | 3.5-9.5   |
| 14          | 9.5-19.5  |
| 8           | 19.5-29.5 |

### דיאגרמת עוגה:

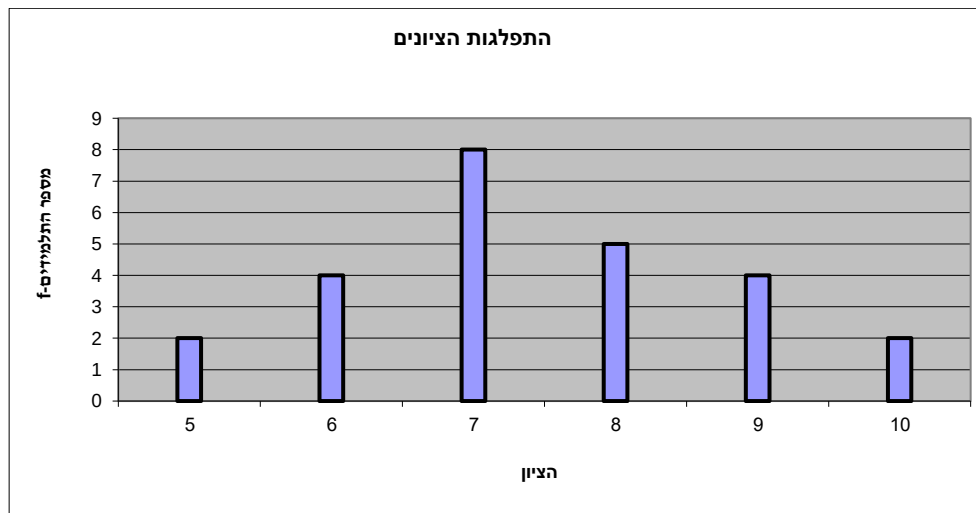
זהו התיאור הגרפי של משתנה איכותי. בדיאגרמת עוגה כל ערך במשתנה מקבל "נתח", שהוא פרופורציונלי לשכיחות היחסית של ערך המשתנה בנתונים.

### התפלגות המצב המשפחתי



### דיאגרמת מקלות:

הציר האופקי הוא הציר של המשתנה והציר האנכי של השכיחות, כך שהגובה של המקל מעיד על השכיחות. רלבנטי למשתנה כמותי בדיד. לא נהוג להשתמש בתיאור למשתנה איכותי וכמו כן לא למשתנה כמותי רציף, וכן בסולמות מדידה עבור משתנה מסולם סדר.



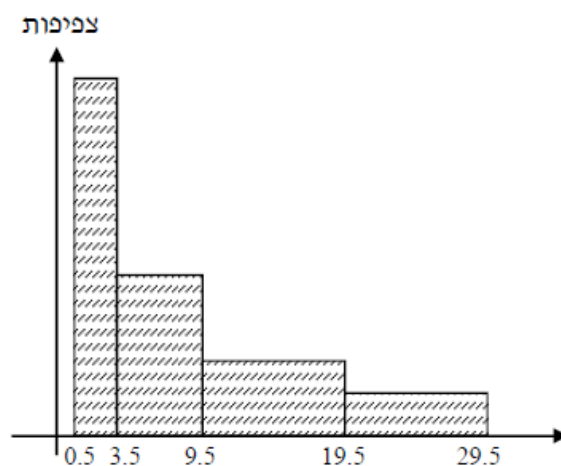


### היסטוגרמה:

היסטוגרמה היא הדרך הגרפית כדי לתאר טבלת שכיחויות במחלקות, והיא רלוונטית למשתנה כמותי רציף.

בהיסטוגרמה הציר האופקי הוא הציר של המשתנה והציר האנכי הוא הציר של הצפיפות. הצפיפות מחושבת בכל מחלקה על ידי חלוקת השכיחות ברוחב של כל המחלקה, והיא נותנת את מספר התצפיות הממוצע בכל מחלקה ליחידה. אם המחלקות הן שוות ברוחב, ניתן לשרטט את ההיסטוגרמה לפי השכיחות ואין צורך בצפיפות.

| צפיפות | מצטברת | שכיחות | אמצע | רוחב | $X$         |
|--------|--------|--------|------|------|-------------|
| 6.6667 | 20     | 20     | 2    | 3    | 0.5 - 3.5   |
| 3      | 38     | 18     | 6.5  | 6    | 3.5 - 9.5   |
| 1.4    | 52     | 14     | 14.5 | 10   | 9.5 - 19.5  |
| 0.8    | 60     | 8      | 24.5 | 10   | 19.5 - 29.5 |



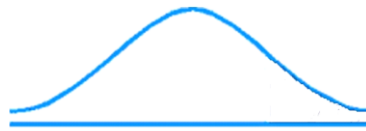
### פוליגון – מצולעון:

אם נחבר את אמצע קצה כל מלבן בקווים ישרים. נותן מראה חזותי לצורה של התפלגות המשתנה.

### צורות התפלגות נפוצות:

#### התפלגות סימטרית פעמונית

רוב התצפיות במרכז, וככל שנתרחק מהמרכז יהיו פחות תצפיות באופן סימטרי. לדוגמה, ציוני IQ.

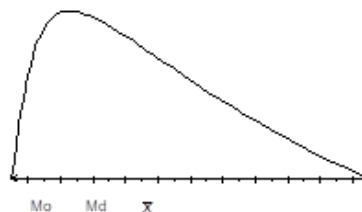


ישנן התפלגויות סימטריות שאינן פעמוניות, כגון:

#### התפלגות אסימטרית ימנית (חיובית)

רוב התצפיות מקבלות ערכים נמוכים ויש מיעוט הולך וקטן של תצפיות שמקבלות ערכים גבוהים קיצוניים. לדוגמה, שכר במשק.

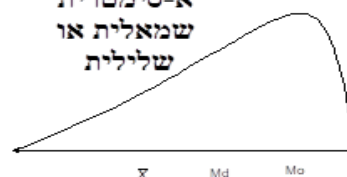
התפלגות א-סימטרית  
ימנית או חיובית



#### התפלגות אסימטרית שמאלית (שלילית)

רוב התצפיות מקבלות ערכים גבוהים ויש מיעוט הולך וקטן של תצפיות שמקבלות ערכים נמוכים קיצוניים. לדוגמה, אורך חיים.

התפלגות  
א-סימטרית  
שמאלית או  
שלילית



## שאלות:

(1) בסקר צפייה בטלוויזיה התקבלו התוצאות הבאות : 25 צפו בערוץ הראשון, 25 צפו בערוץ 10, 75 צפו בערוץ השני, 50 צפו באחד מערוצי הכבלים ו-25 לא צפו בטלוויזיה בזמן הסקר.

א. רשמו את טבלת השכיחות ואת השכיחות היחסית.

ב. תארו את הנתונים באופן גרפי.

(2) להלן נתונים על התפלגות המקצוע המועדף של תלמידי שכבה ו' בבית הספר "מעוף":

| מספר התלמידים | המקצוע   |
|---------------|----------|
| 44            | מתמטיקה  |
| 20            | תנ"ך     |
| 12            | אנגלית   |
| 26            | היסטוריה |

א. מהו המשתנה הנחקר?

ב. מהי פרופורציית התלמידים שמעדיפים תנ"ך?

(3) להלן התפלגות ההשכלה במקום עבודה מסוים:

| מספר העובדים | השכלה   |
|--------------|---------|
| 60           | נמוכה   |
| 120          | תיכונית |
| 20           | אקדמאית |

א. מהו המשתנה הנחקר?

מאיזה סולם הוא?

ב. תארו את הנתונים באופן גרפי.

(4) להלן רשימת הציונים של 20 תלמידים שנבחנו במבחן הבנת הנקרא:

6, 5, 8, 7, 6, 7, 8, 6, 7, 5, 4, 6, 10, 9, 8, 6, 7.

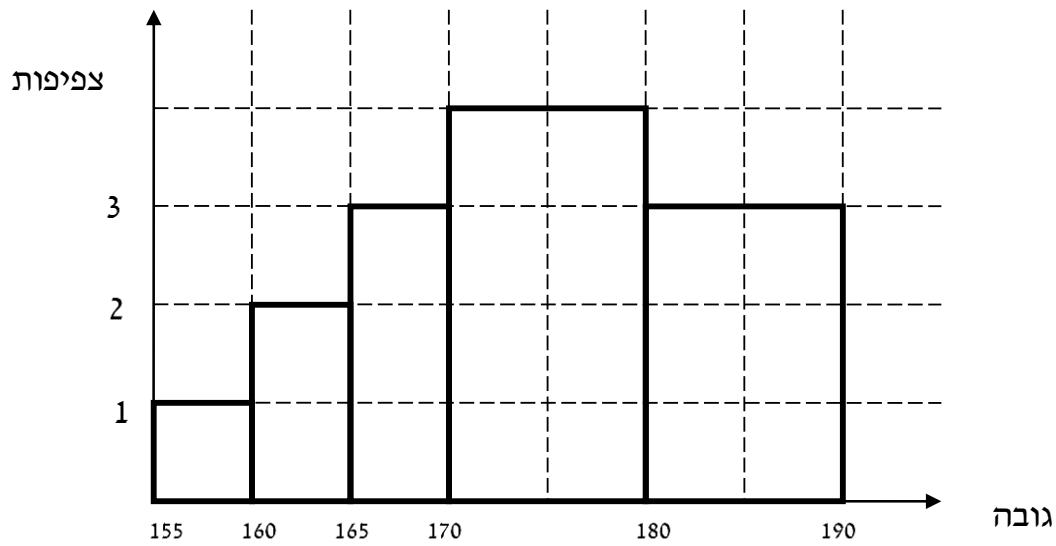
א. מהו המשתנה? האם הוא בדיד או רציף?

ב. תארו את הרשימה בטבלת שכיחויות.

ג. הוסיפו שכיחויות יחסיות לטבלה.

ד. תארו את הנתונים באופן גרפי.

5) להלן היסטוגרמה המתארת את התפלגות הגבהים בס"מ של קבוצה מסוימת:



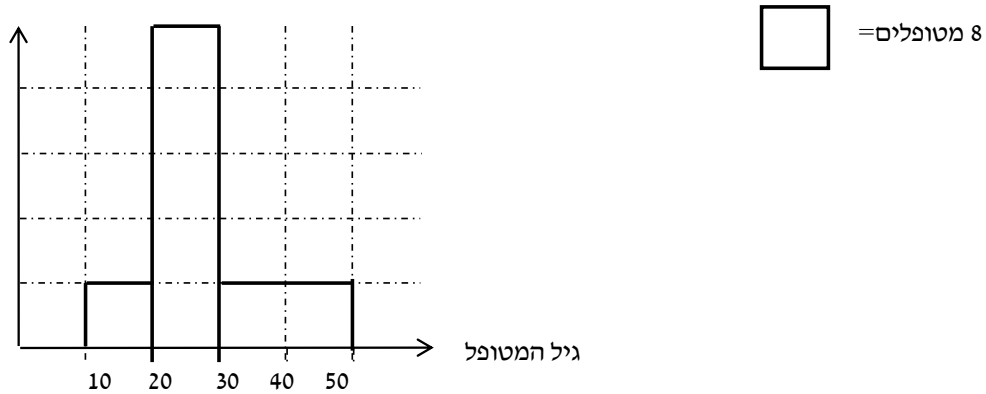
- מהו המשתנה הנחקר? האם הוא בדיד או רציף?
- תארו את הנתונים בטבלת שכיחויות במחלקות.
- הוסיפו שכיחות יחסית לטבלה.
- הוסיפו את הצפיפות של כל מחלקה לטבלה.
- מהי צורת ההתפלגות של הגבהים?

6) להלן התפלגות המשקל של קבוצה מסוימת בק"ג:

| משקל  | מספר מקרים |
|-------|------------|
| 40-45 | 10         |
| 45-50 | 20         |
| 50-60 | 30         |
| 60-65 | 20         |
| 65-70 | 10         |

- תארו את ההתפלגות באופן גרפי.
- מה ניתן להגיד על צורת ההתפלגות?

7) להלן גיל המטופלים של ד"ר שוורץ בשנים :  
קנה מידה :



- א. מה המשתנה הנחקר? האם הוא בדיד או רציף?
- ב. מהי הקבוצה הנחקרת?
- ג. תרגמו את ההסיטוגרמה לטבלת שכיחות.
- ד. מהי הפרופורציה של המטופלים של ד"ר שוורץ בגילאים 20-30?

### תשובות סופיות:

1) א. להלן טבלה: ב. עיין גרף מלא בסרטון הוידאו.

| $x$     | $f(x)$ | $\frac{f(x)}{n}$ | %     |
|---------|--------|------------------|-------|
| ערוץ 1  | 25     | $\frac{25}{200}$ | 12.5% |
| ערוץ 10 | 25     | $\frac{25}{200}$ | 12.5% |
| ערוץ 2  | 75     | $\frac{75}{200}$ | 37.5% |
| כבלים   | 50     | $\frac{50}{200}$ | 25%   |
| לא צפו  | 25     | $\frac{25}{200}$ | 12.5% |
| סה"כ    | 200    | 1                | 100%  |

- 2) א. מקצוע מועדף. ב. 19.6%.
- 3) א. משתנה נחקר: השכלה, סוג: סדר. ב. עיין גרף מלא בסרטון הוידאו.

- (4) א. המשתנה : ציון, משתנה בדיד.  
ד. עיין גרף מלא בסרטון הוידאו.

ב+ג. להלן טבלה :

| $x$  | $f(x)$ | $\frac{f(x)}{n}$ | %    |
|------|--------|------------------|------|
| 4    | 1      | $\frac{1}{20}$   | 5%   |
| 5    | 2      | $\frac{2}{20}$   | 10%  |
| 6    | 6      | $\frac{6}{20}$   | 30%  |
| 7    | 4      | $\frac{4}{20}$   | 20%  |
| 8    | 4      | $\frac{4}{20}$   | 20%  |
| 9    | 2      | $\frac{2}{20}$   | 10%  |
| 10   | 1      | $\frac{1}{20}$   | 5%   |
| סה"כ | 20     | 20               | 100% |

- (5) א. גובה בס"מ, רציף.

ב+ג+ד. להלן טבלה : ה. אסימטרית.

| $x$     | $f(x)$ | $\frac{f(x)}{n}$ | %   | $d$ |
|---------|--------|------------------|-----|-----|
| 155-160 | 5      | $\frac{5}{100}$  | 5%  | 1   |
| 160-165 | 10     | $\frac{10}{100}$ | 10% | 2   |
| 165-170 | 15     | $\frac{15}{100}$ | 15% | 3   |
| 170-180 | 40     | $\frac{40}{100}$ | 40% | 4   |
| 180-190 | 30     | $\frac{30}{100}$ | 30% | 3   |

- 6) א. עיין גרף מלא בסרטון הוידאו. ב. סימטרית.
- 7) א. המשתנה : גיל בשנים, משתנה רציף. ב. המטופלים של ד"ר שוורץ.
- ד. להלן טבלה : ה. 62.5%.

| $f(x)$ | $x$   |
|--------|-------|
| 8      | 10-20 |
| 40     | 20-30 |
| 16     | 30-50 |



# סטטיסטיקה

פרק 3 - סטטיסטיקה תיאורית-גבולות מדומים ואמיתיים

תוכן העניינים

1. כללי ..... 16

## סטטיסטיקה תיאורית – גבולות מדומים וגבולות אמיתיים:

### רקע:

עבור משתנה רציף נהוג לתאר את הנתונים בטבלת שכיחויות במחלקות. הנתונים שנאספים הם ברמת דיוק מסוימת. לדוגמה: משקל של בני אדם ומשקל של יהלומים יסקלו ברמת דיוק שונה.

### גבולות מדומים:

כאשר גבול עליון של מחלקה אחת שונה מגבול תחתון של המחלקה הבאה אז הגבולות הם גבולות מדומים. כשהגבולות מדומים, ההפרש בין גבול תחתון של מחלקה לבין גבול עליון של המחלקה הקודמת יהיה רמת הדיוק.

**רמת הדיוק חייבת להיות קבועה** - אין אפשרות שחלק מהאנשים נדייק ברמה אחת ואת השאר ברמה אחרת. בגלל שהמשתנה הוא משתנה רציף, כשננתח את הנתונים נעבור מגבולות מדומים לגבולות אמיתיים. אם הנתונים יינתנו בגבולות מדומים נהפוך אותם תמיד לגבולות אמיתיים.

כיצד עוברים מגבולות מדומים לגבולות אמיתיים?

לוקחים את רמת הדיוק ומחלקים אותה ב-2, ואת התוצאה המתקבלת מוסיפים לגבולות העליונים ומפחיתים מהגבולות התחתונים. אם יתנו נתונים בגבולות מדומים אנחנו מוכרחים לעבור לגבולות אמיתיים על מנת להמשיך ולנתח, אך אם הנתונים כבר יינתנו בגבולות אמיתיים נשאיר אותם כמו שהם.

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

להלן התפלגות הגבהים בס"מ של תלמידי כיתה ח': יש להעביר את הנתונים לגבולות אמיתיים.

| $f(x)$ | $x$     |
|--------|---------|
| 20     | 130-139 |
| 25     | 140-149 |
| 30     | 150-159 |
| 20     | 160-169 |
| 10     | 170-189 |

## שאלות:

- (1) להלן התפלגות של משתנה בהצגה של מחלקות.  
יש להעביר את הנתונים לגבולות אמיתיים:

| $f(x)$ | $X$     |
|--------|---------|
| 542    | 500-590 |
| 32     | 600-690 |
| 154    | 700-790 |
| 254    | 800-890 |

- (2) להלן התפלגות המשקלים בק"ג של קבוצת אנשים מסוימת.  
יש לרשום את הנתונים בגבולות אמיתיים:

| מספר אנשים | משקל בק"ג |
|------------|-----------|
| 18         | 60-64     |
| 24         | 65-69     |
| 52         | 70-79     |
| 19         | 80-89     |

## תשובות סופיות:

- (1) להלן טבלה:

| $f(x)$ | $x$     |
|--------|---------|
| 542    | 495-595 |
| 32     | 595-695 |
| 154    | 695-795 |
| 254    | 795-895 |

- (2) להלן טבלה:

| $f(x)$ | $x$       |
|--------|-----------|
| 18     | 59.5-64.5 |
| 24     | 64.5-69.5 |
| 52     | 69.5-79.5 |
| 19     | 79.5-89.5 |

# סטטיסטיקה

פרק 4 - סטטיסטיקה תיאורית- סכימה

תוכן העניינים

1. כללי.....18

## סטטיסטיקה תיאורית – סכימה:

רקע:

בסטטיסטיקה ישנה צורת רישום מקובלת לסכום של תצפיות:  $\sum_{i=1}^n X_i$ .

נסביר את צורת הרישום על ידי הדוגמה הבאה:

| $i$ | $X_i$ |
|-----|-------|
| 1   | 5     |
| 2   | 0     |
| 3   | 1     |
| 4   | 3     |
| 5   | 2     |

(הסבר מלא מופיע בסרטונים באתר).

## שאלות:

- 1) בבניין 5 דירות. לכל דירה רשמו את מספר החדרים שיש בדירה ( $X$ ), ומספר הנפשות החיות בדירה ( $Y$ ). חשבו:

| מספר דירה | $X$ | $Y$ |
|-----------|-----|-----|
| 1         | 2   | 1   |
| 2         | 3   | 1   |
| 3         | 2   | 2   |
| 4         | 4   | 3   |
| 5         | 3   | 2   |

א.  $\sum_{i=1}^3 X_i$

ב.  $\sum_{i=1}^5 Y_i$

ג.  $\sum_{i=1}^4 X_i$

ד.  $\left( \sum_{i=1}^4 X_i \right)^2$

ה.  $\sum X_i$

ו.  $\sum X_i Y_i$

ז.  $\sum (X_i) \sum (Y_i)$

- (2) נתון לוח ערכי המשתנים  $X_i$  ו- $Y_i$ , כאשר:  $i = 1, 2, \dots, 6$ , ונתונים הקבועים:  
 $a = 2$ ,  $b = 5$ . חשבו את הנוסחאות הבאות:

| $i$   | 1 | 2 | 3 | 4  | 5  | 6 |
|-------|---|---|---|----|----|---|
| $X_i$ | 3 | 2 | 4 | -2 | 1  | 4 |
| $Y_i$ | 2 | 0 | 0 | 1  | -5 | 2 |

א.  $\sum_{i=1}^4 y_i$

ב.  $\sum_{i=1}^6 a$

ג.  $\sum_{i=1}^6 x_i y_i$

ד.  $\sum_{i=1}^6 (x_i + y_i)$

ה.  $\sum_{i=1}^6 x_i + a$

- (3) קבעו לכל זהות האם היא נכונה:

א.  $\sum_{i=1}^n bX_i = b \cdot \sum_{i=1}^n X_i$

ב.  $\sum_{i=1}^n a = a \cdot n$

ג.  $\left( \sum_{i=1}^n X_i \right)^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2$

- (4) נתון:  $\sum_{i=1}^{10} X_i = 80$ ,  $\sum_{i=1}^{10} X_i^2 = 1640$

חשבו:  $\sum_{i=1}^{10} (X_i - 4)^2$

### תשובות סופיות:

- |   |           |           |              |         |
|---|-----------|-----------|--------------|---------|
| 1 | א. 7.     | ב. 9.     | ג. 11.       | ד. 121. |
|   | ה. 14.    | ו. 27.    | ז. 126.      |         |
| 2 | א. 3.     | ב. 12.    | ג. 7.        |         |
|   | ד. 12.    | ה. 14.    |              |         |
| 3 | א. נכונה. | ב. נכונה. | ג. לא נכונה. |         |
| 4 | 1160.     |           |              |         |



# סטטיסטיקה

פרק 5 - סטטיסטיקה תיאורית - מדדי מיקום מרכזי

תוכן העניינים

1. כללי ..... 22

## סטטיסטיקה תיאורית – מדדי מיקום מרכזי:

### רקע:

המטרה במדדי המיקום המרכזי היא למדוד את מרכז ההתפלגות של התצפיות.

### השכיח – Mode:

השכיח הוא הערך הנפוץ ביותר בהתפלגות.

### ברשימה

הערך החוזר על עצמו הכי הרבה פעמים: 7, 9, 4, 8, 4, 10, 6.

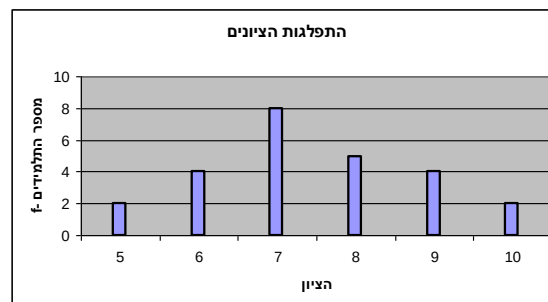
### בטבלת שכיחויות בדידה

הערך שהשכיחות שלו היא הגבוהה ביותר.

| $f(x)$ | # תוכניות החיסכון |
|--------|-------------------|
| 100    | 0                 |
| 75     | 1                 |
| 25     | 2                 |
| 25     | 3                 |
| 25     | 4                 |

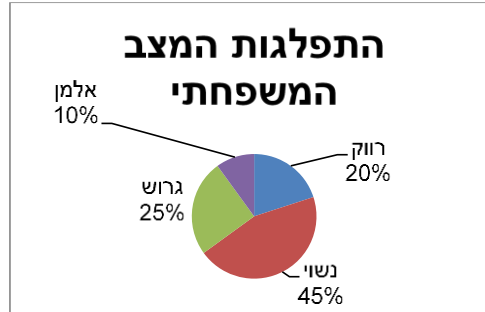
### בדיאגרמת מקלות

שיעור ה-  $X$  של המקל הגבוה ביותר.



### בעוגה

הערך של הפלח הגדול ביותר.



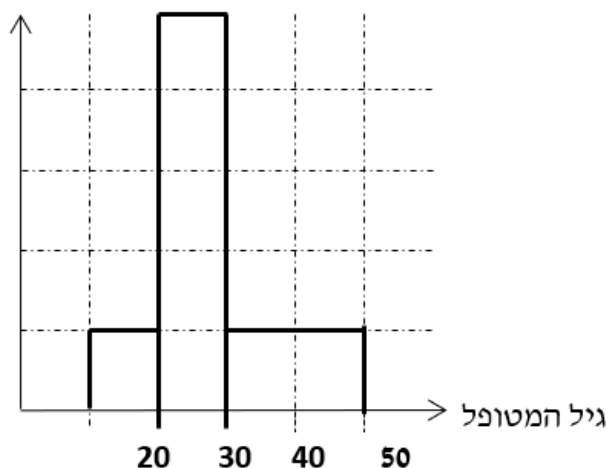
### בטבלת שכיחויות במחלקות

אמצע המחלקה עם הצפיפות הגבוהה ביותר.  
לדוגמה, התפלגות הציונים בכיתה :

| $f(x)$ | $X$    |
|--------|--------|
| 20     | 0-60   |
| 10     | 60-70  |
| 18     | 70-80  |
| 15     | 80-90  |
| 15     | 90-100 |

### בהיסטוגרמה

שיעור ה-  $X$  של אמצע המחלקה הגבוהה ביותר.  
לדוגמה, גיל המטופלים של ד"ר שוורץ בשנים :



= 8

### כללי

יתכן שלהתפלגות יותר משכיח אחד.  
השכיח הוא מדד הרלבנטי לכל סוגי המשתנים.

### אמצע תחום (טווח) – Midrange:

הממוצע בין התצפית הגבוהה ביותר לתצפית הנמוכה ביותר:

$$MR = \frac{X_{\min} + X_{\max}}{2}$$

### החציון – Median:

החציון הוא ערך שמחצית מהתצפיות קטנות או שוות לו ומחצית מהתצפיות גדולות או שוות לו.

### ברשימה

נסדר את התצפיות בסדר עולה.

אם יש מספר אי זוגי של איברים, מקומו של החציון יהיה התצפית שמיקומה:  $\frac{n+1}{2}$ .

אם יש מספר זוגי של איברים – החציון הוא ממוצע של האיבר ה- $\frac{n}{2}$ ,

והאיבר ה- $\frac{n}{2} + 1$ , כלומר שיש מספר אי-זוגי של תצפיות החציון יהיה:  $md = X_{\frac{n+1}{2}}$ ,

וכשיש מספר זוגי של תצפיות החציון יהיה:  $md = \frac{X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2}+1}}{2}$ .

### בטבלת שכיחויות בדידה

נעשה תהליך דומה אך נעזר בשכיחות המצטברת.

### דיאגרמת מקלות

נמיר לטבלת שכיחויות בדידה במטרה למצוא את החציון.

### בטבלת שכיחויות במחלקות

שלב א: נמצא את המחלקה החציונית שמיקומה יהיה  $\frac{n}{2}$ .

שלב ב: נציב בנוסחה הבאה:  $Md = L_0 + \frac{\frac{n}{2} - F(x_{m-1})}{f(x_m)} \cdot (L_1 - L_0)$

$F(x_{m-1})$  - שכיחות מצטברת של מחלקה אחת לפני המחלקה החציונית.  
 $f(x_m)$  - השכיחות של המחלקה החציונית.

$L_0$  - גבול התחתון של המחלקה.

$L_1$  - גבול העליון של המחלקה.

### היסטוגרמה

החציון הוא הערך על ציר ה- $X$  שמחלק את ההיסטוגרמה לשני חלקים שווים בשטח.

### כללי

החציון אינו רלבנטי למשתנה מסולם שמי ולא רלבנטי למשתנה איכותי.

### הממוצע – Average :

הממוצע הוא מרכז הכובד של ההתפלגות.

### ברשימה

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

### בטבלת שכיחויות

$$\bar{X} = \frac{\sum x \cdot f}{n}$$

### במחלקות

נשתמש באותה נוסחה רק נתייחס לאמצע המחלקה בתור ה-  $X$ .  
 הממוצע הזה יהיה ממוצע מקורב.

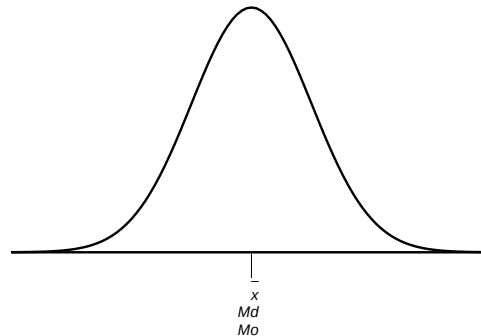
### כללי

הממוצע רלבנטי רק למשתנה כמותי.

### מדדי המיקום המרכזי בהתפלגויות המיוחדות:

בהתפלגות סימטרית פעמונית כל מדדי המרכז שווים זה לזה:

#### התפלגות סימטרית

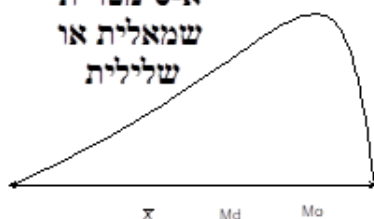


בהתפלגות סימטרית השכיח לא חייב להיות במרכז:

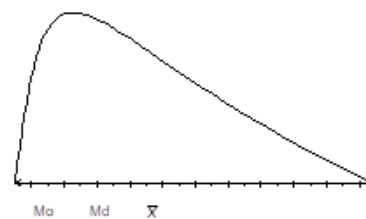
#### התפלגות U



#### התפלגות א-סימטרית שמאלית או שלילית



#### התפלגות א-סימטרית ימנית או חיובית



## שאלות:

(1) להלן רשימת הציונים של 20 תלמידים שנבחנו במבחן הבנת הנקרא:  
6, 5, 8, 7, 6, 6, 7, 8, 5, 4, 6, 10, 9, 8, 6, 7.  
חשבו את החציון, השכיח, והממוצע של הציונים.

(2) בדקו את מספר החדרים לדירה בבניין בן 5 דירות והתקבל ממוצע 3.8.  
לגבי 4 דירות נמצא מספר חדרים: 4, 3, 4, 5.  
א. כמה חדרים יש בדירה החמישית?  
ב. מהו השכיח ומהו החציון?

(3) להלן התפלגות מספר מקלטי הטלויזיה שנספרו עבור כל משפחה בישוב מסוים:

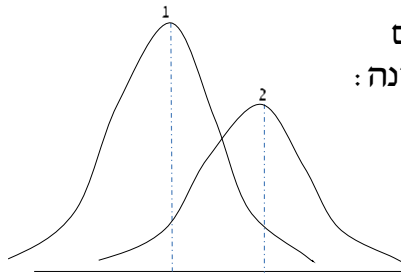
| מספר משפחות | מספר מקלטים |
|-------------|-------------|
| 0           | 22          |
| 1           | 28          |
| 2           | 18          |
| 3           | 22          |
| 4           | 10          |

א. חשבו את הממוצע, החציון והשכיח של ההתפלגות.  
ב. הסבירו ללא חישוב כיצד כל מדד שחישבת בסעיף א' היה משתנה אם חלק מהמשפחות (לא כולן) שלא היה להם עד היום טלויזיה היו רוכשים מקלט אחד.

(4) להלן התפלגות מספר המכוניות למשפחה בישוב "הגורן":

| מספר מכוניות למשפחה | שכיחות |
|---------------------|--------|
| 1                   | 65     |
| 2                   | 150    |
| 3                   | 220    |
| 4                   | 140    |
| 5                   | 55     |

א. כמה משפחות יש בישוב?  
ב. מה אחוז המשפחות בישוב עם לכל היותר 2 מכוניות?  
ג. חשבו את הממוצע, החציון והשכיח.  
הקפידו להסביר לגבי כל סעיף מה משמעות התוצאה שקיבלתם!



5) מורה לימד 2 כיתות, הוא תיאר באותה מערכת צירים את התפלגות הציונים בכל כיתה. בחרו בתשובה הנכונה:

- א. בכיתה 1 השכיח גבוה יותר מכיתה 2.
- ב. בכיתה 2 השכיח גבוה יותר מכיתה 1.
- ג. בשתי הכיתות אותו שכיח.
- ד. לא ניתן לדעת באיזו כיתה השכיח גדול יותר.

6) ביישוב מסוים בדקו לכל משפחה את מספר הטלוויזיות שיש לה בבית. ביישוב גרות 200 משפחות. בממוצע יש למשפחה 1.5 טלוויזיות.

| מספר<br>טלוויזיות | מספר<br>משפחות |
|-------------------|----------------|
| 0                 | 28             |
| 1                 | 62             |
| 2                 |                |
| 3                 |                |

- א. השלימו את הטבלה.
- ב. מהו השכיח, אמצע טווח והחציון.
- ג. חלק מהמשפחות להן הייתה טלוויזיה אחת בדיוק הוציאו את הטלוויזיה מביתם. כיצד כל מדד ישתנה (יגדל, יקטן או לא ישתנה). הסבירו ללא חישוב.

7) להלן התפלגות המשקל של קבוצה מסוימת בק"ג. מה הממוצע והחציון של ההתפלגות?

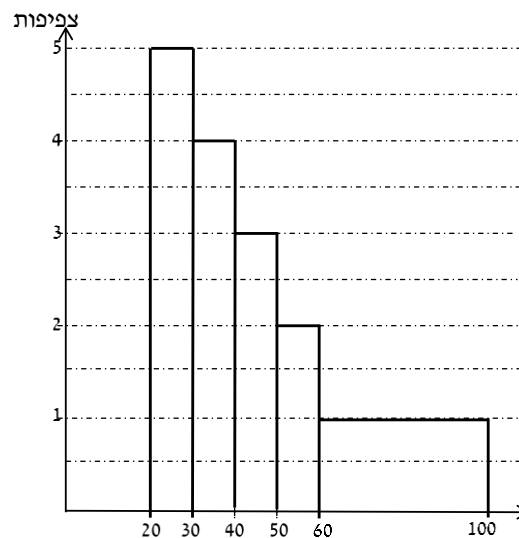
| משקל  | מספר מקרים |
|-------|------------|
| 40-45 | 10         |
| 45-50 | 20         |
| 50-60 | 30         |
| 60-65 | 20         |
| 65-70 | 10         |



- 8) להלן התפלגות הגבהים בס"מ בקבוצה מסוימת. חשבו את הממוצע, החציון והשכיח של הגבהים בקבוצה זו.

| שכיחות | גובה בס"מ |
|--------|-----------|
| 30     | 150-160   |
| 40     | 160-170   |
| 60     | 170-175   |
| 70     | 175-180   |
| 40     | 180-190   |

- 9) בפקולטה מסוימת בדקו לסטודנטים העובדים בה את השכר לשעת עבודה. להלן התוצאות:



- א. מצאו את השכיח בהתפלגות.  
 ב. מצאו את החציון בהתפלגות.  
 ג. הסבירו ללא חישוב האם הממוצע גדול/קטן/שווה לחציון.  
 ד. הסתבר שיש להוציא מספר תלמידים במחלקה בין 20-30 שקלים. כיצד הדבר ישפיע על הממוצע, החציון והשכיח? הסבירו ללא חישוב.

## תשובות סופיות:

- (1) חציון : 7, שכיח : 6, ממוצע : 6.9.
- (2) א. 3. ב. שכיח : 3.4, חציון : 4.
- (3) א. ממוצע : 1.7, חציון : 1.5, שכיח : 1. ב. הממוצע יגדל ויתר המדדים לא ישתנו.
- (4) א. 630. ב. 34.13%. ג. שכיח וחציון : 3, ממוצע : 2.952.
- (5) ב'.
- (6) א. להלן טבלה : ב. חציון : 2, שכיח : 2, אמצע טווח : 1.5.

| מספר<br>משפחות | מספר<br>טלויזיות |
|----------------|------------------|
| 28             | 0                |
| 62             | 1                |
| 92             | 2                |
| 18             | 3                |

ג. שכיח : לא ישתנה, אמצע הטווח : לא ישתנה, חציון : לא ישתנה, ממוצע : יקטן.

- (7) חציון וממוצע : 55.
- (8) ממוצע : 172.6, חציון : 174.17, שכיח : 177.5.
- (9) א. 25. ב. 40. ג. גדול מהחציון. ד. שכיח : לא ישתנה, חציון : יגדל, ממוצע : יגדל.

# סטטיסטיקה

פרק 6 - סטטיסטיקה תיאורית- מדדי פיזור

תוכן העניינים

1. כללי ..... (ללא ספר)

# סטטיסטיקה

פרק 7 - סטטיסטיקה תיאורית - מדדי פיזור - טווח בין רבעוני

תוכן העניינים

1. כללי ..... 31

## סטטיסטיקה תיאורית – מדדי פיזור – טווח בין רבעוני:

**רקע:**

הטווח הבין-רבעוני נותן את הטווח בין הרבעונים בו נמצאים 50% מהתצפיות המרכזיות.

**שלבים במציאת טווח בין-רבעוני במחלקות:**

| מספר שנות ותק | רוחב $L_1 - L_0$ | מספר עובדים<br>(שכירות) $f$ | $F$ |
|---------------|------------------|-----------------------------|-----|
| 0.5 – 4.5     | 4                | 56                          | 56  |
| 4.5 – 9.5     | 5                | 50                          | 106 |
| 9.5 – 11.5    | 2                | 48                          | 154 |
| 11.5 – 14.5   | 3                | 36                          | 190 |
| 14.5 – 19.5   | 5                | 10                          | 200 |

**שלב א:**

נמצא את הרבעון התחתון (אחוזון 25) והרבעון העליון (האחוזון ה-75).

מיקום הרבעון התחתון יהיה:  $\frac{n}{4}$ . מיקום הרבעון העליון יהיה:  $\frac{3n}{4}$ .

נוסחאות הרבעונים יהיו:

$$Q_1 = L_0 + \frac{\frac{n}{4} - F(x_{m-1})}{f(x_m)} \cdot (L_1 - L_0)$$

$$Q_3 = L_0 + \frac{\frac{3n}{4} - F(x_{m-1})}{f(x_m)} \cdot (L_1 - L_0)$$

**נציב:**

$$Q_1 = 0.5 + \frac{\frac{200}{4} - 0}{56} \cdot 4 = 4.07 \text{ שניות}$$

$$Q_3 = 9.5 + \frac{\frac{3 \cdot 200}{4} - 106}{48} \cdot 2 = 11.33 \text{ שניות}$$

**שלב ב:**

$$IQR = Q_3 - Q_1 = 11.33 - 4.07 = 7.26 \text{ שניות}$$

נחסר את הרבעונים:

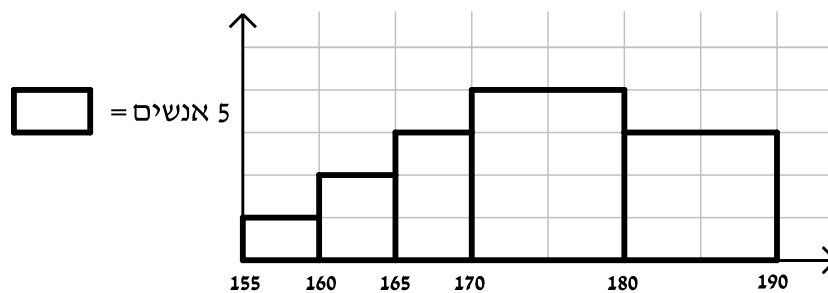
## שאלות:

(1) להלן התפלגות המשקל של קבוצה מסוימת בק"ג:

| משקל  | מספר מקרים |
|-------|------------|
| 40-45 | 10         |
| 45-50 | 20         |
| 50-60 | 30         |
| 60-65 | 20         |
| 65-70 | 10         |

מצאו את הטווח הבין-רבעוני.

(2) להלן היסטוגרמה המתארת את התפלגות הגבהים בס"מ של קבוצה מסוימת:



מצאו את הטווח הבין-רבעוני.

## תשובות סופיות:

(1) 13.75 ק"ג.

(2) 13.33 ק"ג.

# סטטיסטיקה

פרק 8 - סטטיסטיקה תיאורית- מדדי מיקום יחסי-ציון תקן

תוכן העניינים

1. כללי..... 33

## סטטיסטיקה תיאורית – מדדי מיקום יחסי – ציון תקן:

### רקע:

המטרה למדוד איך תצפית ממוקמת ביחס לשאר התצפיות בהתפלגות.

### ציון תקן:

הנוסחה לציון תקן של תצפית היא:  $Z = \frac{X - \bar{X}}{S}$ .

ציון התקן נותן כמה סטיות תקן סוטה התצפית מהממוצע. כלומר, ציון התקן מעיד על כמה סטיות תקן התצפית מעל או מתחת לממוצע:

- ציון תקן חיובי אומר שהתצפית מעל הממוצע.
- ציון תקן שלילי אומר שהתצפית מתחת לממוצע.
- ציון תקן אפס אומר שהתצפית בדיוק בממוצע.

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

במקום עבודה מסוים, ממוצע המשכורות הוא 8 אלף ₪, עם סטית תקן של אלפיים ₪. באותו מקום עבודה ההשכלה הממוצעת של העובדים הנה 14 שנים, עם סטית תקן של 1.5 שנים. ערן מרוויח במקום עבודה זה 11 אלף ₪ והשכלתו 16 שנים. מה ערן יותר, באופן יחסי, משכיל או משתכר?



## שאלות:

- (1) תלמידי כיתה ח' ניגשו למבחן בלשון ולמבחן במתמטיקה. להלן התוצאות שהתקבלו:

| המקצוע  | ממוצע | סטיית תקן |
|---------|-------|-----------|
| לשון    | 74    | 12        |
| מתמטיקה | 80    | 16        |

עודד קיבל: 68 בלשון ו-70 במתמטיקה.

- א. באיזה מקצוע עודד טוב יותר באופן יחסי לשכבה שלו?  
 ב. איזה ציון עודד צריך לקבל במתמטיקה כדי שיהיה שקול לציונו בלשון?

- (2) במפעל לייצור מצברים לרכב בדקו במשך 40 ימים את התפוקה היומית (מספר מצברים במאות) ואת מספר הפועלים שעבדו באותו היום. להלן טבלה המסכמת את המידע שנאסף על שני המשתנים:

| ממוצע     | תפוקה | מספר פועלים |
|-----------|-------|-------------|
| ממוצע     | 48    | 15          |
| סטיית תקן | 10    | 2           |

- באחד הימים מתוך כלל הימים שנבדקו התפוקה הייתה 50 מאות מצברים ובאותו היום עבדו 13 פועלים.  
 מה יותר חריג באותו היום, יחסית לשאר הימים שנבדקו: נתוני התפוקה או כמות הפועלים?  
 א. התפוקה.  
 ב. כמות הפועלים.  
 ג. חריגים באותה מידה.  
 ד. חסרים נתונים כדי לדעת זאת.

- (3) הגובה הממוצע של המתגייסים לצבא הוא 175 סנטימטר עם סטיית תקן של 10 סנטימטר. המשקל הממוצע הוא 66 ק"ג עם סטיית תקן של 8 ק"ג. ערך התגייס כשגובהו 180 ס"מ ומשקלו 59 ק"ג.  
 א. במה ערך חריג יותר ביחס לשאר המתגייסים, גובהו או משקלו?  
 ב. כמה ערך אמור לשקול כדי שמשקלו יהיה שקול לגובהו?

## תשובות סופיות:

- (1) א. לשון. ב. 72.  
 (2) ב'.  
 (3) א. משקל. ב. 70.

# סטטיסטיקה

פרק 9 - סטטיסטיקה תיאורית-מדדי מיקום יחסי-אחוזונים במחלקות

תוכן העניינים

1. כללי ..... 35

## סטטיסטיקה תיאורית – מדדי מיקום יחסי – אחוזונים במחלקות:

### רקע:

האחוזון (המאון) ה- $p$  הוא הערך בנתונים המחלק את הנתונים בצורה כזאת שעד אליו יש  $p\%$  מהנתונים. מסמנים את האחוזון ה- $p$  ב- $X_p$ .  
למשל, המאון ה-25 הוא האחוזון ה-25 או הרבעון התחתון:  
ערך שרבע מהתצפיות קטנות ממנו והשאר גבוהות ממנו. מסומן:  $X_{0.25}$ .

### מציאת מאון במחלקות:

שלב א: נמצא את המחלקה הרלבנטית שמיקומה יהיה:  $\frac{np}{100}$ .

שלב ב: נציב בנוסחה הבאה:  $x_p = L_0 + \frac{\frac{n \cdot p}{100} - F(x_{m-1})}{f(x_m)} \cdot (L_1 - L_0)$ , את המשתנים:

$F(x_{m-1})$  - שכיחות מצטברת של מחלקה אחת לפני המחלקה הרלבנטית.

$f(x_m)$  - השכיחות של המחלקה הרלבנטית.

$L_0$  - גבול התחתון של המחלקה.

$L_1$  - גבול העליון של המחלקה.

אם נרצה לחלץ את אחוז התצפיות שמתחת לערך מסוים נשתמש בנוסחה

$$P_x = \left[ \frac{(x - L_0)}{(L_1 - L_0)} \cdot f(x_m) + F(x_{m-1}) \right] \cdot \frac{100}{n}$$

הבאה:

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

להלן התפלגות השכר של עובדים בחברה מסוימת:

| שכר ב-₪     |     |
|-------------|-----|
| 4000-6000   | 140 |
| 6000-10000  | 128 |
| 10000-15000 | 60  |
| 15000-20000 | 54  |
| 20000-40000 | 18  |

א. מצאו את המאון ה-40.

ב. מהו אחוז העובדים שמשכרים מתחת ל-5,000 ₪?

## שאלות:

1) להלן התפלגות השכר (באלפי שקלים) בחברה:

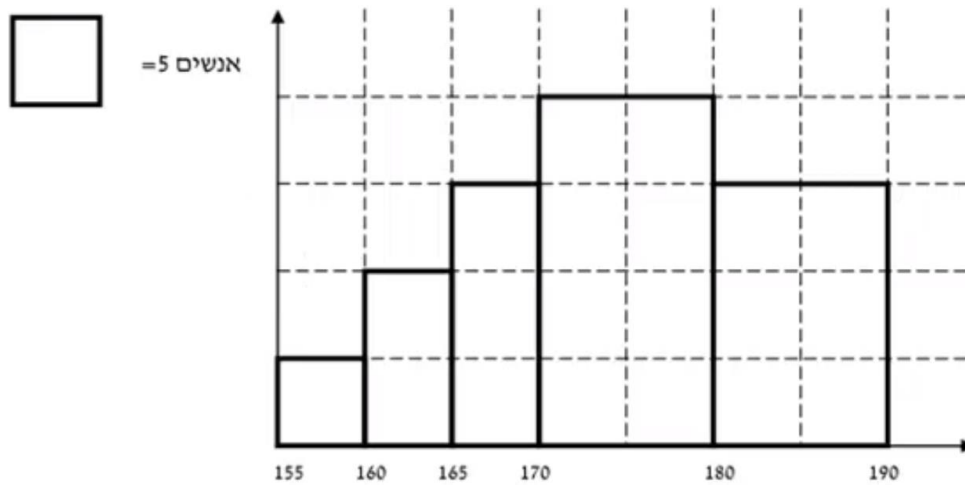
| שכר - $X$ | שכיחות מצטברת |
|-----------|---------------|
| 6-10      | 48            |
| 10-15     | 100           |
| 15-20     | 120           |
| 20-30     | 132           |
| 30-60     | 136           |

- א. חשבו את המאון ה-60.  
 ב. מהו העשירון העליון?  
 ג. 20% מהמשכורות הגבוהות ביותר הן משכורות של הבכירים, מהי המשכורת המינימאלית לבכיר?  
 ד. מה אחוז האנשים שמשכרים מתחת ל-7,000 ₪?  
 ה. איזה אחוז מהעובדים משכרים מעל ל-25,000 ₪?  
 ו. איזה אחוז מהעובדים משכרים בין 7,000 ₪ ל-25,000 ₪?

2) למבחן ניגשו 400 נבחנים. נתון שהעשירון התחתון הוא הציון 60. הרבעון העליון הוא הציון 80. כמו כן ההתפלגות של הציונים היא סימטרית. מלאו את השכיחויות החסרות.

| ציון - $X$ | $f(x)$ |
|------------|--------|
| 50-60      |        |
| 60-70      |        |
| 70-80      |        |
| 80-90      |        |
| 90-100     |        |

(3) להלן היסטוגרמה המתארת את התפלגות הגבהים בס"מ של קבוצה מסוימת:



חשבו:

- העשירון התחתון.
- האחוזון ה-30.
- הגובה ש-20% מהתצפית גדולות ממנו.
- את אחוז התצפיות מתחת לגובה 158 ס"מ.
- את אחוז התצפיות מעל לגובה 185 ס"מ.
- את אחוז התצפיות בין גובה 170 ס"מ ל-185 ס"מ.

### תשובות סופיות:

- (1) א. 13.23    ב. 22    ג. 17.2    ד. 8.82%    ה. 7.36%

ו. 83.82%

(2) להלן טבלה:

| ציון- $X$ | $f(x)$ |
|-----------|--------|
| 50-60     | 40     |
| 60-70     | 60     |
| 70-80     | 200    |
| 80-90     | 60     |
| 90-100    | 40     |

- (3) א. 162.5    ב. 170    ג. 183.33    ד. 3%    ה. 15%

ו. 55%

# סטטיסטיקה

פרק 10 - סטטיסטיקה תיאורית-אחוזונים בטבלה בדידה

תוכן העניינים

1. כללי ..... 38

## סטטיסטיקה תיאורית – מדדי מיקום יחסי – אחוזונים בטבלה בדידה:

### רקע:

האחוזון (המאון) ה- $p$  הוא הערך בנתונים המחלק את הנתונים בצורה כזאת, שעד אליו (כולל) יש  $p\%$  מהנתונים. מסמנים את האחוזון ה- $p$  ב- $X_p$ .

### חישוב האחוזון מתוך נתונים בטבלת שכיחויות בדידה:

האחוזון הוא הערך שבו בפעם הראשונה השכיחות היחסית המצטברת (באחוזים) גדולה או שווה ל- $p\%$ .

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

בסניף בנק 250 לקוחות. ספרו לכל לקוח את מספר תוכניות החיסכון שלו:

| שכיחות<br>יחסית<br>מצטברת | שכיחות<br>מצטברת | $F(x)$ | # תוכניות<br>החיסכון |
|---------------------------|------------------|--------|----------------------|
|                           |                  | 100    | 0                    |
|                           |                  | 75     | 1                    |
|                           |                  | 25     | 2                    |
|                           |                  | 25     | 3                    |
|                           |                  | 25     | 4                    |

א. מצאו את האחוזון ה-25.

ב. מצאו את הערך ש-20% מהמקרים מעליו.

## שאלות:

(1) להלן התפלגות של משתנה כלשהו:

| $F(x)$ | $X$ |
|--------|-----|
| 10     | 0   |
| 40     | 1   |
| 30     | 2   |
| 15     | 3   |
| 5      | 4   |

מצאו להתפלגות את:

- א. האחוזון ה-60.
- ב. המאון ה-40.
- ג. העשירון העליון.
- ד. הטווח בין הרבעונים.

(2) להלן התפלגות מספר המכוניות למשפחה בישוב "הגורן":

| מספר מכוניות למשפחה | 1  | 2   | 3   | 4   | 5  |
|---------------------|----|-----|-----|-----|----|
| שכיחות              | 65 | 150 | 220 | 140 | 55 |

חשבו את:

- א. העשירון התחתון.
- ב. האחוזון ה-30.
- ג. הערך ש-20% מהתצפית גדולות ממנו.
- ד. רבעון עליון.

## תשובות סופיות:

- (1) א. 2. ב. 1. ג. 3. ד. 1.
- (2) א. 1. ב. 2. ג. 4. ד. 4.



# סטטיסטיקה

פרק 11 - סטטיסטיקה תיאורית - טרנספורמציה לינארית

תוכן העניינים

1. כללי ..... 40

## סטטיסטיקה תיאורית – טרנספורמציה לינארית:

### רקע:

מצב שבו מבצעים שינוי מסוג הוספה (או החסרה) של קבוע, והכפלה (או חילוק) של קבוע, לכל התצפיות:  $y = a \cdot x + b$ . כך יושפעו המדדים השונים:

$$\begin{aligned} MR_y &= a \cdot MR + b \\ MO_y &= a \cdot MO + b \\ \bar{y} &= a \cdot \bar{x} + b \\ Md_y &= a \cdot Md_x + b \end{aligned} \quad \text{מדדי המרכז:}$$

$$\begin{aligned} R_y &= |a| R_x \\ S_y &= |a| S_x \\ S_y^2 &= a^2 S_x^2 \end{aligned} \quad \text{מדדי הפיזור:}$$

$$\begin{aligned} Y_p &= a \cdot X_p + b \\ Z_Y &= \frac{a}{|a|} Z_x \end{aligned} \quad \text{מדדי המיקום היחסי:}$$

### שלבי העבודה:

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

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

השכר הממוצע של עובדים הינו 9000 ₪ וטווח 6000 ₪. חשבו את המדדים הללו לאחר שהעלו את כל המשכורות ב-10% ואחר כך קנסו אותם ב-100 ₪.

## שאלות:

- (1) עבור סדרת נתונים התקבל:  $\bar{x} = 80, S = 15, MO = 70$ . הוחלט להכפיל את כל התצפיות ב-4 ולהחסיר מהתוצאה 5. חשבו את המדדים הללו לאחר השינוי.
- (2) בחברה מסוימת השכר הממוצע הוא 40 ₪ לשעה עם סטיית תקן של 5 ₪ לשעה. הוחלט להעלות את כל המשכורות ב-10%, אך זה לא סיפק את העובדים ולכן הם קיבלו לאחר מכן תוספת של 2 ₪ לשעה. מה הממוצע ומהי השונות של השכר לשעה לאחר כל השינויים.
- (3) במבחן מסוים הציון החציוני היה 73, טווח הציונים היה 40 נקודות והעשירון העליון היה הציון 87. כיוון שהציונים בבחינה היו נמוכים, המורה החליט לתת פקטור של 4 נק' לכל התלמידים. חשבו את המדדים לאחר הפקטור.
- (4) דגמו מקו ייצור 50 קופסאות של גפרורים. בדקו בכל קופסא בה יש 40 גפרורים את כמות הגפרורים הפגומים. התקבל שבממוצע יש 3 גפרורים פגומים בקופסא, עם סטיית תקן של 1.5 גפרורים. מה יהיה הממוצע ומה תהיה סטיית התקן של מספר התקינים בקופסא?
- (5) חברת בזק הציעה את ההצעה הבאה: שלושים שקלים דמי מנוי חודשיים קבועים וכן 10 אגורות לכל דקה של שיחה יוצאת. אדם בדק במשך שנה את דקות השיחות היוצאות שלו, וקיבל שבממוצע חודשי יש לו 600 דקות שיחות יוצאות עם שונות של 2500 דקות רבועות, כמו כן בחודש ינואר ציון התקן היה 2. חשבו את המדדים הללו עבור חשבון הטלפון החודשי של אותו אדם בשקלים אם היה משתמש בחבילה המוצעת לו על ידי בזק.
- (6) הוכיחו שאם כל התצפיות בהתפלגות עברו טרנספורמציה לינארית:  $Y_i = a \cdot X_i + b$ , אזי הממוצע והשונות של כלל התצפיות לאחר הטרנספורמציה יהיו בהתאמה:  $\bar{y} = a \cdot \bar{x} + b, S_y^2 = a^2 S_x^2$ .

### תשובות סופיות:

- (1) ממוצע: 315, סטיית תקן: 60, שכיח: 275.
- (2) ממוצע: 46, שונות: 30.25.
- (3) טווח: 40, חציון: 77, עשירון עליון: 91.
- (4) ממוצע: 37, סטיית תקן: 1.5.
- (5) ממוצע: 90, שונות: 25, ציון תקן: 2.
- (6)  $a^2 \cdot S_x^2$

## סטטיסטיקה

פרק 12 - המשתנה המקרי הרציף- התפלגויות כלליות (שימוש באינטגרלים)

תוכן העניינים

1. כללי ..... 43

## המשתנה המקרי הרציף – התפלגויות כלליות (שימוש באינטגרלים)

### רקע:

בפרק זה נעסוק בהתפלגות של משתנים מקריים רציפים (גובה אדם אקראי, זמן תגובה וכו'). משתנים רציפים הם משתנים שבתחום מסוים מקבלים רצף אינסופי של ערכים אפשריים בניגוד למשתנים בדידים. נתאר את המשתנה המקרי הרציף על ידי פונקציה הנקראת פונקציית צפיפות. באופן כללי נסמן פונקציית צפיפות של משתנה רציף כלשהו ב-  $f(x)$ . השטח שמתחת לפונקציית הצפיפות נותן את ההסתברות. פונקציית צפיפות חייבת להיות לא-שלילית והשטח הכולל שמתחת לפונקציה יהיה תמיד 1.

### הגדרות יסודיות:

יהא משתנה רציף  $X$  בעל פונקציית צפיפות  $f(x)$ .

### פונקציית ההתפלגות מצטברת:

פונקציית ההתפלגות המצטברת מוגדרת באופן הבא:  $F(t) = p(X \leq t) = \int_{-\infty}^t f(x) dx$ .  
כמו כן מתקיים:  $p(X > t) = 1 - F(t)$  ו-  $p(a < X < b) = F(b) - F(a)$ .

### תוחלת ושונות של משתנה רציף:

תוחלת של משתנה רציף תחושב באופן הבא:  $E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} X \cdot f(x) dx = \mu$ .  
שונות של משתנה רציף תחושב באופן הבא:  $V(X) = \int_{-\infty}^{\infty} X^2 \cdot f(x) dx - \mu^2 = \sigma^2$ .

תוחלת של פונקציה של  $X$  :

תוחלת של פונקציית משתנה רציף  $X$ , המסומנת :  $g(x)$ , תחושב באופן

$$\text{הבא : } E(g(x)) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) f(x) dx$$

### אחוזונים :

האחוזון ה- $p$  הוא ערך (נסמן אותו :  $x_p$ ), שהסיכוי ליפול מתחתיו הוא  $p$ .

$$\text{כלומר : } p(X \leq x_p) = p$$

### ריענון מתמטי :

#### נוסחאות לחישוב שטחים

$$\text{שטח משולש : גובה } (h) \text{ כפול הבסיס } (a) \text{ חלקי } 2 : S_{\text{triangle}} = \frac{h \cdot a}{2}$$

$$\text{שטח מלבן : אורך } (a) \text{ כפול רוחב } (b) : S_{\text{rectangle}} = a \cdot b$$

### משוואת קו ישר :

משוואת ישר מפורשת תסומן :  $y = mx + n$ , כאשר  $m$  הוא שיפוע הישר ו- $n$  היא נקודת החיתוך של הישר עם ציר ה- $y$ .

$$\text{שיפוע ישר העובר דרך שתי נקודות : } (x_1, y_1), (x_2, y_2) \text{ הוא : } m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

משוואת ישר שעובר דרך נקודה ספציפית  $(x_1, y_1)$  ושיפועו הוא  $m$ , תחושב באופן

$$\text{הבא : } y - y_1 = m(x - x_1)$$

## אינטגרלים מידיים:

$$\int a dx = ax + c$$

$$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + c \quad n \neq -1$$

$$\int \frac{1}{x} dx = \ln |x| + c$$

$$\int e^x dx = e^x + c$$

$$\int k^x dx = \frac{k^x}{\ln k} + c$$

$$\int \cos x dx = \sin x + c$$

$$\int \sin x dx = -\cos x + c$$

$$\int \tan x dx = -\ln |\cos x| + c$$

$$\int \cot x dx = \ln |\sin x| + c$$

$$\int \frac{1}{\cos^2 x} dx = \tan x + c$$

$$\int \frac{1}{\sin^2 x} dx = -\cot x + c$$

$$\int \frac{1}{\cos x} dx = \ln \left| \frac{1}{\cos x} + \tan x \right| + c$$

$$\int \frac{1}{x^2 + a^2} dx = \frac{1}{a} \arctan \left( \frac{x}{a} \right) + c$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{a^2 - x^2}} dx = \arcsin \left( \frac{x}{a} \right) + c$$

$$\int \frac{f'}{f} dx = \ln |f| + c$$

$$\int e^f \cdot f' dx = e^f + c$$

$$\int \sin f \cdot f' dx = -\cos(f) + c$$

$$\int \sqrt{f} \cdot f' dx = \frac{2}{3} f^{\frac{3}{2}} + c$$

$$\int (ax+b)^n dx = \frac{1}{a} \frac{(ax+b)^{n+1}}{n+1} + c \quad n \neq -1$$

$$\int \frac{1}{ax+b} dx = \frac{1}{a} \ln |ax+b| + c$$

$$\int e^{ax+b} dx = \frac{1}{a} e^{ax+b} + c$$

$$\int k^{ax+b} dx = \frac{1}{a} \frac{k^{ax+b}}{\ln k} + c$$

$$\int \cos(ax+b) dx = \frac{1}{a} \sin(ax+b) + c$$

$$\int \sin(ax+b) dx = -\frac{1}{a} \cos(ax+b) + c$$

$$\int \tan(ax+b) dx = -\frac{1}{a} \ln |\cos(ax+b)| + c$$

$$\int \cot(ax+b) dx = \frac{1}{a} \ln |\sin(ax+b)| + c$$

$$\int \frac{1}{\cos^2(ax+b)} dx = \frac{1}{a} \tan(ax+b) + c$$

$$\int \frac{1}{\sin^2(ax+b)} dx = -\frac{1}{a} \cot(ax+b) + c$$

$$\int \frac{1}{\sin x} dx = \ln \left| \frac{1}{\sin x} - \cot x \right| + c$$

$$\int \frac{1}{x^2 - a^2} dx = \frac{1}{2a} \ln \left| \frac{x-a}{x+a} \right| + c$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} dx = \ln |x + \sqrt{x^2 \pm a^2}| + c$$

$$\int f \cdot f' dx = \frac{1}{2} f^2 + c$$

$$\int \cos f \cdot f' dx = \sin(f) + c$$

$$\int \frac{f'}{\sqrt{f}} dx = 2\sqrt{f} + c$$

$$\int u \cdot v' dx = u \cdot v - \int u' \cdot v dx$$



## שאלות:

(1)  $X$  הינו משתנה רציף עם פונקציית צפיפות כמוצג בשרטוט:

א. מצאו את ערכו של  $c$ .

ב. בנו את פונקציית ההתפלגות המצטברת.

ג. חשבו את ההסתברויות הבאות:

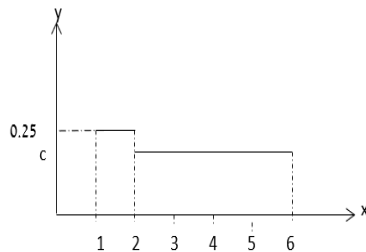
i.  $P(x < 4)$

ii.  $P(x > 1.5)$

iii.  $P(1.5 < x < 5)$

iv.  $P(5 < x < 10)$

v. מצאו את החציון של המשתנה.



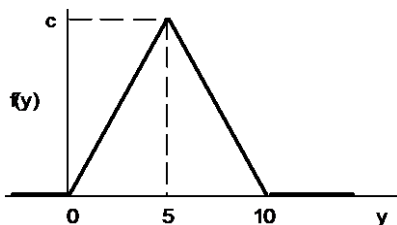
(2) נתון משתנה מקרי רציף  $A$  שפונקציית הצפיפות שלו היא:  $f(x) = \begin{cases} cx & 0 \leq x \leq b \\ 0 & \text{else} \end{cases}$

וידוע ש-  $P(0 < X < 1) = \frac{1}{4}$

א. מצאו במפורש את פונקציית הצפיפות של  $X$ .

ב. מצאו את החציון של  $X$ .

ג. מה הסיכוי ש- $X$  קטן מ-0.5?



(3) נתונה פונקציית צפיפות של משתנה מקרי  $Y$ :

א. מצאו את  $c$ .

ב. מצאו את פונקציית ההתפלגות המצטברת של  $Y$ .

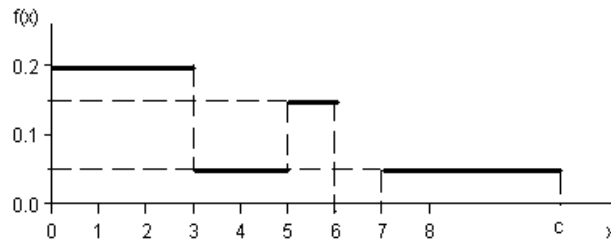
ג. חשבו את ההסתברויות הבאות:

$P(Y > 4)$ ,  $P(7.5 \leq Y \leq 15.5)$ ,  $P(Y \leq 3.0)$ ,  $P(Y = 7.0)$

ד. מצאו את העשירון התחתון:  $y_{0.1}$ , הרבעון התחתון:  $y_{0.25}$  והחציון של  $Y$ .

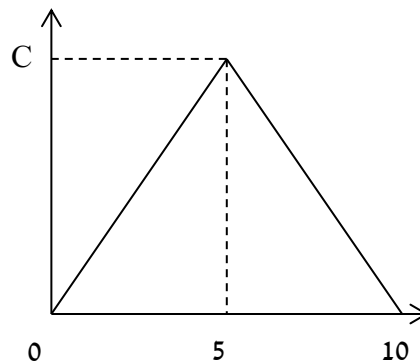
הסיקו מהו העשירון עליון:  $y_{0.9}$ .

(4) נתונה פונקציית צפיפות של משתנה מקרי  $X$  :



- א. מצאו ערך  $c$  שעבורו תתקבל פונקציית צפיפות.
- ב. מצאו את פונקציית ההתפלגות המצטברת.
- ג. חשבו את ההסתברויות הבאות :  
 $P(1.0 < X \leq 5.0)$ ,  $P(X \geq -2.0)$ ,  $P(X \geq 4)$ .

(5) נתונה פונקציית הצפיפות הבאה :



- א. מה ערכו של  $c$ ?
- ב. מצאו אינטרוול (תחום) סימטרי סביב הערך 5, שהסיכוי ליפול בו הינו 0.5.

(6) נתונה פונקציית צפיפות :  $f(X) = \frac{2}{x}$ , המוגדרת מ-1 עד  $K$ .

- א. מצאו את ערכו של  $K$ .
- ב. בנו את פונקציית ההתפלגות המצטברת.
- ג. חשבו את הסיכוי ש- $X$  לפחות 1.5.
- ד. מצאו את העשירון התחתון של ההתפלגות.
- ה. מה התוחלת של  $X$ ?

(7) נתונה פונקציית צפיפות הבאה:  $f(X) = AX^2(10 - X)$ ,  $0 < X < 10$ .

A הינו קבוע חיובי.

א. מצאו את A.

ב. חשב את:  $P(x > 5 | x > 2)$ .

ג. מה התוחלת ומהי השונות של X?

(8) פונקציית הצפיפות של משתנה מקרי רציף X:

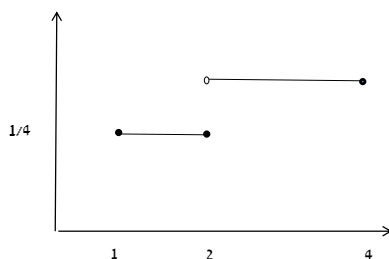
$$f(x) = 0.5 \cdot e^{2x}, \quad -\infty \leq x \leq \ln(c)$$

א. מצאו את ערכו של c.

ב. מצאו את פונקציית ההתפלגות המצטברת של ההתפלגות.

ג. חשב:  $P(X > 0)$ .

ד. מהו הרבעון העליון של ההתפלגות?



(9) נתונה פונקציית הצפיפות הבאה של משתנה מקרי X:

א. רשמו את נוסחת פונקציית הצפיפות.

ב. בנו את פונקציית ההתפלגות המצטברת.

ג. מצאו את החציון של ההתפלגות.

ד. חשבו את התוחלת והשונות של המשתנה.

ה. חשבו את:  $E(X^3)$ .

(10) במפעל מייצרים מוצר A. זמן תהליך הייצור של המוצר בשעות הוא בעל

$$f(x) = 6x(1-x), \quad 0 \leq x \leq 1$$

א. מה ההסתברות שזמן הייצור של מוצר A אקראי יהיה קטן מ-20 דקות?

ב. מה ההסתברות שזמן הייצור של מוצר A אקראי יהיה בדיוק חצי שעה?

ג. נבחרו חמישה מוצרים אקראיים מסוג A. מה תוחלת מספר המוצרים

שזמן הייצור שלהם יהיה גדול מ-20 דקות?

(11) זמן ההמתנה בדקות של לקוח בתור למכולת השכונתית מתפלג עם פונקציית

$$F(t) = 1 - e^{-0.2t}$$

א. שרטטו את פונקציית ההתפלגות המצטברת.

ב. מה הסיכוי שזמן ההמתנה יהיה לפחות רבע שעה?

ג. אם חיכיתי בתור כבר 10 דקות מה ההסתברות שאאלץ לחכות בסך הכול

פחות מרבע שעה?

ד. מהו הזמן ש-90% מהלקוחות מחכים מתחתיו?

**(12)** פונקציית הצפיפות של משתנה מקרי נתונה על ידי הנוסחה הבאה :

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < 4 \\ bx - 4b & 4 \leq x \leq 5 \\ b & 5 < x \leq 6 \\ 0 & x > 6 \end{cases}$$

- א. מצאו את  $b$ .
- ב. חשבו את התוחלת של  $X$ .
- ג.  $y$  הוא משתנה אינדיקטור המקבל את הערך 1 אם  $X$  קטן מ-5. מהי השונות של  $y$ ?

**(13)** נתונה פונקציית הצפיפות הבאה :

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x^2}{4} & 1 \leq x \leq 2 \\ kx & 2 < x \leq 3 \end{cases}$$

- א. מצאו את ערכו של  $k$ .
- ב. מצאו את פונקציית ההתפלגות המצטברת.
- ג. חשבו  $P(x > 2.5)$ .

**(14)** להלן משתנה מקרי בעל פונקציית צפיפות הבאה :  $f(x) = \frac{1}{b-a}$ ,  $a \leq x \leq b$

- א. מצאו את פונקציית ההתפלגות המצטברת.
- ב. חשב את התוחלת והשונות של ההתפלגות.
- ג. מצאו את התוחלת של  $\frac{1}{X}$ .

## תשובות סופיות:

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < 1 \\ (t-1)0.25 & 1 \leq t \leq 2 \\ 0.25 + (t-2) \cdot \frac{3}{16} & 2 < t \leq 6 \\ 1 & t > 6 \end{cases} \quad \text{ב.} \quad \text{א. } \frac{3}{16} \quad \text{ג. } \frac{5}{8} \quad \text{ד. } \frac{1}{3}$$

$$\text{א. } b=2, c=0.5 \quad \text{ב. } 1.41 \quad \text{ג. } 0.0625 \quad \text{ד. } \frac{1}{3}$$

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 0.02t^2 & 0 \leq t \leq 5 \\ 1 - 0.02(t-10)^2 & 5 < t \leq 10 \\ 1 & t > 10 \end{cases} \quad \text{ב.} \quad \text{א. } 0.2 \quad \text{ג. } 0, 0.18, 0.125, 0.32$$

ד. עשירון תחתון: 2.24, רבעון תחתון: 3.54, החציון: 5, עשירון עליון: 7.76.

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 0.2t & 0 < t \leq 3 \\ 0.6 + (t-3) \cdot 0.05 & 3 < t \leq 5 \\ 0.7 + (t-5) \cdot 0.15 & 5 < t \leq 6 \\ 0.85 & 6 < t \leq 7 \\ 0.85 + (t-7) \cdot 0.05 & 7 < t \leq 10 \\ 1 & t > 10 \end{cases} \quad \text{ב.} \quad \text{א. } 0.10 \quad \text{ג. } 0.5$$

$$\text{א. } c=0.2 \quad \text{ב. } 5 \pm 1.46$$

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < 1 \\ 2 \cdot \ln t & 1 \leq t \leq e^{\frac{1}{2}} \\ 1 & t > e^{\frac{1}{2}} \end{cases} \quad \text{ב.} \quad \text{א. } e^{\frac{1}{2}} \quad \text{ג. } 0.189$$

$$\text{ד. } 1.051 \quad \text{ה. } 1.297$$

$$\text{א. } 0.0012 \quad \text{ב. } 0.7067 \quad \text{ג. תוחלת: 6, שונות: 4}$$

$$(8) \quad \text{א. 2.} \quad \text{ב.} \quad F(t) = \begin{cases} \frac{1}{4}e^{2t} & t \leq \ln(2) \\ 1 & t > \ln(2) \end{cases} \quad \text{ג. 0.75} \quad \text{ד. 0.549}$$

$$(9) \quad \text{א. 2.} \quad \text{ב.} \quad F(t) = \begin{cases} 0 & t < 1 \\ (t-1)0.25 & 1 \leq t \leq 2 \\ 0.25 + (t-2) \cdot \frac{3}{8} & 2 < t \leq 4 \\ 1 & t > 4 \end{cases} \quad \text{א. 2.} \quad \text{ב.} \quad F(t) = \begin{cases} \frac{1}{4} & 1 \leq x \leq 2 \\ \frac{3}{8} & 2 < x \leq 4 \\ 0 & \text{אחרת} \end{cases}$$

$$\text{ג. } 2\frac{2}{3} \quad \text{ד. תוחלת: } 2.625, \text{ שונות: } 0.6927 \quad \text{ה. } 23.4375$$

$$(10) \quad \text{א. } \frac{7}{27} \quad \text{ב. 0} \quad \text{ג. } 3.704$$

$$(11) \quad \text{א. עיין סרטוט בוידאו} \quad \text{ב. } 0.0498 \quad \text{ג. } 0.6321 \quad \text{ד. } 11.51$$

$$(12) \quad \text{א. } \frac{2}{3} \quad \text{ב. } 5.22 \quad \text{ג. } \frac{2}{9}$$

$$(13) \quad \text{א. } \frac{1}{6} \quad \text{ב.} \quad F(t) = \begin{cases} 0 & t < 1 \\ \frac{t^3-1}{12} & 1 \leq t \leq 2 \\ \frac{7}{12} + \frac{t^2-4}{12} & 2 < t \leq 3 \\ 1 & t > 3 \end{cases} \quad \text{ג. } 0.229$$

$$(14) \quad \text{א.} \quad F(t) = \begin{cases} 0 & t < a \\ \frac{(t-b)}{b-a} & a \leq t \leq b \\ 1 & t > b \end{cases} \quad \text{ב. תוחלת: } E(X) = \frac{a+b}{2}, \text{ שונות: } V(X) = \frac{(b-a)^2}{12}$$

$$\text{ג. } \frac{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}{b-a}$$

# סטטיסטיקה

פרק 13 - התפלגויות רציפות מיוחדות- התפלגות מעריכית

תוכן העניינים

1. כללי ..... 52

## התפלגויות רציפות מיוחדות – התפלגות מעריכית:

### רקע:

התפלגות זו היא התפלגות רציפה המאפיינת את הזמן עד להתרחשות מאורע מסוים.  $\lambda$  - הוא ממוצע מספר האירועים המתרחשים ביחידת זמן (אותו פרמטר מההתפלגות הפואסונית):  $X \sim \exp(\lambda)$  כאשר  $\lambda > 0$ .

התפלגות זו צריכה להיות נתונה בתרגיל או שיאמר שמספר האירועים ביחידת זמן מתפלג פואסונית ואז הזמן עד להתרחשות המאורע הבא מתפלג מעריכית.

### פונקציית הצפיפות של ההתפלגות:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad \text{לכל } x \geq 0.$$

$$F(t) = p(x \leq t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad \text{פונקציית ההתפלגות המצטברת:}$$

$$E(x) = \frac{1}{\lambda} \quad \text{התוחלת:}$$

$$V(x) = \frac{1}{\lambda^2} \quad \text{השונות:}$$

$$P(X > a+b \mid X > a) = P(X > b) \quad \text{להתפלגות זו יש תכונת חוסר הזיכרון:}$$

דוגמה (פתרון בהקלטה):

אורך חיי סוללה מתפלג מעריכית עם תוחלת של 8 שעות.

א. מה ההסתברות שסוללה תחזיק מעמד פחות מ-9 שעות?

ב. מה סטיית התקן של אורך חיי הסוללה?

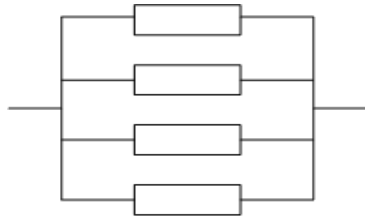
ג. אם סוללה כבר חייה מעל שעתיים, מה הסיכוי שהיא תחייה מעל 7 שעות בסך הכול?



## שאלות:

- (1) הזמן שלוקח במערכת עד שתקלה מתרחשת מתפלג מעריכית עם תוחלת של 0.5 שעה.
- מה ההסתברות שהתקלה הבאה תתרחש תוך יותר מ-0.5 שעה?
  - מה ההסתברות שהתקלה הבאה תתרחש תוך פחות משעה?
  - מצא את הזמן החציוני להתרחשות תקלה במערכת.
- (2) הזמן שעובר בכביש מסוים עד להתרחשות תאונה מתפלג מעריכית עם תוחלת של 24 שעות.
- מהי סטיית התקן של הזמן עד להתרחשות תאונה?
  - מה ההסתברות שהתאונה הבאה תתרחש תוך פחות מיממה?
  - מהי ההסתברות שהתאונה הבאה תתרחש תוך לפחות יומיים?
- (3) משך הזמן X (בדקות) שסטודנטים עובדים רצוף על מחשב מתפלג מעריכית עם תוחלת של 30 דקות.
- מה הסיכוי שעבודת סטודנט על המחשב תארך פחות מרבע שעה?
  - מה הסיכוי שעבודת סטודנט על המחשב תארך בין רבע שעה לחצי שעה?
  - אם סטודנט עובד על המחשב כבר יותר מ-10 דקות, מה ההסתברות שמשך כל עבודתו יעלה על 30 דקות?
  - מהו הזמן שבסיכוי של 90% הסטודנט יעבוד פחות ממנו?
- (4) בממוצע מגיעים לחדר מיון 4 חולים בשעה בזרם פואסוני.
- שולה המזכירה הגיעה לחדר המיון. מה ההסתברות שזמן ההמתנה שלה לחולה הבא יהיה יותר מ-20 דקות?
  - אם שולה המתינה יותר מרבע שעה לחולה הבא. מה ההסתברות שתמתין בסך הכל יותר מחצי שעה?
  - מה ההסתברות שבין החולה הראשון לשני יש להמתין יותר מרבע שעה ובין החולה שני לשלישי יש להמתין פחות מרבע שעה?

(5) מערכת חשמלית כוללת 4 רכיבים אלקטרוניים זהים הפועלים במקביל כמתואר בשרטוט:



על מנת שהמערכת תפעל בצורה תקינה נדרש שלפחות אחד מהמרכיבים יהיה תקין. אורך החיים של כל רכיב מתפלג מעריכית עם ממוצע של 100 שעות.

א. מה ההסתברות שהמערכת תפעל בצורה תקינה במשך 100 שעות לפחות?

ב. מעוניינים להוסיף במקביל עוד רכיב למערכת. עלות הוספת רכיב היא  $K$  ₪.

כמו כן אם המערכת עבדה פחות מ-100 שעות נגרם הפסד של  $A$  ₪.

מה התנאי שבו יהיה כדאי להוסיף את הרכיב למערכת?

### תשובות סופיות:

- |     |             |                  |          |          |
|-----|-------------|------------------|----------|----------|
| (1) | א. 0.368    | ב. 0.865         | ג. 0.347 |          |
| (2) | א. 24 שעות. | ב. 0.632         | ג. 0.135 |          |
| (3) | א. 0.393    | ב. 0.239         | ג. 0.513 | ד. 69.08 |
| (4) | א. 0.264    | ב. 0.368         | ג. 0.233 |          |
| (5) | א. 0.8403   | ב. $K < 0.0588A$ |          |          |

# סטטיסטיקה

פרק 14 - התפלגויות רציפות מיוחדות-התפלגות אחידה

תוכן העניינים

1. כללי ..... 55

## התפלגויות רציפות מיוחדות – התפלגות אחידה:

### רקע:

זו התפלגות שפונקציית הצפיפות שלה קבועה בין  $a$  לבין  $b$ .

$$X \sim U(a, b)$$

### פונקציית הצפיפות:

$$f(x) = \frac{1}{b-a}$$

$$a \leq x \leq b$$

### פונקציית ההתפלגות המצטברת:

$$F(t) = \frac{t-a}{b-a}$$

### התוחלת :

$$E(X) = \frac{a+b}{2}$$

### השונות:

$$V(x) = \frac{(b-a)^2}{12}$$

דוגמה (פתרון בהקלטה):

$X$  - משתנה מקרי רציף המתפלג באופן אחיד בין 20 ל-40.

מה הסיכוי ש- $X$  קטן מ-25?

מה התוחלת והשונות של  $X$ ?

$$a = 20, b = 40$$

$$X \sim U(20, 40)$$

$$א. P(x < 25) = f(25) = \frac{25 - 20}{40 - 20} = 0.25$$

$$E(x) = \frac{20 + 40}{2} = 30$$

$$ב. V(x) = \frac{(40 - 20)^2}{12} = 33\frac{1}{3}$$

## שאלות:

- (1) משך (בדקות) הפסקה בשיעור,  $X$ , מתפלג:  $U(13,16)$ .
- מהי התוחלת ומהי סטיית התקן של משך ההפסקה?
  - מהי ההסתברות שהפסקה תמשך יותר מ-15 דקות?
  - מהי ההסתברות שמשך ההפסקה יסטה מהתוחלת בפחות מדקה?
- (2) רכבת מגיעה לתחנה בשעות היום כל עשר דקות. אדם הגיע לתחנה בזמן אקראי.
- הסבר כיצד מתפלג זמן ההמתנה לרכבת?
  - אם זמן ההמתנה לרכבת ארך יותר מ-5 דקות, מהי ההסתברות שבסך הכל האדם ימתין לרכבת פחות מ-8 דקות?
  - מה תוחלת מספר הימים שיעברו עד הפעם הראשונה שהאדם ימתין לרכבת יותר מ-9 דקות?
- (3) מכונה אוטומטית ממלאת גביעי גלידה. משקל הגלידה לגביע מתפלג אחיד בין 100-110 גרם (המשקל הוא של גלידה ללא הגביע).
- מה ההסתברות שמשקל הגלידה בגביע יהיה מעל 108 גרם?
  - נתון שהגלידה בגביע עם משקל נמוך מ-107 גרם. מה ההסתברות שמשקל הגלידה יהיה מעל 105 גרם?
  - מה העשירון העליון של משקל הגלידה בגביע?
  - עלות גביע גלידה היא 0.5 שקל. כל גרם של גלידה עולה 0.22 אגורות. מהי התוחלת ומהי סטיית התקן של עלות הגביע ביחד עם הגלידה?

## תשובות סופיות:

- (1) א. תוחלת: 14.5, שונות: 0.866. ב.  $\frac{1}{3}$ . ג.  $\frac{2}{3}$ .
- (2) א.  $X \sim U(0,10)$ . ב. 0.6. ג. 10.
- (3) א. 0.2. ב.  $\frac{2}{7}$ . ג. 109.
- ד. תוחלת: 73.1 אגורות, סטיית תקן: 0.635 אגורות.

# סטטיסטיקה

פרק 15 - התפלגויות רציפות מיוחדות - התפלגות נורמלית

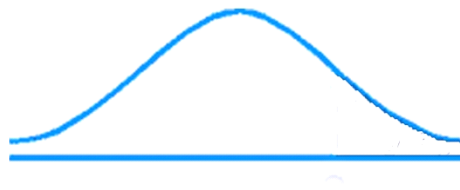
תוכן העניינים

1. כללי ..... 58

## התפלגויות רציפות מיוחדות – התפלגות נורמלית:

### רקע:

התפלגות נורמלית הינה התפלגות של משתנה רציף. ישנם משתנים רציפים מסוימים שנהוג להתייחס אליהם כנורמליים כגון: זמן ייצור, משקל תינוק ביום היוולדו ועוד. פונקציית הצפיפות של ההתפלגות הנורמלית נראית כמו פעמון:



לעקומה זו קוראים גם עקומת גאוס ועקומה אחת נבדלת מהשנייה באמצעות הממוצע וסטיית התקן שלה.

אלה הם הפרמטרים שמאפיינים את ההתפלגות:  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ .

$$\text{נוסחת פונקציית הצפיפות: } f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

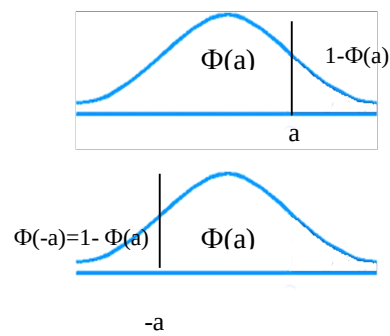
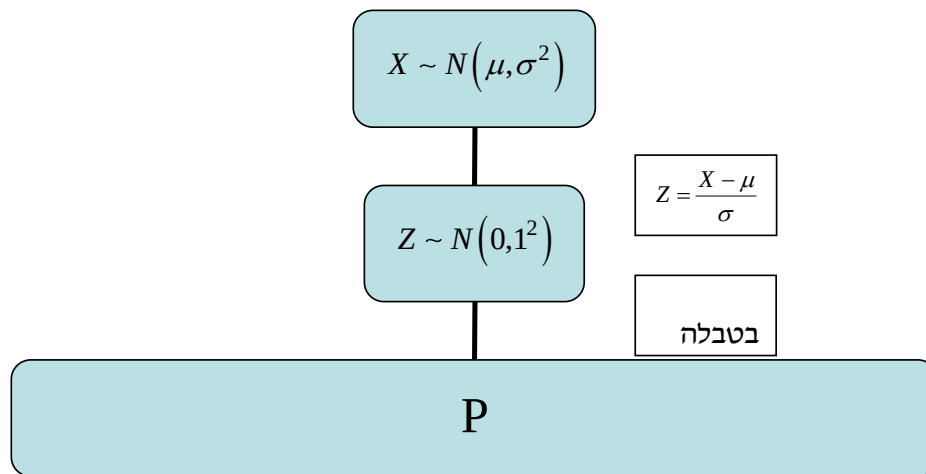
כדי לחשב הסתברויות בהתפלגות נורמלית יש לחשב את השטחים הרלוונטיים שמתחת לעקומה. כדי לחשב שטחים אלה נמיר כל התפלגות נורמלית להתפלגות נורמלית סטנדרטית על ידי תהליך הנקרא תקנון. התפלגות נורמלית סטנדרטית היא התפלגות נורמלית שהממוצע שלה הוא אפס וסטיית התקן היא אחת, והיא תסומן באות  $Z$ :  $Z \sim N(0, 1^2)$ .

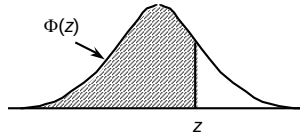
$$\text{תהליך התקנון מבוצע על ידי הנוסחה הבאה: } Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

אחרי תקנון מקבלים ערך הנקרא ציון תקן. ציון התקן משמעו בכמה סטיות תקן הערך סוטה מהממוצע.

לאחר חישוב ציון התקן של ערך מסוים נעזרים בטבלה של ההתפלגות הנורמלית הסטנדרטית לחישוב השטח הרצוי, ובאופן כללי נתאר את הסכמה הבאה:





**טבלת ההתפלגות המצטברת הנורמלית סטנדרטית – ערכי  $\Phi(z)$ :**


| z   | .00   | .01   | .02   | .03   | .04   | .05   | .06   | .07   | .08   | .09   |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.0 | .5000 | .5040 | .5080 | .5120 | .5160 | .5199 | .5239 | .5279 | .5319 | .5359 |
| 0.1 | .5398 | .5438 | .5478 | .5517 | .5557 | .5596 | .5636 | .5675 | .5714 | .5753 |
| 0.2 | .5793 | .5832 | .5871 | .5910 | .5948 | .5987 | .6026 | .6064 | .6103 | .6141 |
| 0.3 | .6179 | .6217 | .6255 | .6293 | .6331 | .6368 | .6406 | .6443 | .6480 | .6517 |
| 0.4 | .6554 | .6591 | .6628 | .6664 | .6700 | .6736 | .6772 | .6808 | .6844 | .6879 |
| 0.5 | .6915 | .6950 | .6985 | .7019 | .7054 | .7088 | .7123 | .7157 | .7190 | .7224 |
| 0.6 | .7257 | .7291 | .7324 | .7357 | .7389 | .7422 | .7454 | .7486 | .7517 | .7549 |
| 0.7 | .7580 | .7611 | .7642 | .7673 | .7704 | .7734 | .7764 | .7794 | .7823 | .7852 |
| 0.8 | .7881 | .7910 | .7939 | .7967 | .7995 | .8023 | .8051 | .8078 | .8106 | .8133 |
| 0.9 | .8159 | .8186 | .8212 | .8238 | .8264 | .8289 | .8315 | .8340 | .8365 | .8389 |
| 1.0 | .8413 | .8438 | .8461 | .8485 | .8508 | .8531 | .8554 | .8577 | .8599 | .8621 |
| 1.1 | .8643 | .8665 | .8686 | .8708 | .8729 | .8749 | .8770 | .8790 | .8810 | .8830 |
| 1.2 | .8849 | .8869 | .8888 | .8907 | .8925 | .8944 | .8962 | .8980 | .8997 | .9015 |
| 1.3 | .9032 | .9049 | .9066 | .9082 | .9099 | .9115 | .9131 | .9147 | .9162 | .9177 |
| 1.4 | .9192 | .9207 | .9222 | .9236 | .9251 | .9265 | .9279 | .9292 | .9306 | .9319 |
| 1.5 | .9332 | .9345 | .9357 | .9370 | .9382 | .9394 | .9406 | .9418 | .9429 | .9441 |
| 1.6 | .9452 | .9463 | .9474 | .9484 | .9495 | .9505 | .9515 | .9525 | .9535 | .9545 |
| 1.7 | .9554 | .9564 | .9573 | .9582 | .9591 | .9599 | .9608 | .9616 | .9625 | .9633 |
| 1.8 | .9641 | .9649 | .9656 | .9664 | .9671 | .9678 | .9686 | .9693 | .9699 | .9706 |
| 1.9 | .9713 | .9719 | .9726 | .9732 | .9738 | .9744 | .9750 | .9756 | .9761 | .9767 |
| 2.0 | .9772 | .9778 | .9783 | .9788 | .9793 | .9798 | .9803 | .9808 | .9812 | .9817 |
| 2.1 | .9821 | .9826 | .9830 | .9834 | .9838 | .9842 | .9846 | .9850 | .9854 | .9857 |
| 2.2 | .9861 | .9864 | .9868 | .9871 | .9875 | .9878 | .9881 | .9884 | .9887 | .9890 |
| 2.3 | .9893 | .9896 | .9898 | .9901 | .9904 | .9906 | .9909 | .9911 | .9913 | .9916 |
| 2.4 | .9918 | .9920 | .9922 | .9925 | .9927 | .9929 | .9931 | .9932 | .9934 | .9936 |
| 2.5 | .9938 | .9940 | .9941 | .9943 | .9945 | .9946 | .9948 | .9949 | .9951 | .9952 |
| 2.6 | .9953 | .9955 | .9956 | .9957 | .9959 | .9960 | .9961 | .9962 | .9963 | .9964 |
| 2.7 | .9965 | .9966 | .9967 | .9968 | .9969 | .9970 | .9971 | .9972 | .9973 | .9974 |
| 2.8 | .9974 | .9975 | .9976 | .9977 | .9977 | .9978 | .9979 | .9979 | .9980 | .9981 |
| 2.9 | .9981 | .9982 | .9982 | .9983 | .9984 | .9984 | .9985 | .9985 | .9986 | .9986 |
| 3.0 | .9987 | .9987 | .9987 | .9988 | .9988 | .9989 | .9989 | .9989 | .9990 | .9990 |
| 3.1 | .9990 | .9991 | .9991 | .9991 | .9992 | .9992 | .9992 | .9992 | .9993 | .9993 |
| 3.2 | .9993 | .9993 | .9994 | .9994 | .9994 | .9994 | .9994 | .9995 | .9995 | .9995 |
| 3.3 | .9995 | .9995 | .9995 | .9996 | .9996 | .9996 | .9996 | .9996 | .9996 | .9997 |
| 3.4 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9998 |

| z         | 1.282 | 1.645 | 1.960 | 2.326 | 2.576 | 3.090 | 3.291  | 3.891   | 4.417    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|----------|
| $\Phi(z)$ | 0.90  | 0.95  | 0.975 | 0.99  | 0.995 | 0.999 | 0.9995 | 0.99995 | 0.999995 |

דוגמה (הפתרון בהקלטה):

משקל חפיסות שוקולד המיוצרות בחברה מתפלג נורמלית עם ממוצע 100 גרם בסטיית תקן של 8 גרם.

- (1) מה אחוז חפיסות השוקולד ששוקלות מתחת ל-110 גרם?
- (2) מה אחוז חפיסות השוקולד ששוקלות מעל 110 גרם?
- (3) מה אחוז חפיסות השוקולד ששוקלות מתחת ל-92 גרם?
- (4) מהו המשקל ש-90% מהחפיסות בקו הייצור שוקלים פחות מהם?

## שאלות:

(1) הגובה של אנשים באוכלוסייה מסוימת מתפלג נורמלית עם ממוצע של 170 ס"מ וסטית תקן של 10 ס"מ.

- א. מה אחוז האנשים שגובהם מתחת ל-182.4 ס"מ?
- ב. מה אחוז האנשים שגובהם מעל 190 ס"מ?
- ג. מה אחוז האנשים שגובהם בדיוק 173.6 ס"מ?
- ד. מה אחוז האנשים שגובהם מתחת ל-170 ס"מ?
- ה. מה אחוז האנשים שגובהם לכל היותר 170 ס"מ?

(2) נתון שהזמן שלוקח לתרופה מסוימת להשפיע מתפלג נורמלית עם ממוצע של 30 דקות ושונות של 9 דקות רבועות.

- א. מהי פרופורציית המקרים בהן התרופה תעזור אחרי יותר משעה?
- ב. מה אחוז מהמקרים שבהן התרופה תעזור בין 35 ל-37 דקות?
- ג. מה הסיכוי שהתרופה תעזור בדיוק תוך 36 דקות?
- ד. מה שיעור המקרים שבהן ההשפעה של התרופה תסטה מ-30 דקות בפחות מ-3 דקות?

(3) המשקל של אנשים באוכלוסייה מסוימת מתפלג נורמלית עם ממוצע של 60 ק"ג וסטיית תקן של 8 ק"ג.

- א. מה אחוז האנשים שמשקלם נמוך מ-55 ק"ג?
- ב. מהי פרופורציית האנשים באוכלוסייה שמשקלם לפחות 50 ק"ג?
- ג. מהי השכיחות היחסית של האנשים באוכלוסייה שמשקלם בין 60 ל-70 ק"ג?
- ד. לאיזה חלק מהאוכלוסייה משקל הסוטה מהמשקל הממוצע בלא יותר מ-4 ק"ג?
- ה. מה הסיכוי שאדם אקראי ישקול מתחת ל-140 ק"ג?

(4) משקל תינוקות ביום היוולדם מתפלג נורמלית עם ממוצע של 3300 גרם וסטית תקן 400 גרם.

- א. מצאו את העשירון העליון.
- ב. מצאו את האחוזון ה-95.
- ג. מצאו את העשירון התחתון.

- (5) ציוני מבחן אינטליגנציה מתפלגים נורמלית עם ממוצע 100 ושונות 225.
- א. מה העשירון העליון של הציונים במבחן האינטליגנציה?
  - ב. מה העשירון התחתון של ההתפלגות?
  - ג. מהו הציון ש-20% מהנבחנים מקבלים מעליו?
  - ד. מהו האחוזון ה-20?
  - ה. מהו הציון ש-5% מהנבחנים מקבלים מתחתיו?
- (6) נפח משקה בבקבוק מתפלג נורמלית עם סטיית תקן של 20 מ"ל, ונתון ש-33% מהבקבוקים בעלי נפח שעולה על 508.8 מ"ל.
- א. מה ממוצע נפח משקה בבקבוק?
  - ב. 5% מהבקבוקים המיוצרים עם הנפח הגבוה ביותר נשלחים לבדיקה, החל מאיזה נפח שולחים בקבוק לבדיקה?
  - ג. 1% מהבקבוקים עם הנפח הקטן ביותר נתרמים לצדקה, מהו הנפח המקסימלי לצדקה?
- (7) אורך חיים של מכשיר מתפלג נורמלית. ידוע שמחצית מהמכשירים חיים פחות מ-500 שעות, כמו כן ידוע ש-67% מהמכשירים חיים פחות מ-544 שעות.
- א. מהו ממוצע אורך חיי מכשיר?
  - ב. מהי סטית בתקן של אורך חיי מכשיר?
  - ג. מה הסיכוי שמכשיר אקראי יחיה פחות מ-460 שעות?
  - ד. מהו המאיון העליון של אורך חיי מכשיר?
  - ה. 1% מהמכשירים בעלי אורך החיים הקצר ביותר נשלח למעבדה לבדיקה מעמיקה. מהו אורך החיים המקסימלי לשליחת מכשיר למעבדה?
- (8) להלן שלוש התפלגויות נורמליות של שלוש קבוצות שונות ששורטטו באותה מערכת צירים. ההתפלגויות מוספרו כדי להבדיל ביניהן.
- א. לאיזו התפלגות הממוצע הגבוה ביותר?
  - ב. במה מבין המדדים הבאים התפלגות 1 ו-2 זהות?
    - i. בעשירון העליון.
    - ii. בממוצע.
    - iii. בשונות.
    - ג. לאיזו התפלגות סטיית התקן הקטנה ביותר?
      - i. 1.
      - ii. 2.
      - iii. 3.
      - iv. אין לדעת.



- (9)** הזמן שלוקח לאדם להגיע לעבודתו מתפלג נורמלית עם ממוצע של 40 דקות וסטית תקן של 5 דקות.
- א. מה ההסתברות שמשך הנסיעה של האדם לעבודתו יהיה לפחות שלושת רבעי השעה?
- ב. אדם יצא לעבודתו בשעה 08:10 מביתו. הוא צריך להגיע לעבודתו בשעה 09:00. מה הסיכוי שיאחר לעבודתו?
- ג. אם ידוע שזמן נסיעתו לעבודה היה יותר משלושת רבעי השעה. מה ההסתברות שזמן הנסיעה הכולל יהיה פחות מ-50 דקות?
- ד. מה הסיכוי שבשבוע (חמישה ימי עבודה) בדיוק פעם אחת יהיה זמן הנסיעה לפחות שלושת רבעי השעה?
- (10)** ההוצאה החודשית לבית אב בעיר "טרירה" מתפלגת נורמלית עם ממוצע של 2000 דולר וסטית תקן של 300 דולר. בחרו באקראי 5 בתי אב. ההסתברות שלפחות אחד מהם מוציא בחודש מעל ל- $T$  דולר היא 0.98976.
- א. מה ערכו של  $T$ ?
- ב. מה הסיכוי שההוצאה החודשית של בית אב בעיר תהיה לפחות סטיית תקן אחת מעל  $T$ ?
- ג. מסתבר שנפלה טעות בנתונים, ויש להוסיף 100 דולר להוצאות החודשית של כל בתי האב בעיר. לאור זאת, מה ההסתברות שההוצאה החודשית של בית אב נמוכה מ-1800 דולר?
- (11)** אורך שיר אקראי המשודר ברדיו מתפלג נורמלית עם תוחלת של 3.5 דקות וסטית תקן של שלושים שניות.
- א. מה ההסתברות שאורך של שיר אקראי המנוגן ברדיו יהיה בין 3 ל-2.5 דקות?
- ב. מהו הטווח הבין רבעוני של אורך שיר המשודר ברדיו?
- ג. ביום מסוים מנוגנים 200 שירים ברדיו. כמה שירים מתוכם תצפה שיהיו באורך הנמוך מ-3.5 דקות?
- ד. בשעה מסוימת שודרו 8 שירים. מה ההסתברות שרבע מהם בדיוק היו ארוכים מ-4 דקות והיתר לא?

## תשובות סופיות:

|    |           |            |           |           |        |
|----|-----------|------------|-----------|-----------|--------|
| 1  | א. 89.25% | ב. 2.28%   | ג. 0.     | ד. 50%    | ה. 50% |
| 2  | א. 0%     | ב. 3.76%   | ג. 0%     | ד. 68.26% |        |
| 3  | א. 26.43% | ב. 89.44%  | ג. 39.44% | ד. 0.383  |        |
|    | ה. 100%   |            |           |           |        |
| 4  | א. 3812.8 | ב. 3958    | ג. 2787.2 |           |        |
| 5  | א. 119.2  | ב. 80.8    | ג. 112.6  | ד. 87.4   |        |
| 6  | א. 500    | ב. 532.9   | ג. 453.48 |           |        |
| 7  | א. 500    | ב. 100     | ג. 0.3446 | ד. 733    |        |
|    | ה. 267    |            |           |           |        |
| 8  | א. 3      | ב. בממוצע. | ג. 1      |           |        |
| 9  | א. 0.1587 | ב. 0.0228  | ג. 0.8563 | ד. 0.3975 |        |
| 10 | א. 1925   | ב. 0.2266  | ג. 0.1587 |           |        |
| 11 | א. 0.1359 | ב. 0.675   | ג. 100    | ד. 0.25   |        |

# סטטיסטיקה

פרק 16 - הסקה סטטיסטית - הקדמה

תוכן העניינים

1. כללי ..... 66

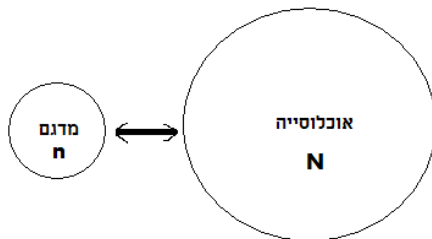


## הסקה סטטיסטית – הקדמה:

### רקע:

#### אוכלוסייה:

קבוצה שאליה 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.

## סטטיסטיקה

פרק 17 - התפלגות הדגימה ומשפט הגבול המרכזי

תוכן העניינים

1. התפלגות ממוצע המדגם ומשפט הגבול המרכזי ..... 69
2. התפלגות סכום תצפיות בלתי תלויות ומשפט הגבול המרכזי ..... 77
3. התפלגות מספר ההצלחות במדגם - קירוב נורמלי להתפלגות הבינומית ..... 80
4. התפלגות פרופורציית ההצלחות במדגם ..... 85

## התפלגות ממוצע המדגם ומשפט הגבול המרכזי:

### רקע:

בפרק זה נדון בהתפלגות של ממוצע המדגם:  $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$

מכיוון שממדגם למדגם אנו יכולים לקבל ממוצע מדגם שונה, אזי ממוצע המדגם הוא משתנה מקרי ויש לו התפלגות.

גדלים המתארים התפלגות כלשהי או אוכלוסייה כלשהי נקראים פרמטרים.

להלן רשימה של פרמטרים החשובים לפרק זה:

ממוצע האוכלוסייה נסמן ב- $\mu$  (נקרא גם תוחלת).

שונות אוכלוסייה נסמן ב- $\sigma^2$ .

סטיית תקן של אוכלוסייה:  $\sigma$ .

### תכונות התפלגות:

ממוצע כל ממוצעי המדגם האפשריים שווה לממוצע האוכלוסייה:  $E(\bar{x}) = \mu_{\bar{x}} = \mu$ .

שונות כל ממוצעי המדגם האפשריים שווה לשונות האוכלוסייה מחולק ב- $n$ .

תכונה זו נכונה רק במדגם מקרי:  $V(\bar{x}) = \sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{\sigma^2}{n}$ .

יש יחס הפוך בין גודל המדגם לבין שונות ממוצעי המדגם.

אם נוציא שורש לשונות נקבל סטיית תקן של ממוצע המדגם שנקראת גם

טעות תקן:  $\sigma(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ .

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

השכר הממוצע במשק הינו 9000 ₪ עם סטיית תקן של 4000. דגמו באקראי 25 עובדים.

א. מיהי אוכלוסיית המחקר? מהו המשתנה הנחקר?

ב. מהם הפרמטרים של האוכלוסייה?

ג. מה התוחלת ומהי סטיית התקן של ממוצע המדגם?

**דגימה מהתפלגות נורמאלית:**

אם נדגום מתוך אוכלוסייה שהמשתנה בה מתפלג נורמאלית עם ממוצע  $\mu$  ושונות  $\sigma^2$ .

$$\text{ממוצע המדגם גם יתפלג נורמאלית: } Z_{\bar{x}} = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma}, \bar{x} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$$

**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

משקל תינוק ביום היוולדו מתפלג נורמאלית עם ממוצע 3400 גרם וסטיית תקן של 400 גרם.  
מה ההסתברות שבמדגם של 4 תינוקות אקראיים בעת הולדתם המשקל הממוצע של התינוקות יהיה מתחת ל-3.5 ק"ג?

**משפט הגבול המרכזי:**

אם אוכלוסייה מתפלגת כלשהו עם ממוצע  $\mu$  ושונות  $\sigma^2$  אזי עבור מדגם מספיק

$$\text{גדול } (n \geq 30) \text{ ממוצע המדגם מתפלג בקירוב נורמאלי: } \bar{x} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$$

**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

משקל חפיסת שוקולד בקו ייצור מתפלג עם ממוצע 100 גרם וסטיית תקן של 4 גרם.  
דגמו מקו הייצור 36 חפיסות שוקולד אקראיות.  
מה ההסתברות שהמשקל הממוצע של חפיסות השוקולד שנדגמו יהיה מתחת ל-102 גרם?

## 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.
- מיהי האוכלוסייה?
  - מה המשתנה?
  - מהם הפרמטרים?
  - מהו גודל המדגם?
  - מהו תוחלת ממוצע המדגם?
  - מהי טעות התקן?

- (2) להלן התפלגות מספר מקלטי הטלויזיה למשפחה ביישוב מסוים:

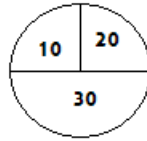
| מספר המשפחות           | מספר מקלטים |
|------------------------|-------------|
| 500                    | 0           |
| 2500                   | 1           |
| 3500                   | 2           |
| 3000                   | 3           |
| 500                    | 4           |
| סך הכול<br>$N = 10000$ |             |

- בנו את פונקציית ההסתברות של  $X$ .
  - חשבו את התוחלת, השונות וסטיית התקן של  $X$ .
  - אם נדגום 4 משפחות מהישוב עם החזרה מה תהיה התוחלת, מהי השונות ומהי סטיית התקן של ממוצע המדגם?
- (3) אם נטיל קובייה פעמיים ונתבונן בממוצע התוצאות שיתקבלו, מה תהיה התוחלת ומה תהיה סטיית התקן של ממוצע זה?
- (4) משקל תינוק ביום היוולדו מתפלג נורמאלית עם ממוצע 3400 גרם וסטיית תקן של 400 גרם.
- מה ההסתברות שתינוק אקראי בעת הלידה ישקול פחות מ-3800 גרם?
- נתון כי ביום מסוים נולדו 4 תינוקות.
- מה ההסתברות שהמשקל הממוצע שלהם יעלה על 4 ק"ג?
  - מה ההסתברות שהמשקל הממוצע של התינוקות יהיה מתחת ל-2.5 ק"ג?
  - מה ההסתברות שהמשקל הממוצע של התינוקות יהיה רחוק מהתוחלת בלא יותר מ-50 גרם?
  - הסבירו ללא חישוב כיצד התשובה לסעיף הקודם הייתה משתנה אם היה מדובר על יותר מ-4 תינוקות?

- (5) הגובה של המתגייסים לצה"ל מתפלג נורמאלית עם תוחלת של 175 ס"מ וסטיית תקן של 10 ס"מ. ביום מסוים התגייסו 16 חיילים.
- א. מה ההסתברות שהגובה הממוצע שלהם יהיה לפחות 190 ס"מ?
  - ב. מה ההסתברות שהגובה הממוצע שלהם יהיה בדיוק 180 ס"מ?
  - ג. מה ההסתברות שהגובה הממוצע שלהם יסטה מתוחלת הגבהים בפחות מ-5 ס"מ?
  - ד. מהו הגובה שבהסתברות של 90% הגובה הממוצע של המדגם יהיה נמוך ממנו?
- (6) הזמן הממוצע שלוקח לאדם להגיע לעבודתו 30 דקות עם שונות של 16 דקות רבועות. האדם נוסע לעבודה במשך שבוע 5 פעמים.
- לצורך הפתרון הניחו שזמן הנסיעה לעבודה מתפלג נורמאלית.
- א. מה ההסתברות שבמשך שבוע משך הנסיעה הממוצע יהיה מעל 33 דקות?
  - ב. מהו הזמן שבהסתברות של 90% ממוצע משך הנסיעה השבועי יהיה גבוה ממנו?
  - ג. מה ההסתברות שממוצע משך הנסיעה השבועי יהיה מרוחק מ-30 דקות בלפחות 2 דקות?
  - ד. כיצד התשובה לסעיף הקודם הייתה משתנה אם האדם היה נוסע לעבודה 6 פעמים בשבוע?
- (7) נפח היין בבקבוק מתפלג נורמאלית עם תוחלת של 750 סמ"ק וסטיית תקן של 10 סמ"ק.
- א. בארגז 4 בקבוקי יין. מה ההסתברות שהנפח הממוצע של הבקבוקים בארגז יהיה בדיוק 755 סמ"ק?
  - ב. בארגז 4 בקבוקי יין. מה ההסתברות שהנפח הממוצע של הבקבוקים בארגז יהיה יותר מ-755 סמ"ק?
  - ג. בארגז 4 בקבוקי יין. מה ההסתברות שהנפח הממוצע של הבקבוקים בארגז יהיה לפחות 755 סמ"ק?
  - ד. בקבוקי היין שבארגז נמזגים לקערה עם קיבולת של שלושה ליטר. מה ההסתברות שהיין יגלוש מהקערה?
- (8) משתנה מתפלג נורמאלית עם תוחלת 80 וסטיית תקן 4.
- א. מה ההסתברות שממוצע המדגם יסטה מתוחלתו בלא יותר מיחידה כאשר גודל המדגם הוא 9?
  - ב. מה ההסתברות שממוצע המדגם יסטה מתוחלתו בלא יותר מיחידה שגודל המדגם הוא 16?
  - ג. הסבר את ההבדל בתשובות של שני הסעיפים.



9) בקזינו ישנה רולטה. על הרולטה רשומים המס' הבאים כמוראה בשרטוט:



אדם מסובב את הרולטה וזוכה בסכום הרשום על הרולטה.

- א. בנו את פונקציית ההסתברות של סכום הזכייה במשחק בודד.
- ב. מה התוחלת ומה השונות של סכום הזכייה?
- ג. אם האדם ישחק את המשחק 5 פעמים מה התוחלת ומה השונות של ממוצע סכום הזכייה בחמשת המשחקים?
- ד. אם האדם משחק את המשחק 50 פעם מה ההסתברות שבסה"כ יזכה ב-1050 ₪ ומעלה?

10) לפי הערכות הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה השכר הממוצע במשק הוא 8000 ₪ עם סטיית תקן של 3000 ₪. מה ההסתברות שבמדגם מקרי של 100 עובדים השכר הממוצע יהיה יותר מ-8500 ₪?

11) קובייה הוטלה 50 פעמים. מה ההסתברות שהממוצע של התוצאות יהיה לפחות 3.72?

12) אורך צינור שמפעל מייצר הינו עם ממוצע של 70 ס"מ וסטיית תקן של 10 ס"מ. א. נלקחו באקראי 100 מוטות, מה ההסתברות שממוצע אורך המוטות יהיה בין 68 ל 78 ס"מ? ב. יש לחבר 2 בניינים באמצעות מוטות. המרחק בין שני הבניינים הינו 7200 ס"מ. מה ההסתברות ש-100 המוטות יספיקו למלאכה? ג. מה צריך להיות גודל המדגם המינימאלי, כדי שבהסתברות של 5% ממוצע המדגם יהיה קטן מ-69 ס"מ. היעזרו במשפט הגבול המרכזי.

13) נתון משתנה מקרי בדיד בעל פונקציית ההסתברות הבאה:

|               |               |               |               |        |
|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|
| 2             | 4             | 6             | 8             | $X$    |
| $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{4}$ | $P(X)$ |

מתוך התפלגות זו נלקח מדגם מקרי בגודל 50. מה הסיכוי שממוצע המדגם יהיה קטן מ-5?

**14** נתון ש- $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ . דגמו 5 תצפיות מאותה התפלגות והתבוננו במוצע

המדגם  $\bar{X}$ . לכן:  $P(\bar{X} > \mu)$  יהיה (בחרו בתשובה הנכונה):

- א. 0.
- ב. 0.5.
- ג. 1.
- ד. לא ניתן לדעת.

**15** נתון ש- $X$  מתפלג כלשהו עם תוחלת:  $\mu$  ושונות  $\sigma^2$ . החליטו לבצע מדגם בגודל 200 מתוך ההפלגות הנתונה לפי משפט הגבול המרכזי מתקיים (בחרו בתשובה הנכונה):

- א.  $X \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{200}\right)$ .
- ב.  $\mu \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{200}\right)$ .
- ג.  $\bar{X} \sim N(\mu, \sigma^2)$ .
- ד.  $\bar{X} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{200}\right)$ .

**16** נתון ש- $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ . אם נדגום  $n$  תצפיות מתוך ההתפלגות ונגדיר:  $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$ ,

אזי (בחרו בתשובה הנכונה):

- א.  $\mu$  ו- $\bar{X}$  יהיו משתנים מקריים.
- ב.  $\mu$  יהיה משתנה מקרי ו- $\bar{X}$  קבוע.
- ג.  $\bar{X}$  יהיה משתנה מקרי ו- $\mu$  קבוע.
- ד.  $\mu$  ו- $\bar{X}$  יהיו קבועים.

**17** משקל חפיסת שוקולד בקו ייצור מתפלג עם ממוצע 100 גרם. החפיסות נארזות בקרטון המכיל 36 חפיסות שוקולד אקראיות. ההסתברות שהמשקל הממוצע של חפיסות השוקולד בקרטון יהיה מעל 99 גרם הוא 0.9932.

- א. מהי סטיית התקן של משקל חפיסת שוקולד בודדת?
- ב. מה הסיכוי שמתוך 4 קרטונים בדיוק קרטון אחד יהיה עם משקל ממוצע לחפיסה הנמוך מ-100 גרם?

**(18)** משתנה מקרי כלשהו מתפלג עם סטיית תקן של 20. מה הסיכוי שאם נדגום 100 תצפיות בלתי תלויות מאותה התפלגות אזי ממוצע המדגם יסטה מתוחלתו בפחות מ-2?

**(19)** מספר המכוניות הנכנסות לחניון "בציר" במשך היום מתפלג פואסונית עם קצב של מכונית אחת לדקה. שומר מסר נתונים על מספר המכוניות שנכנסות בכל שעה לגבי 40 שעות שאסף נתונים. מה ההסתברות שממוצע מספר המכוניות שנכנסו לחניון לשעה בשעות אלה יהיה לפחות 63?

**(20)** הוכיחו שאם משתנה מתפלג כלשהו עם תוחלת  $\mu$  ושונות  $\sigma^2$ , ומבצעים מדגם בגודל  $n$  של תצפיות בלתי תלויות מהמשתנה, אזי מתקיימות התכונות הבאות

$$\text{לגבי ממוצע המדגם: } E(\bar{x}) = \mu \text{ ו- } V(\bar{x}) = \frac{\sigma^2}{n}.$$

## תשובות סופיות:

(1) א. כלל הסטודנטים במכללה שסיימו סטטיסטיקה א. ב. ציון.

ג. ממוצע: 78, סטיית תקן: 15.

ה. 78.

(2) א. להלן טבלה:

|      |     |      |      |      |        |
|------|-----|------|------|------|--------|
| 4    | 3   | 2    | 1    | 0    | $X$    |
| 0.05 | 0.3 | 0.35 | 0.25 | 0.05 | $P(X)$ |

ב.  $\sigma = 0.973$ ,  $\sigma^2 = 0.9475$ ,  $\mu = 2.05$

ג.  $\sigma(\bar{X}) = 0.486$ ,  $\sigma_{\bar{x}}^2 = 0.2369$ ,  $\mu_{\bar{x}} = 2.05$

(3)  $\sigma(\bar{X}) = 1.21$ ,  $\mu_{\bar{x}} = 3.5$

(4) א. 0.8413 ב. 0.0013

(5) א. 0 ב. 0

(6) א. 0.0465 ב. 27.71

(7) א. 0 ב. 0.1587

(8) א. 0.5468 ב. 0.6826

(9) א. להלן טבלה:

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

ג. התוחלת: 22.5, השונות: 13.75

ד. 0.8997

(10) 0.0475

(11) 0.1814

(12) א. 0.9772 ב. 0.0228 ג. 271

(13) 0.5

(14) ב'

(15) ד'

(16) ג'

(17) א. 2.429 ב. 0.25

(18) 0.6826

(19) 0.0071

(20) שאלת הוכחה.

## התפלגות סכום תצפיות בלתי תלויות ומשפט הגבול המרכזי:

### רקע:

כעת נדון בסטטיסטי המבטא את סכום התצפיות במדגם:  $T = \sum_{i=1}^n X_i$ .  
 כאשר כל התצפיות נדגמו באקראי מאותה אוכלוסייה, כלומר, היו:  $X_1, \dots, X_n$  -  
 משתנים מקריים בלתי תלויים בעלי התפלגות זהה שתוחלתה  $\mu$  ושונותה  $\sigma^2$  אזי:  
 התוחלת והשונות של סכום התצפיות:  $E(T) = n\mu$ ,  $V(T) = n\sigma^2$ .

### דגימה מתוך התפלגות נורמלית:

אם:  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ , אזי:  $Z = \frac{T - n\mu}{\sqrt{n\sigma^2}}$ ,  $T \sim N(n\mu, n\sigma^2)$ .

### משפט הגבול המרכזי:

אם  $X$  מתפלג כלשהו וידוע כי:  $E(X) = \mu$ ,  $V(X) = \sigma^2$ , אזי עבור מדגם מספיק גדול (לפחות 30):  $T \sim N(n\mu, n\sigma^2)$ .

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

- בעיר מסוימת המשכורת הממוצעת של עובד הינה 8000 ₪. עם סטיית תקן של 2000 ₪. נדגמו 100 עובדים מהעיר שמפקידים את משכורותיהם לסניף בנק.
- מה התוחלת וסטיית התקן של סך המשכורות שיופקדו לסניף הבנק על ידי העובדים הללו?
  - מה ההסתברות שלסניף יופקד פחות מ-780 אלף ₪ ע"י אותם עובדים?

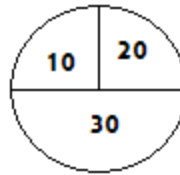
## שאלות:

- (1) המשקל באוכלוסייה מסוימת מתפלג נורמאלית עם תוחלת של 60 ק"ג וסטיית תקן של 10 ק"ג.
- א. מה הסיכוי שאדם אקראי מהאוכלוסייה ישקול מתחת ל-65 ק"ג?
- ב. מה הסיכוי שהמשקל הממוצע של 4 אנשים אקראיים יהיה מתחת ל-65 ק"ג?
- ג. מה הסיכוי שהמשקל הכולל של 4 אנשים אקראיים יהיה מתחת ל-240 ק"ג?
- (2) נפח יין בבקבוק מתפלג נורמאלית עם תוחלת של 750 מ"ל וסטיית תקן של 20 מ"ל. אדם קנה מארז של 4 בקבוקי יין.
- א. מהי התוחלת ומהי סטיית התקן של נפח היין במארז?
- ב. את היין שבמארז האדם מזג לכלי שקיבולתו 3.1 ליטר. מה ההסתברות שהיין יגלוש מהכלי?
- ג. אם לא היה נתון שנפח היין מתפלג נורמאלית. האם התשובה לסעיף א' הייתה משתנה? האם התשובה לסעיף ב' הייתה משתנה?
- (3) בספר כלשהו 500 עמודים. קצב הקריאה הממוצע הוא עמוד אחד ב-4 דקות עם סטיית תקן של 1 דקות.
- א. מה ההסתברות לסיים את הפרק הראשון (40 עמודים) תוך שעתיים וחצי?
- ב. מהו האחוזון ה-95 לזמן סיום קריאת הספר?
- (4) במגדל נבנו 40 יחידות דיור. כמו כן נבנו 135 מקומות חנייה לבניין. להלן פונקציית ההסתברות של מספר המכוניות ליחידת דיור:

| $x$        | 1   | 2   | 3   | 4    | 5    |
|------------|-----|-----|-----|------|------|
| $P(X = x)$ | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.25 | 0.15 |

- נניח שמספר המכוניות ליחידת דיור בלתי תליות זו בזו ועם אותה פונקציית ההסתברות לכל יחידת דיור (אין צורך בתיקון רציפות).
- א. מהי ההסתברות שיהיה מקום בחניון המגדל לכל מכוניות הבניין?
- ב. בהינתן ויש מקום במגדל לכל המכוניות, מה הסיכוי שבפועל מספר המכוניות נמוך מ-130?

(5) בקזינו ישנה רולטה עליה מסומנים המספרים הבאים:



אדם מסובב את הרולטה וזוכה בסכום הרשום.

א. אם האדם משחק 50 פעמים, מה ההסתברות שבסך הכול יזכה בסכום של 1050 ₪ ומעלה?

ב. האדם מגיע בכל יום לקזינו ומשחק 50 פעם, עד אשר מגיע היום בו הוא יזכה ב-1050 ₪ ומעלה. מה התוחלת ומהי השונות של מספר הימים שיבלה בקזינו?

(6) נתון ש- $X_i \sim \exp(\lambda=1)$ , כאשר:  $i=1, 2, \dots, 100$ .

חשבו את הסיכוי:  $P\left(\sum_i X_i \geq 115\right)$ .

(7) אורך חיי סוללה (בשעות) הוא בעל פונקציית הצפיפות הבאה:  $0 < x < 1$ ,  $f(x) = 2x$ . ברגע שסוללה מתרוקנת מחליפים אותה במיידית בסוללה אחרת. כמה סוללות יש להחזיק במלאי אם רוצים שבסיכוי של 90% לפחות המלאי יספיק עבור 35 שעות לפחות?

### תשובות סופיות:

(1) א. 0.6915      ב. 0.8413      ג. 0.5

(2) א. תוחלת: 3000 מ"ל, סטיית תקן: 40 מ"ל.      ב. 0.0062.

ג. סעיף א' - לא משתנה, סעיף ב' - לא פתיר, התבסס על התפלגות נורמלית.

(3) א. 0.0571      ב. 2036.8

(4) א. 0.883      ב. 0.7949

(5) א. 0.8997      ב. תוחלת 1.111, שונות 0.1239

(6) 0.0668

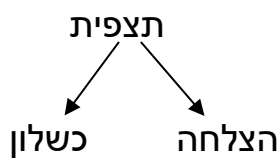
(7) 56

## התפלגות מספר ההצלחות במדגם – קירוב נורמלי להתפלגות הבינומית:

**רקע:**

**תזכורת על התפלגות בינומית:**

בפרק זה נדון בהתפלגות מספר ההצלחות במדגם אקראי (תצפיות בלתי תלויות זו בזו). את מספר ההצלחות במדגם נסמן ב- $Y$ . מחלקים כל תצפית במדגם להצלחה או כישלון.



כעת מה שמשתנה מתצפית לתצפית הוא משתנה דיכוטומי (משתנה שיש לו שני ערכים). הסיכוי להצלחה יסומן עם הפרמטר  $p$  וכישלון יסומן ע"י הפרמטר  $q = 1 - p$ . מבצעים מדגם אקראי בגודל  $n$ :  $Y \sim B(n, p)$ .

פונקציית ההסתברות של ההתפלגות הבינומית היא:  $p(y = k) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k}$ .

תוחלת:  $E(y) = np$ .

שונות:  $V(y) = npq$ .

**קירוב נורמלי עבור התפלגות בינומית:**

אם לפנינו התפלגות בינומית:  $Y \sim B(n, p)$ , ומתקיים ש:

$$1. \quad n \cdot p \geq 5$$

$$2. \quad n \cdot (1 - p) \geq 5$$

$$y \sim N(np, npq)$$

$$\text{אז: } Z_y = \frac{y - np}{\sqrt{npq}}$$



### תיקון רציפות:

כאשר משתמשים בקירוב הנורמלי להתפלגות הבינומית יש לבצע תיקון רציפות. הסיבה שעוברים כאן מהתפלגות בדידה להתפלגות נורמלית שהיא התפלגות רציפה. על פי הכללים הבאים:

$$1. \quad p(Y = a) \cong p\left(a - \frac{1}{2} \leq Y \leq a + \frac{1}{2}\right)$$

$$2. \quad P(Y \leq a) \cong P(Y \leq a + 0.5)$$

$$3. \quad P(Y \geq a) \cong P(Y \geq a - 0.5)$$

### הערות:

- התנאים למעבר מבינומי לנורמלי הם נזילים, כלומר משתנים ממרצה אחד לשני. התנאי שהצגתי כאן הוא הפופולרי ביותר:

$$1. \quad n \cdot p \geq 5$$

$$2. \quad n \cdot (1 - p) \geq 5$$

- ישנם מרצים שנותנים את התנאי המחמיר הבא:

$$1. \quad n \cdot p \geq 10$$

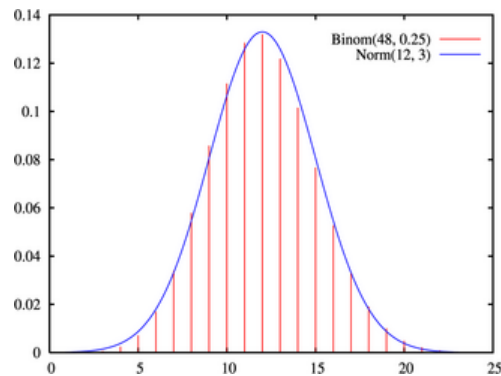
$$2. \quad n \cdot (1 - p) \geq 10$$

- וישנם מרצים שהתנאי שהם נותנים הוא:  $(n \geq 30)$ .
- תאלצו לבדוק מהו התנאי שנתנו לכם בכיתה כדי לעבור מהתפלגות בינומית לנורמלית.
- הערה נוספת היא לגבי תיקון רציפות. ישנם מרצים שלא מחייבים לבצע תיקון רציפות שהמדגמים גדולים (בדרך כלל מעל 100 תצפיות) בפתרונות שאציג תמיד אבצע תיקון רציפות במעבר מבינומי לנורמלי כיוון שכך הפתרון יהיה יותר מדויק (בכל מקרה שהמדגמים גדולים העניין זניח).

**דוגמה (הפתרון בהקלטה):**

נתון שבקרב אוכלוסיית הנוער 25% זקוקים למשקפיים. נדגמו באקראי 48 בני נוער.

1. מה הסיכוי שבדיוק 14 מתוכם יהיו זקוקים למשקפיים?
2. מה הסיכוי שלכל היותר 13 מתוכם זקוקים למשקפיים?



## שאלות:

- (1) נתון ש-20% מאוכלוסייה מסוימת אקדמאית. נבחרו באקראי 10 אנשים באותה אוכלוסייה.
  - א. מה ההסתברות ששלושה מהם אקדמאים?
  - ב. מה ההסתברות שלכל היותר אחד מהם אקדמאי?
  - ג. מה התוחלת ומהי סטיית התקן של מספר האקדמאים במדגם?
- (2) במפעל 10% מהמוצרים פגומים. נלקחו 100 מוצרים באקראי מקו הייצור.
  - א. מה ההסתברות שנדגמו לפחות 6 מוצרים פגומים?
  - ב. מה ההסתברות שמספר המוצרים הפגומים יהיה לכל היותר 11 במדגם?
- (3) ציוני פסיכומטרי בקרב הנרשמים למוסד מסוים מתפלגים נורמאלית עם ממוצע 500 וסטיית תקן 100. למוסד מסוים הוחלט לקבל אך ורק סטודנטים שקיבלו מעל 600 בפסיכומטרי. 100 סטודנטים אקראיים נרשמו למוסד. מה ההסתברות שלפחות 20 יתקבלו?
- (4) מטילים מטבע 50 פעמים.
  - א. מה ההסתברות לקבל לכל היותר 30 עצים?
  - ב. מה ההסתברות לקבל 28 עצים לפי התפלגות הבינומית ולפי הקירוב הנורמאלי?
- (5) במטוס מקום ל-400 נוסעים. נרשמו לטיסה 430 אנשים (overbooking). מנתונים סטטיסטיים ידוע שהסיכוי שאדם שנרשם לטיסה אכן יגיע הוא 0.9.
  - א. מה ההסתברות שלא יהיו מקומות ישיבה לכל האנשים שהגיעו לטיסה?
  - ב. מה צריך להיות גודל המטוס כדי שבסיכוי שלפחות 95% המטוס יספיק לכמות הנרשמים?
- (6) מפעל לייצור ארטיקים טוען שהסיכוי שארטיק שהוא מייצר יהיה פגום הוא 0.01. מוכר הזמין 1000 ארטיקים מהמפעל. מה ההסתברות שהמוכר יקבל לפחות 980 ארטיקים תקינים אם טענת המפעל מוצדקת?
- (7) מהמר מטיל קובייה הוגנת 100 פעמים. בכל הטלה, אם מתקבל תוצאה זוגית בקובייה המהמר זוכה בשקל. אחרת, המהמר משלם שקל. המהמר הטיל את הקובייה 100 פעמים מה הסיכוי שהרווח של המהמר יהיה לכל היותר 10?

### תשובות סופיות:

- (1) א. 0.201      ב. 0.3758      ג. התוחלת: 2, סטיית התקן: 1.2649.
- (2) א. 0.9332      ב. 0.6915
- (3) 0.1611
- (4) א. 0.9406      ב. בינומית - 0.0788, קירוב לנורמלית - 0.0778.
- (5) א. 0.015      ב. 0.398
- (6) 0.9996
- (7) 0.8643

## התפלגות פרופורציית ההצלחות במדגם:

### רקע:

בפרק זה נדון בהתפלגות הדגימה של פרופורציית המדגם.  
 $Y$  - מספר ההצלחות במדגם (למשל, מספר המובטלים במדגם).

$$\hat{p} = \frac{Y}{n} \text{ - פרופורציית ההצלחות במדגם.}$$

למשל, שיעור המובטלים במדגם -  $n = 200$  :

מספר המובטלים :  $Y = 20$ .

$$\hat{p} = \frac{20}{200} = 0.1 \text{ : פרופורציית המובטלים במדגם}$$

נסמן ב- $p$  את שיעור ההצלחה באוכלוסייה וב- $q$  את שיעור הכישלונות באוכלוסייה.  
 נבצע מדגם מקרי (הנחה שהתצפיות בלתי תלויות זו בזו) ונתבונן בהתפלגות של פרופורציית המדגם.

### התוחלת, השונות וסטיית התקן של פרופורציית המדגם:

$$E(\hat{p}) = p, \quad V(\hat{p}) = \frac{pq}{n}$$

משפט הגבול המרכזי עבור הפרופורציה המדגמית:

$$\text{אם: } np \geq 5 \text{ \& } nq \geq 5, \text{ אזי: } \hat{p} \sim N\left(p, \frac{pq}{n}\right) \quad Z_{\hat{p}} = \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\frac{pq}{n}}}$$

### הערות:

- התנאים לקרוב הנורמאלי הם נזילים, כלומר משתנים ממרצה אחד לשני.  
 התנאי שהצגתי כאן הוא הפופולרי ביותר:
  1.  $n \cdot p \geq 5$
  2.  $n \cdot (1 - p) \geq 5$
- ישנם מרצים שנותנים את התנאי המחמיר הבא:
  1.  $n \cdot p \geq 10$
  2.  $n \cdot (1 - p) \geq 10$
- וישנם מרצים המשתמשים בתנאי:  $(n \geq 30)$ .
- תאלצו לבדוק מהו התנאי שנתנו לכם בכיתה כדי לעבור לנורמלית.

- כיוון שפרופורציה אינה חייבת להיות מספר שלם בהכרח לא נהוג לבצע כאן תיקון רציפות.

#### דוגמה (פתרון בהקלטה):

לפי נתוני משרד החינוך בעיר ירושלים ל-60% מתלמידי התיכון זכאים לתעודת בגרות. נדגמו 200 תלמידי תיכון.

- מה ההסתברות שהשכיחות היחסית ( $\hat{p}$ ) של הזכאים לבגרות במדגם תעלה על 60%?
- מה ההסתברות שפרופורציית הזכאים לבגרות במדגם תעלה על 70%?

## שאלות:

- (1) במדינה מסוימת 10% מכלל האוכלוסייה הינם מובטלים. נדגמו באקראי 140 אנשים מהמדינה.
  - א. מה התוחלת ומהי השונות של פרופורציות המובטלים שנדגמו?
  - ב. מה ההסתברות שבמדגם לפחות 10% יהיו מובטלים?
  - ג. מה ההסתברות שלכל היותר 9% מהמדגם יהיו מובטלים?
- (2) נניח כי 30% מהאוכלוסייה תומכים בהצעת חוק מסוימת. אם נדגום מהאוכלוסייה 200 איש. חשבו את ההסתברויות הבאות:
  - א. לפחות 35% יתמכו בהצעת החוק במדגם.
  - ב. לכל היותר 25% יתמכו בהצעת החוק במדגם.
  - ג. יותר מ-27% יתמכו בהצעת החוק במדגם.
- (3) לפי נתוני משרד התקשורת 40% מהאוכלוסייה מחזיקים בטלפון נייד מסוג "סמארטפון". נדגמו 400 אנשים מהאוכלוסייה.
  - א. מה ההסתברות שבמדגם לכל היותר ל-40% יש סמארטפון?
  - ב. מה ההסתברות שבמדגם לרוב יש סמארטפון?
  - ג. מה ההסתברות שפרופורציית בעלי הסמארטפון במדגם תסטה מהפרופורציה באוכלוסייה בלא יותר מ-4%?
  - ד. כיצד התשובה לסעיף הקודם הייתה משתנה אם הינו מגדילים את גודל המדגם?
- (4) נתון כי 80% מבתי האב מחוברים לאינטרנט. נדגמו 400 בתי אב אקראיים.
  - א. מה ההסתברות שלפחות 340 מהם מחוברים לאינטרנט?
  - ב. מה ההסתברות שפרופורציית המחוברים לאינטרנט במדגם תסטה מהפרופורציה האמיתית ביותר מ-4%?
  - ג. כמה בתי אב יש לדגום כדי שהסטייה בין הפרופורציה המדגמית לפרופורציה האמיתית לא תעלה על 3% בהסתברות של 90%?
  - ד. מהו העשירון התחתון של התפלגות פרופורציית המדגם?
- (5) נתון שציוני פסיכומטרי מתפלגים נורמלית עם תוחלת 500 וסטיית תקן 100. ב"מועדון ה-700" נכללים נבחנים שמקבלים ציון מעל 700 בפסיכומטרי. מה הסיכוי שבמועד בו נבחנו 2000 נבחנים אקראיים יהיו לפחות 3% המשתייכים למועדון?

(6) נתון ש- $X \sim B(n, p)$ , ונגדיר את המשתנה הבא:  $\hat{P} = \frac{X}{n}$ .

א. הוכיחו ש:  $E(\hat{P}) = p$ ,  $V(\hat{P}) = \frac{p(1-p)}{n}$ .

ב. מה  $p$  המביא את  $V(\hat{P})$  להיות במקסימום?

### תשובות סופיות:

- (1) א. התוחלת: 0.1, השונות: 0.00064. ב. 0.5. ג. 0.3446.
- (2) א. 0.0618. ב. 0.0618. ג. 0.8238.
- (3) א. 0.5. ב. 0. ג. 0.8968. ד. גדלה.
- (4) א. 0.0062. ב. 0.0456. ג. 0.481. ד. 0.77436.
- (5) 0.0154.
- (6) א. שאלת הוכחה. ב. 0.5.



# סטטיסטיקה

פרק 18 - מושגי יסוד באמידה

תוכן העניינים

1. כללי ..... 89

## 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.

- 93

# סטטיסטיקה

פרק 19 - רווח סמך לתוחלת (ממוצע)

תוכן העניינים

|     |                                        |
|-----|----------------------------------------|
| 94  | 1. רווח סמך כששונות האוכלוסיה ידועה    |
| 100 | 2. קביעת גודל מדגם                     |
| 102 | 3. רווח סמך כששונות האוכלוסיה לא ידועה |

## 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.

(11) חוקר בנה רווח סמך לממוצע וקיבל את רווח הסמך הבא:  $63 < \mu < 83$ . נתון שסטיית התקן בהתפלגות הייתה ידועה לו ושהמדגם התבסס על 40 תצפיות.

א. אם החוקר היה רוצה לבנות רווח סמך באורך 10.

כמה תצפיות עליו היה לדגום?

ב. רווח הסמך שנבנה על ידי החוקר היה ברמת סמך של 95%.

בנו את רווח הסמך שהיה מתקבל ברמת סמך של 98%.

(12) נתון משתנה מקרי רציף מתפלג אחיד:  $X_i \sim U(\mu - 0.5, \mu + 0.5)$ . נרצה לאמוד את  $\mu$ . מצאו רווח סמך ל- $\mu$  ברמת-ביטחון של 0.95 אם במדגם של 45 תצפיות התקבל:  $\bar{x} = 74$ .

(תזכורת על השונות בהתפלגות אחידה רציפה:  $Var(X_i) = \frac{(b-a)^2}{12}$ ).

## 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 בביטחון 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'.
- (11) א. 160. ב.  $61.13 < \mu < 84.87$ .
- (12)  $74 \pm 0.084$

## 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?

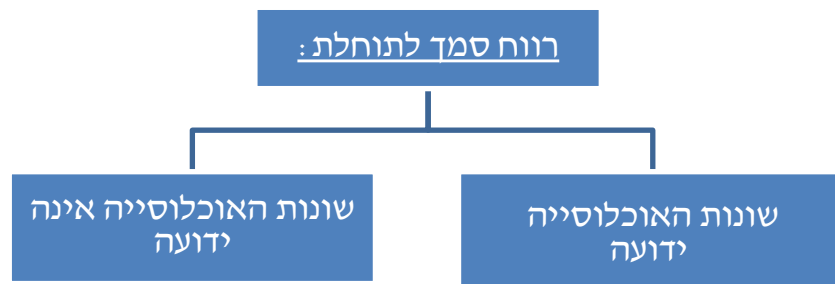
## תשובות סופיות:

- (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:

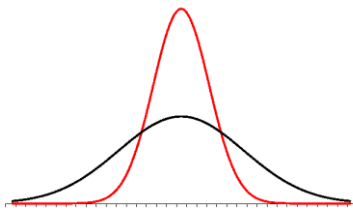


בפרק זה נעסוק במקרה ששונות האוכלוסייה  $(\sigma^2)$  אינה ידועה לנו.

מקרה יותר פרקטי.

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

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



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

**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):**

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.  $107.37 < \mu < 96.63$       ב.  $107.10 < \mu < 96.90$       ג. ראה בסרטון.
- (5)  $3.149 < \mu < 3.351$
- (6)  $13.42 < \mu < 14.18$
- (7) ב'.
- (8) 90%.

# סטטיסטיקה

פרק 20 - רווח סמך לפרופורציה

תוכן העניינים

|           |                         |
|-----------|-------------------------|
| 105 ..... | 1. רווח הסמך לפרופורציה |
| 108 ..... | 2. קביעת גודל מדגם      |

## רווח הסמך לפרופורציה:

### רקע:

המטרה היא לאמוד את  $P$  – פרופורציה באוכלוסייה.

### האומד הנקודתי:

$$\hat{p} = \frac{Y}{n} \quad (Y - \text{מספר ההצלחות שבמדגם}).$$

$$\text{רווח הסמך ל- } p : \hat{p} \pm Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}$$

### תנאי לבניית רווח הסמך:

מדגם של לפחות 30 תצפיות (לעיתים נותנים תנאי של מספר הצלחות ומספר כשלונות לפחות 5 או לפחות 10).

$$\text{האומד לטעות התקן: } \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}$$

$$\text{מתקיים ש: } \hat{p} = \frac{A+B}{2}, \quad L = 2\varepsilon$$

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

במטרה לאמוד את אחוז המובטלים במשק נדגמו 200 אזרחים, מתוכם התקבל ש-24 היו מובטלים.

א. בנו רווח סמך לאחוז המובטלים באוכלוסייה ברמת סמך של 95%.

ב. מהו האומד לטעות התקן?

## שאלות:

- (1) נדגמו 200 דירות בעיר חיפה. 48 מתוכן נמצאו כבעלות ממ"ד.
  - א. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לאחוז הדירות בחיפה עם ממ"ד.
  - ב. על סמך סעיף א' מה ניתן לומר על שגיאת האמידה המקסימאלית?
  - ג. בהנחה ובחיפה 80 אלף דירות, בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% למספר הדירות בחיפה עם ממ"ד בפועל.
- (2) במדגם של 300 אנשי היי-טק התקבל ש-180 מהם אקדמאים.
  - א. בנו רווח סמך לפרופורציית אקדמאים ברמת סמך של 95% (בקרב אנשי הייטק).
  - ב. כיצד רווח הסמך של סעיף א' היה משתנה אם היינו מקטינים את רמת הסמך?
  - ג. כיצד רווח הסמך היה משתנה אם היינו מגדילים את גודל המדגם?
- (3) במדגם של 400 נהגים התקבל רווח סמך לפרופורציית הנהגים החדשים:
 
$$0.08 < p < 0.18$$
  - א. כמה נהגים במדגם היו נהגים חדשים?
  - ב. מהי רמת הסמך של רווח הסמך שנבנה?
- (4) במסגרת מערכת הבחירות בארה"ב נשאלו 840 אנשים עבור איזה מועמד יצביעו. 510 אנשים ענו כי יצביעו בעד ברק אובמה. בסקר פורסם שתתכן סטייה של  $\pm 3\%$  מתוצאות האמת. באיזו רמת ביטחון הסקר השתמש?
- (5) במדגם של 300 נשים בגילאי 40-35 נמצא ש-140 היו נשואות, 80 היו גרושות, 60 רווקות והיתר אלמנות.
  - א. מצאו רווח סמך ברמה של 90% לאחוז הגרושות באוכלוסייה הנחקרת.
  - ב. מצאו רווח סמך ברמה של 99% לסיכוי שבאוכלוסייה הנחקרת תמצא אישה לא נשואה?
- (6) ביצעו מדגם באוכלוסייה. שיעור ההצלחות במדגם היה 10% ורווח הסמך ניבנה ברמת סמך של 95%. אורכו הינו 8.3156%. מהו גודל המדגם שנלקח?

### תשובות סופיות:

- (1) א.  $18.1\% < p < 29.9\%$   
 ב. בביטחון של 95% שגיאת האמידה היא לכל היותר 0.059.  
 ג.  $14,480 < \mu < 23,920$
- (2) א.  $0.545 \leq p \leq 0.655$       ב. האורך שלו היה קטן.      ג. לא ניתן לדעת.
- (3) א. 52.      ב. 0.997.
- (4) 0.925
- (5) א.  $30.9\% > p > 22.5\%$       ב.  $60.72\% > p > 45.91\%$
- (6) 200

## קביעת גודל מדגם:

## רקע:

בפרק זה נדון איך קובעים גודל מדגם שבאים לאמוד פרופורציה באוכלוסייה מסוימת: החוקר קובע מראש את רמת הסמך הרצויה:  $1-\alpha$ . החוקר קובע מראש את הטעות הסטטיסטית המרבית שבה הוא מעוניין:  $\varepsilon$  (או את אורך רווח הסמך).

$L = 2\varepsilon$  - אורך רווח הסמך.

$\varepsilon$  - טעות אמידה מרבית: המרחק המקסימאלי (הסטייה) בין הפרמטר ( $p$ ) לאומד ( $\hat{p}$ ).

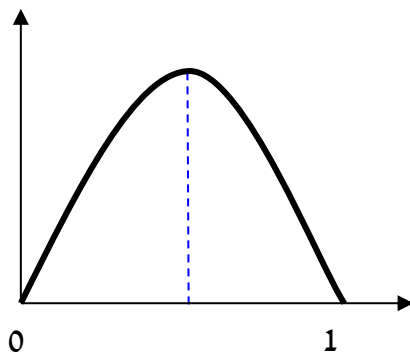
$$\varepsilon = z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}$$

ויתעניין לדעת מהו גודל המדגם הרצוי לשם כך.

$$n \geq \left( \frac{2 \cdot z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})}}{L} \right)^2 \quad \text{נקבל ש:}$$

הבעיה שאין אנו יודעים את  $\hat{p}$ .

נתבונן בביטוי:  $\hat{p}(1-\hat{p})$ .



כיוון שאין לנו ידע מוקדם על  $\hat{p}$  נציב את המקרה השמרני ביותר שממקסם את הביטוי עבור:  $\hat{p} = 0.5$ .

$$n \geq \left( \frac{2 \cdot z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{0.5 \cdot 0.5}}{L} \right) \Rightarrow n \geq \left( \frac{z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{L} \right)$$

אך אם תהיה לנו אינפורמציה מוקדמת על הפרופורציה נציב את הערך הקרוב ביותר ל-0.5 האפשרי.

## דוגמה (פתרון בהקלטה):

מעוניינים לאמוד את שיעור האבטלה במשק. האמידה צריכה להתבצע ברמת סמך של 90% ועם שגיאת אמידה שלא תעלה על 4%.

א. מהו גודל המדגם המינימאלי שיש לקחת?

ב. חזור לסעיף א' אם ידוע שהאבטלה לא אמורה לעלות על 20%.

## שאלות:

- (1) הממשלה אומדת מדי חודש את אחוז התמיכה בה. מהו גודל המדגם אשר יש לקחת אם דורשים שהאומדן לא יסטה מהאחוז האמיתי באוכלוסייה ביותר מ-3%, וזאת בביטחון של 95%?
- (2) משרד התקשורת מעוניין לדעת מה שיעור בתי האב עם אינטרנט.
  - א. כמה בתי אב יש לדגום אם מעוניינים שבביטחון של 90% אורך רווח הסמך לא יעלה על 8%?
  - ב. חזרו על סעיף א' אם ידעו שלפני חמש שנים ל-80% מבתי האב היה אינטרנט וכיום יש להניח שיש ליותר אינטרנט.
- (3) ערוץ טלוויזיה מעוניין לאמוד את הרייטינג של הערוץ בפריים טיים. המטרה שבביטחון של 95% הסטייה המרבית בין האומד לרייטינג האמיתי לא תעלה על 4%.
  - א. כמה מכשירי PEOPLE METER יש להתקין לצורך האמידה?
  - ב. לפי הערכה מוקדמת הרייטינג של הערוץ לא יכול לעלות על 20%. בהנחה ומכשיר כזה עולה 500 ₪ ליחידה מה החיסכון הכספי מאינפורמציה זאת?
- (4) ענו על הסעיפים הבאים:
  - א. כמה אזרחים יש לדגום כדי לאמוד את אחוז התמיכה בממשלה עם אורך רווח הסמך שלא עולה על 9% ברמת סמך של 90%?
  - ב. בהנחה ובוצע מדגם שאת גודלו חישבתם בסעיף א והתקבל שאחוז התמיכה בממשלה במדגם הנו 42%. בנו רווח סמך לאחוז התמיכה בממשלה ברמת סמך של 95%.
  - ג. על סמך סעיף ב', האם תקבלו את הטענה שמיעוט האוכלוסייה תומך הממשלה?
- (5) משרד הבריאות מתכנן לבצע מדגם שמטרתו לבדוק את הסיכוי לחלות בשפעת עם לקיחת חיסון נגד שפעת. הוא מעוניין שבסיכוי של 98% טעות האמידה לא תעלה על 3%.
  - א. כמה מחוסנים יש לדגום?
  - ב. משרד הבריאות ביצע את המדגם שאת גודלו חישבת בסעיף הקודם וקיבל ש-15% מבין אלה שקיבלו חיסון נגד שפעת בכל זאת חלו במשך החורף בשפעת. בנו ברמת סמך של 98% את הסיכוי לחלות בחורף בשפעת עם לקיחת חיסון נגד שפעת.
  - ג. בהמשך לסעיף הקודם. מהי טעות האמידה המרבית בביטחון של 98% מדוע הוא קטן מ-3%?



### תשובות סופיות:

- (1) 1.1068
- (2) א. 0.423 ב. 0.271
- (3) א. 0.601 ב. 108,000 ₪.
- (4) א. 0.335 ב.  $0.367 < p < 0.473$ .
- ג. בביטחון של 0.95 ניתן להגיד שמיעוט באוכלוסייה תומך בממשלה.
- (5) א. 0.1509 ב.  $0.15 \pm 0.02$  ג. ראה סרטון.

# סטטיסטיקה

פרק 21 - רווח סמך להפרש פרופורציות

תוכן העניינים

1. רווח סמך להפרש פרופורציות ..... 111

## רווח סמך להפרש פרופורציות:

### רקע:

**המטרה:** לאמוד את  $p_1 - p_2$  : הפרש פרופורציות בין שתי אוכלוסיות שונות.

**האומד הנקודתי:**  $\hat{p}_1 - \hat{p}_2$ .

**התנאי לבניית רווח הסמך:** כל מדגם מעל 30 או לבדוק שמספר ההצלחות ומספר הכישלונות בכל מדגם לפחות 5 בכל מדגם (יש כאלה שבדקים לפחות 10).

$$\text{רווח סמך: } (\hat{p}_1 - \hat{p}_2) \pm Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2}}$$

רק שאפס נופל בתחומי רווח הסמך להפרש הפרופורציה נאמר שלא ניתן לקבוע שקיים הבדל מובהק בין הפרופורציות באוכלוסיות.

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

במטרה להשוות בין שתי תרופות נדגמו 200 איש שלקחו תרופה  $X$ , מתוכם 180 טענו שהתרופה עזרה להם. כמו כן, נלקחו 300 איש שלקחו את תרופה  $Y$ . מתוכם 150 טענו שהתרופה עזרה להם. בנו רווח סמך להפרש אחוזי ההצלחה של התרופות ברמת סמך של 95%. מה ניתן לומר על סמך רווח הסמך על ההבדלים בין התרופות?

## שאלות:

- (1) מתוך 150 נשים שנדגמו באקראי 30% תמכו בהצעת חוק מסוימת. מתוך 200 גברים שנדגמו באקראי 25% תמכו בהצעת החוק.  
 א. בנו רווח סמך לפער בין אחוזי התמיכה של הנשים לעומת הגברים ברמת סמך של 96%.  
 ב. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לאחוז התמיכה בהצעת החוק.
- (2) במחקר רפואי השתתפו 200 אנשים הסובלים מכאבים כרוניים. הם חולקו באקראי ל-2 קבוצות שוות בגודלן. קבוצה 1 קיבלה את תרופה A וקבוצה שנייה קיבלה את תרופה B. בקרב לוקחי תרופה A 90 טענו שמצבם השתפר. בקרב לוקחי תרופה B 70 טענו שמצבם השתפר.  
 א. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% להפרש בין שיעורי ההצלחה של שתי התרופות.  
 ב. האם על סמך סעיף א' ניתן לקבוע שקיים הבדל בין התרופות מבחינת שיעורי ההצלחה?
- (3) נדגמו 200 משפחות מגוש דן. ל-70% מתוכן מכשיר DVD בבית. נדגמו 300 משפחות מאזור הצפון ל-65% מתוכן מכשיר DVD בבית.  
 א. בנו רווח סמך ברמת סמך של 98% לפרופורציות המשפחות בגוש דן עם DVD בבית.  
 ב. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% להפרש בין פרופורציות המשפחות בגוש דן עם DVD לבין פרופורציות המשפחות בצפון עם DVD.

## תשובות סופיות:

- (1) א.  $-4.9\% < P_F - P_M < 14.9\%$ . ב.  $22.5\% < p < 31.8\%$ .
- (2) א.  $0.093 < P_A - P_B < 0.307$ . ב. כן.
- (3)  $0.625 < p < 0.7754$

## סטטיסטיקה

פרק 22 - רווח סמך להפרש תוחלות (ממוצעים) במדגמים בלתי תלויים

תוכן העניינים

1. כששונניות האוכלוסיה ידועות.....113
2. כששונניות האוכלוסיה לא ידועות ובהנחת שוויון שונניות.....115
3. כששונניות האוכלוסיה לא ידועות והמדגמים גדולים.....117

## כששונויות האוכלוסייה ידועות:

### 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.  $\sigma_1^2, \sigma_2^2$  ידועות.

2.  $X_1, X_2 \sim N$  או  $n_1, n_2 > 30$ .

3. שני מדגמים בלתי תלויים.

רווח סמך:  $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$ .

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

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

נדגמו 100 תושבים מאזור A והמשכורת הממוצעת הייתה ש"ח 9200.  
כמו כן נדגמו 120 תושבים מאזור B וממוצע המשכורות שהתקבל ש"ח 8700.  
לצורך פתרון נניח שסטיית התקן של המשכורות באוכלוסיית שני האזורים היא 1800 ש"ח. אמדו ברמת סמך של 90% את הפרש השכר הממוצע בין אזור A לאזור B.

## שאלות:

- (1) מעוניינים לבדוק האם קיים הבדל בין ממוצע ציוני הפסיכומטרי של חיילים לממוצע ציוני הפסיכומטרי של תלמידי תיכון. ידוע שציוני הפסיכומטרי מתפלגים נורמאלית עם סטיית תקן 100. במדגם של 16 נבחנים חיילים התקבל ממוצע 543. במדגם של 20 תלמידי תיכון התקבל ממוצע 508. בנו רווח סמך לפער תוחלות הציונים בין חיילים לתלמידי תיכון ברמת סמך של 90%. מה ניתן להסיק מרווח סמך זה?
- (2) ציוני IQ מתוכננים כך שיתפלגו נורמאלית עם סטיית תקן של 15. במדגם של 20 נבחנים ישראלים התקבל ממוצע ציונים 104. במדגם של 23 נבחנים אמריקאיים התקבל ממוצע ציונים 99. א. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לפער בין ישראל לארה"ב בממוצע הציונים במבחן ה-IQ. ב. האם קיים הבדל בין ישראלים לאמריקאים מבחינת ממוצע הציונים?
- (3) חברה להנדסת בניין מעוניינת להשוות ברמת הקשיות של שני סוגי ברגים. ידוע שרמת הקשיות של ברגים מתפלגת נורמלית עם סטיית תקן של 4 יחידות. במדגם של 15 ברגים מסוג א' התקבל רמת קשיות ממוצעת של 28 יחידות ובמדגם של 12 ברגים מסוג ב' התקבל רמת קשיות ממוצעת של 25. עבור אילו רמות בטחון יקבע שאין הבדל בין שני סוגי הברגים מבחינת ממוצע רמת הקשיות שלהם?

## תשובות סופיות:

- (1)  $(-20, 90)$ .
- (2) א.  $-3.99 < \mu_1 - \mu_2 < 13.99$ .  
ב. לא נוכל לטעון בביטחון של 95% שקיים הבדל בין ישראל לארה"ב.
- (3) רמות בטחון הגבוהות מ-0.9476.

## 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)
- $$-9.6 < \mu_y - \mu_x < 1.6$$

## כששונויות האוכלוסייה לא ידועות והמדגמים גדולים:

### 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. מדגמים גדולים.

2. מדגמים בלתי תלויים.

$$\text{רווח סמך: } (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$$

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

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

יבואן רכב מעוניין להשוות בין רכבים יפנים לעומת רכבים אמריקאים מבחינת תצרוכת הדלק שלהם. נדגמו 40 רכבים מכל סוג. לכל רכב נבדק כמות הק"מ שהמכונית נסעה עבור 1 ליטר דלק במהירות של 100 קמ"ש. התוצאות שהתקבלו במדגם הם: ברכבים היפנים ממוצע 12.5 עם סטיית תקן 1.5 וברכבים האמריקאים הממוצע 11.3 עם סטיית תקן של 1.4.

א. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לפער הממוצעים של צריכת הדלק של מכוניות יפניות לעומת אמריקאיות.

ב. האם על סמך רווח הסמך ניתן לקבוע שקיים הבדל בין שני סוגי הרכבים מבחינת צריכת הדלק?

## שאלות:

- (1) במדגם של 45 תלמידים הלומדים משפטים התקבל שבשבוע הם לומדים בממוצע 4 שעות עם סטיית תקן 2 שעות מעבר לשעות הלימוד בכיתה. במדגם של 55 תלמידים הלומדים הנדסה התקבל שבשבוע הם לומדים בממוצע 10 שעות עם סטיית תקן של 3 שעות.
- א. אמדו את הפרש ממוצעי שעות הלמידה של סטודנטים למשפטים לעומת סטודנטים להנדסה ברמת בטחון של 90%.
- ב. האם קיים הבדל בין סטודנטים למשפטים ולסטודנטים להנדסה מבחינת ההשקעה שלהם מעבר לשעות הלימוד בכיתה?
- (2) מחקר טוען שאנשים החיים במרכז הארץ צופים בממוצע בטלוויזיה יותר מאנשים שלא חיים במרכז. נדגמו 100 אנשים מהמרכז ו-107 אנשים לא מהמרכז. אנשים אלו נשאלו כמה שעות ביום הם נוהגים לצפות בטלוויזיה. במדגם של מרכז הארץ התקבל ממוצע 2.7 שעות וסטיית תקן של 0.7 שעות. במדגם של מחוץ למרכז הארץ התקבל ממוצע 1.8 שעות וסטיית תקן של 1.1 שעות.
- מצאו רווח סמך לפער בין ממוצע שעות הצפייה בטלוויזיה בין שני האזורים בביטחון של 95%.

## תשובות סופיות:

- (1) א.  $-5.17 < \mu_1 - \mu_2 < -6.83$ . ב. כן.
- (2) כן, בביטחון של 90% סטודנטים להנדסה לומדים יותר מסטודנטים למשפטים.

## סטטיסטיקה

פרק 23 - רווח סמך לתוחלת (ממוצע) ההפרשים במדגמים מזווגים

תוכן העניינים

1. רווח סמך לתוחלת (ממוצע) ההפרשים במדגמים מזווגים ..... 119

## 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)  $-0.013 < \mu < 0.185$  .

# סטטיסטיקה

פרק 24 - רווח סמך לשונות וסטיית תקן

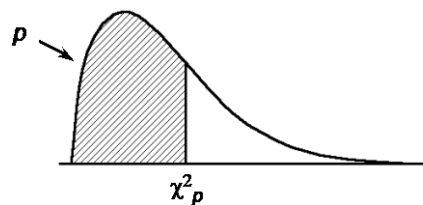
תוכן העניינים

1. רווח סמך לשונות וסטיית תקן.....121

## רווח סמך לשונות וסטיית תקן:

### רקע:

בפרק זה נדון על בניית רווח סמך לשונות האוכלוסייה. התנאי לבניית רווח הסמך: המשתנה הנחקר מתפלג נורמלית, למרות שנהוג לא לדרוש את התנאי הזה אם המדגם מספיק גדול. רווח הסמך יתבסס על התפלגות הנקראת חי בריבוע. התפלגות זו היא התפלגות אסימטרית חיובית המתחילה מהערך אפס ותלויה בדרגות חופש. דרגות החופש במקרה זה יהיו:  $n-1$ .



$$\text{רווח הסמך לשונות: } \frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}, n-1}}$$

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

אם נרצה לבנות רווח סמך לסטיית תקן אז נוציא שורש לרווח סמך לשונות.

### דוגמה:

זמן התגובה מתפלג נורמלית. במטרה לאמוד את שונות זמן התגובה נדגמו 4 תצפיות. להלן התוצאות בשניות: 4.7, 5.2, 4.6, 5.3. בנו רווח סמך, ברמת סמך של 95%, לשונות זמן התגובה באוכלוסייה.

פתרון:

פרמטר:  $\sigma^2$ .

$$X \sim N(\mu, \sigma^2) = \text{זמן תגובה (בשניות)}.$$

תוצאות מדגם:  $n = 4$ .

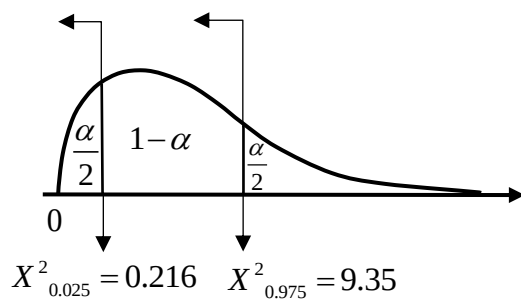


$$\bar{X} = \frac{4.7+5.2+4.6+5.3}{4} = 4.95$$

$$d.f = n-1 = 4-1 = 3$$

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

$$S^2 = \frac{4.7^2 + 5.2^2 + \dots - 4 \cdot 4.95^2}{4-1} = 0.123$$



$$1-\alpha = 0.95$$

$$\alpha = 0.05$$

$$\frac{\alpha}{2} = 0.025$$

(טבלת התפלגות חי-בריבוע מופיעה בעמוד האחרון).

$$\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}, n-1}} \quad \text{נציב:}$$

$$\frac{(4-1) \cdot 0.123}{9.35} < \sigma^2 < \frac{(4-1) \cdot 0.123}{0.216}$$

$$0.039 < \sigma^2 < 1.708$$

## שאלות:

(1) חמישה מטופלים קבלו תרופה מסוימת. בדקו לכל מטופל את זמני התגובה שלו. להלן הזמנים שהתקבלו בדקות: 18, 17, 21, 26, 28. בהנחה וזמני התגובה מתפלגים נורמאלית, בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לשונות זמן התגובה.

(2) נדגמו 20 ימים אקראיים מחודשי יולי-אוגוסט ונמדדה בהם הטמפ' במעלות צלזיוס בת"א. במדגם התקבל טמפ' ממוצעת 30.8 וסטיית תקן מדגמית 1.1. בהנחה והטמפ' מתפלגת נורמאלית:  
 א. בנו רווח סמך לתוחלת הטמפ' בחודשים אלה בת"א ברמת סמך של 95%.  
 ב. בנו רווח סמך לסטיית התקן של הטמפ' בחודשים אלה בת"א ברמת סמך של 95%.

(3) ציוני IQ בארה"ב מתפלגים נורמאלית עם ממוצע 100 וסטיית תקן 5. נבחנו 20 נבחנים ישראלים במבחן ה-IQ.

$$\sum_{i=1}^{20} X_i = 2080, \quad \sum_{i=1}^{20} X_i^2 = 218,220$$

להלן התוצאות שהתקבלו:

נניח שגם בישראל הציונים מתפלגים נורמאלית.

- א. מצאו אומדנים לממוצע הציונים בישראל ולשונות הציונים בישראל באמצעות אומדנים חסרי הטיה.
- ב. אמדו ברמת ביטחון של 95% את תוחלת הציונים של נבחנים בישראל.
- ג. אמדו ברמת סמך של 90% את סטיית התקן של הציונים של נבחנים ישראלים.
- ד. על סמך הסעיפים הקודמים, האם בישראל ממוצע הציונים וסטיית התקן של הציונים שונה מבארה"ב? הסבירו.

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

$$\sum_{i=1}^{10} X_i = 750, \quad \sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2 = 900$$

$$X_i \sim N(\mu, \sigma^2)$$

נתון ש:

- א. בנו רווח סמך ל- $\mu$  ברמת סמך של 95%.
- ב. בנו רווח סמך ל- $\sigma^2$  ברמת סמך של 95%.

### תשובות סופיות:

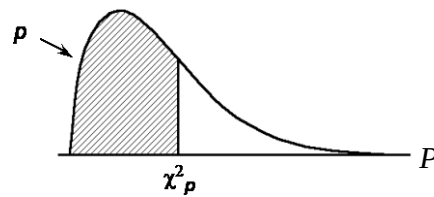
(1)  $8.4 < \sigma^2 < 194.2$

(2) א.  $30.285 < \mu < 31.315$  ב.  $0.836 < \sigma < 1.606$

(3) א. ממוצע: 104, שונות: 100. ב.  $99.32 \leq \mu \leq 108.68$  ג.  $7.94 < \sigma < 13.7$

ד. בביטחון של 95% ממוצע הציונים איננו שונה, ובביטחון של 90% סטיית התקן שונה.

(4) א.  $68.75 < \mu < 82.15$  ב.  $47.4 < \sigma^2 < 333.3$

נספח - טבלת התפלגות חי-בריבוע – ערכי החלוקה  $\chi^2_p$ :

| df | .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 |

## סטטיסטיקה

פרק 25 - שאלות מסכמות על רווחי סמך

תוכן העניינים

1. שאלות מסכמות על רווחי סמך ..... 126

## שאלות מסכמות על רווחי סמך:

### שאלות:

- (1) מהירות הגלישה באינטרנט במקום מסוים מתפלגת נורמאלית. בדקו את מהירות הגלישה ב-30 זמנים אקראיים. מהירות הגלישה נמדדה ב-Mbps. מהירות מתחת ל-10Mbps מוגדרת על ידי החברה כנמוכה. התוצאות שהתקבלו במדגם: ממוצע היה 87 עם סטיית תקן 17 ו-12 פעמים המהירות הייתה נמוכה. בנו רווחי סמך ברמת סמך של 95% לפרמטרים הבאים:
- תוחלת מהירות הגלישה.
  - סטיית תקן של מהירות הגלישה.
  - הסיכוי שמהירות הגלישה תהיה נמוכה.

- (2) 200 אנשים נשאלו כמה פעמים ביום הם שותים כוס קפה. להלן התפלגות התשובות:

| מספר פעמים | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
|------------|----|----|----|----|----|----|
| מספר אנשים | 86 | 34 | 28 | 22 | 20 | 10 |

- תנו רווח סמך לממוצע מספר כוסות הקפה שאנשים נוהגים לשתות ביום.  $\alpha = 0.05$ .
  - אדם השותה לפחות 4 כוסות קפה ביום נקרא "מכור לקפה". בנו רווח סמך לאחוז "המכורים לקפה".  $\alpha = 0.1$ .
- (3) חוקר בנה רווח סמך לאחוז האנשים שהתקררו לפחות פעם אחת בשנה. רווח הסמך שהתקבל הוא:  $0.81 < p < 0.91$ . רווח הסמך הנ"ל התבסס על מדגם של 500 איש.
- כמה אנשים במדגם טענו שכלל לא התקררו השנה?
  - באיזו רמת סמך נבנה רווח הסמך?
  - בנו רווח סמך לאחוז האנשים שהתקררו לפחות פעם אחת השנה ברמת סמך של 96% על סמך תוצאות המדגם.

- (4) ציוני IQ בארה"ב מתפלגים נורמאלית עם תוחלת 100. במדגם של 20 ישראלים שנבחנו במבחן ה-IQ התקבלו התוצאות הבאות:

$$\sum_{i=1}^{20} x_i = 2040, \quad \sum_{i=1}^{20} x_i^2 = 210740$$

- א. אמדו ברמת ביטחון של 90% את ממוצע ציוני בחינת ה-IQ בישראל – מהי ההנחה הדרושה לפתרון?  
 ב. על סמך רווח הסמך של סעיף א' האם תקבלו את הטענה שבישראל ממוצע הציונים שונה מארה"ב?  
 ג. מה היה קורה לרווח הסמך אם היינו מגדילים את רמת הסמך שלו?

- (5) להלן תוצאות מדגם שבדק עבור כל משפחה האם יש לה בבית מכשיר טאבלט:

| אזור מגורים            | גוש דן | שאר הארץ |
|------------------------|--------|----------|
| גודל המדגם             | 200    | 240      |
| מספר משפחות בעלי טאבלט | 160    | 168      |

- א. בנו רווח סמך להבדל בין אחוז המשפחות עם טאבלט בגוש דן ואחוז המשפחות בעלי טאבלט בשאר חלקי הארץ. ברמת סמך של 98%.  
 ב. בנו רווח סמך לפרופורציות משפחות בעלות טאבלט בכלל הארץ ברמת סמך של 95%.

- (6) הגובה של מתגייסים לצה"ל מתפלג נורמלית במדגם של 25 מתגייסים.

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

- א. אמדו את הגובה הממוצע של המתגייסים ברמת סמך של 98%.  
 ב. אמדו ברמת סמך של 90% את סטיית התקן של הגובה של מתגייסים של צה"ל.

- (7) בנק מתלבט האם לפתוח סניף באזור A או באזור B. לצורך פתרון נניח שסטיית התקן של המשכורת באזור A היא 1200 ובאזור B 1500. הבנק דגם 50 אנשים מאזור A, המשכורת הממוצעת שהתקבלה במדגם היא 6,800 ₪. כמו כן, נדגמו 40 אנשים מאזור B, המשכורת הממוצעת שהתקבלה במדגם היא 6,600 ₪.

- א. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% להפרש הממוצעים של המשכורות בשני האזורים. האם על סמך רווח הסמך ניתן להמליץ לבנק היכן לפתוח את הסניף. אם כן, היכן?  
 ב. בנו רווח סמך לתוחלת המשכורת באזור A ברמת סמך של 95%.

(8) להלן מדגם של שכר הדירה ב-9 של 5 דירות שלושה חדרים בשכונת בבלי בתל אביב:

|      |      |      |      |      |          |
|------|------|------|------|------|----------|
| 7500 | 6500 | 7000 | 7500 | 8000 | שנת 2012 |
| 7700 | 6800 | 7800 | 8200 | 8000 | שנת 2013 |

בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לתוחלת עליית שכר הדירה משנת 2012 לשנת 2013 בשכונת בבלי. ניתן להניח ששכר הדירה בשכונה מתפלג נורמלית.

### תשובות סופיות:

- (1) א.  $80.65 \leq \mu \leq 93.35$     ב.  $13.5 < \sigma < 22.9$     ג.  $0.225 \leq p \leq 0.575$
- (2) א.  $1.21 \leq \mu \leq 1.65$     ב.  $10.85\% \leq p \leq 19.15\%$
- (3) א. 70    ב. 0.9988    ג.  $83\% < p < 89\%$
- (4) א.  $97.4 \leq \mu \leq 106.6$     ב. לא    ג. יגדל.
- (5) א.  $0.5\% \leq p_1 - p_2 \leq 19.5\%$     ב.  $0.704 \leq p \leq 0.786$
- (6) א.  $170.8 \leq \mu \leq 181.6$     ב.  $8.8 \leq \sigma \leq 14.3$
- (7) א.  $-372 \leq \mu_A - \mu_B \leq 772$ , לא    ב.  $6467 \leq \mu_A \leq 7133$
- (8)  $-21 \leq \mu_D \leq 821$



# סטטיסטיקה

פרק 26 - מבוא לבדיקת השערות על פרמטרים

תוכן העניינים

|           |                |
|-----------|----------------|
| 129 ..... | 1. הקדמה       |
| 133 ..... | 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.
- רשמו את השערות המחקר.
  - מה מסקנת המחקר?
  - איזו סוג טעות יתכן וביצעו במחקר?
- (2) במחקר על פרמטר מסוים הוחלט בסופו של דבר לדחות את השערת האפס.
- האם ניתן לדעת אם בוצע טעות במחקר?
  - 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.
- מהי אוכלוסיית המחקר?
  - מה המשתנה הנחקר?
  - מה הפרמטר הנחקר?
  - מה השערות המחקר?
  - מה מסקנת המחקר?
  - 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.

## סטטיסטיקה

פרק 27 - בדיקת השערות על תוחלת (ממוצע)

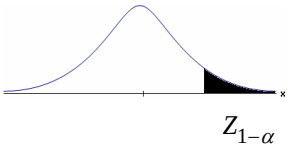
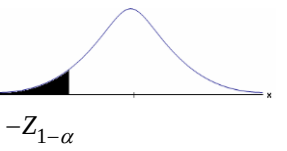
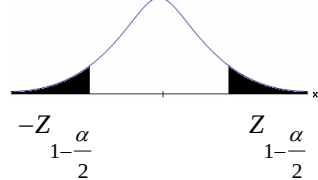
תוכן העניינים

|     |                                                              |
|-----|--------------------------------------------------------------|
| 135 | 1. בדיקת השערות על תוחלת (ממוצע) כששונות האוכלוסיה ידועה     |
| 139 | 2. סיכוי לטעויות ועוצמה (ששונות האוכלוסיה ידועה)             |
| 145 | 3. קביעת גודל מדגם (ששונות האוכלוסיה ידועה)                  |
| 148 | 4. מובהקות תוצאה - אלפא מינימלית (ששונות האוכלוסיה ידועה)    |
| 153 | 5. בדיקת השערות על תוחלת ( ממוצע) כששונות האוכלוסיה לא ידועה |
| 157 | 6. מובהקות תוצאה - אלפא מינימלית (ששונות האוכלוסיה לא ידועה) |
| 160 | 7. הקשר בין רווח סמך לבדיקת השערות על תוחלת (ממוצע)          |
| 162 | 8. ניתוח פלטים                                               |



## 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><br>דוחים את $H_0$ | $Z_{\bar{x}} < -Z_{1-\alpha}$<br><br>דוחים את $H_0$ | $Z_{\bar{x}} < -Z_{\frac{\alpha}{2}}$ או $Z_{\bar{x}} > Z_{\frac{\alpha}{2}}$<br><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 $H_0$ 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 שזוּבְלו 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.

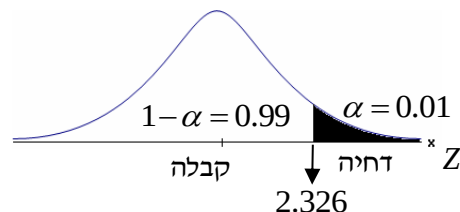
השערות:  
 $H_0: \mu = 10$   
 $H_1: \mu > 10$

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):

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

הסיכוי לבצע טעות מסוג 2:

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

רמת בטחון:

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

עוצמה:

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

## 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.  $n = 36$ .

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

$$\alpha = 0.05$$

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

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

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'.

## קביעת גודל מדגם (ששונות האוכלוסייה ידועה):

### רקע:

השערות המחקר הן:  $H_0: \mu = \mu_0$ ,  $H_1: \mu = \mu_1$ .

סטיית התקן של האוכלוסייה ידועה  $\sigma$  ומעוניינים לבצע מחקר שרמת המובהקות לא תעלה על  $\alpha$  והסיכוי לטעות מסוג שני לא יעלה על  $\beta$ .

$$n \geq \left( \frac{(Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta}) \times \sigma}{\mu_0 - \mu_1} \right)^2$$

הנוסחה הבאה נותנת את גודל המדגם הרצוי:

### דוגמה:

משרד החינוך מפעיל בגן חובה שיטת חינוך שפותחה בשנת 1995. לפי שיטת חינוך זו תוחלת הציון במבחן אוצר מילים לגיל הרך הוא 70. אנשי חינוך החליטו לבדוק שיטת חינוך שפותחה בהולנד הנותנת שם תוחלת ציון אוצר מילים של 80. נניח שציוני מבחן זה מתפלגים נורמאלית עם  $\sigma = 17$ . כדי לבדוק האם גם בישראל הפעלת שיטת החינוך ההולנדית תעבוד בגנים, רוצים לבנות מחקר ברמת מובהקות של 5%. כמו כן, מעוניינים שאם בהפעלת השיטה ההולנדית תוחלת הציונים תעלה לכדי 80, המחקר יגלה זאת בסיכוי של 90%. כמה ילדי גן חובה דרושים למחקר?

### פתרון:

האוכלוסייה: ילדי גן חובה.

המשתנה:  $X$  = ציון במבחן אוצר מילים.

הפרמטר:  $\mu$ .

השערות:  $H_0: \mu = 70$   
 $H_1: \mu = 80$

$$X \sim N(\mu, \sigma^2 = 17^2)$$

אם בהפעלת השיטה ההולנדית התוחלת תעלה ל-80, נגלה זאת בסיכוי 90%.

$$n \geq \left( \frac{(Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta}) \times \sigma}{\mu_0 - \mu_1} \right)^2$$

$$\alpha = 0.05$$

$$1 - \beta = 0.9$$

$$\mu_0 = 70$$

$$\mu_1 = 80$$

$$\sigma = 17$$

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

$$Z_{1-\beta} = Z_{0.9} = 1.282$$

$$n \geq \left( \frac{(1.645 + 1.282) \times 17}{70 - 80} \right)^2 = 24.76 \quad \text{נציב:}$$

$$\text{לכן, } n_{\min} = 25.$$

## שאלות:

- (1) במבחן אינטליגנציה הציונים מתפלגים נורמאלית עם סטיית תקן 8 וממוצע 100. פסיכולוג מעוניין לבדוק את הטענה שבאוכלוסיות במצב סוציו אקונומי נמוך תוחלת הציונים היא 95. אם מעוניינים לגלות את הטענה בהסתברות של לפחות 99% כשרמת המובהקות היא 5% מהו גודל המדגם הדרוש?
- (2) משרד התקשורת טוענים שאדם מדבר בממוצע 180 דקות בחודש בטלפון הסלולרי. חברות הטלפון הסלולרי טוענות שאינפורמציה זו אינה נכונה ואדם מדבר בממוצע פחות: כ-160 דקות. לצורך פתרון נניח שסטיית התקן של זמן השיחה החודשי ידוע ושווה ל-60 דקות. כמה אנשים יש לדגום כך שאם טענת משרד התקשורת נכונה נדחה אותה בסיכוי של 5% (איך קוראים להסתברות זאת?) כמו כן אם טענת חברות הטלפון הסלולרית נכונה המחקר יגלה זאת בסיכוי של 90% (איך קוראים להסתברות זאת?).
- (3) השערות המחקר הן:  $H_0: \mu = \mu_0$ ,  $H_1: \mu = \mu_1$ . כמו כן נתון שהמשתנה מתפלג נורמלית עם סטיית התקן ידועה  $\sigma$  מעוניינים לבצע מחקר שרמת המובהקות לא תעלה על  $\alpha$  והסיכוי לטעות מסוג שני לא יעלה על  $\beta$ . הוכיחו שגודל המדגם הרצוי לכך יהיה:
- $$n \geq \left( \frac{(Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta}) \times \sigma}{\mu_0 - \mu_1} \right)^2$$

## תשובות סופיות:

- (1) 41.  
(2) 78.  
(3) שאלת הוכחה.

## 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.



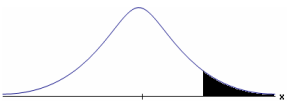
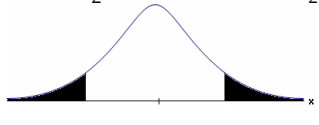
- (6) בבדיקת השערות התקבל שה-  $p\text{-value} = 0.02$ .  
מה תהיה מסקנת חוקר המשתמש ברמת מובהקות 1%?  
בחרו בתשובה הנכונה.
- א. יקבל את השערת האפס בכל מקרה.
  - ב. ידחה את השערת האפס מקרה.
  - ג. ידחה את השערת האפס רק אם המבחן הנו דו צדדי.
  - ד. לא ניתן לדעת כי אין מספיק נתונים.
- (7) מובהקות התוצאה (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'.

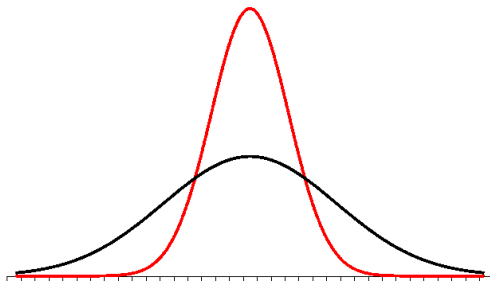
## בדיקת השערות על תוחלת (ממוצע) כששונות האוכלוסייה לא ידועה:

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.

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

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

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

$$d.f = n-1$$

**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:

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

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 הפנצלין היא 200 מ"ג לקפסולה. משרד הבריאות ביצע מדגם של 8 קפסולות אקראיות מקו הייצור ומצא שבממוצע יש 196 מ"ג פנצלין לקפסולה עם סטיית תקן מדגמית של 5 מ"ג. בהנחה וכמות הפנצלין בקפסולה מתפלגת נורמלית.  
א. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לממוצע כמות הפנצלין לקפסולה המיוצרת על ידי יצרן האנטיביוטיקה.  
ב. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם יש אמת באינפורמציה המסופקת על ידי היצרן.

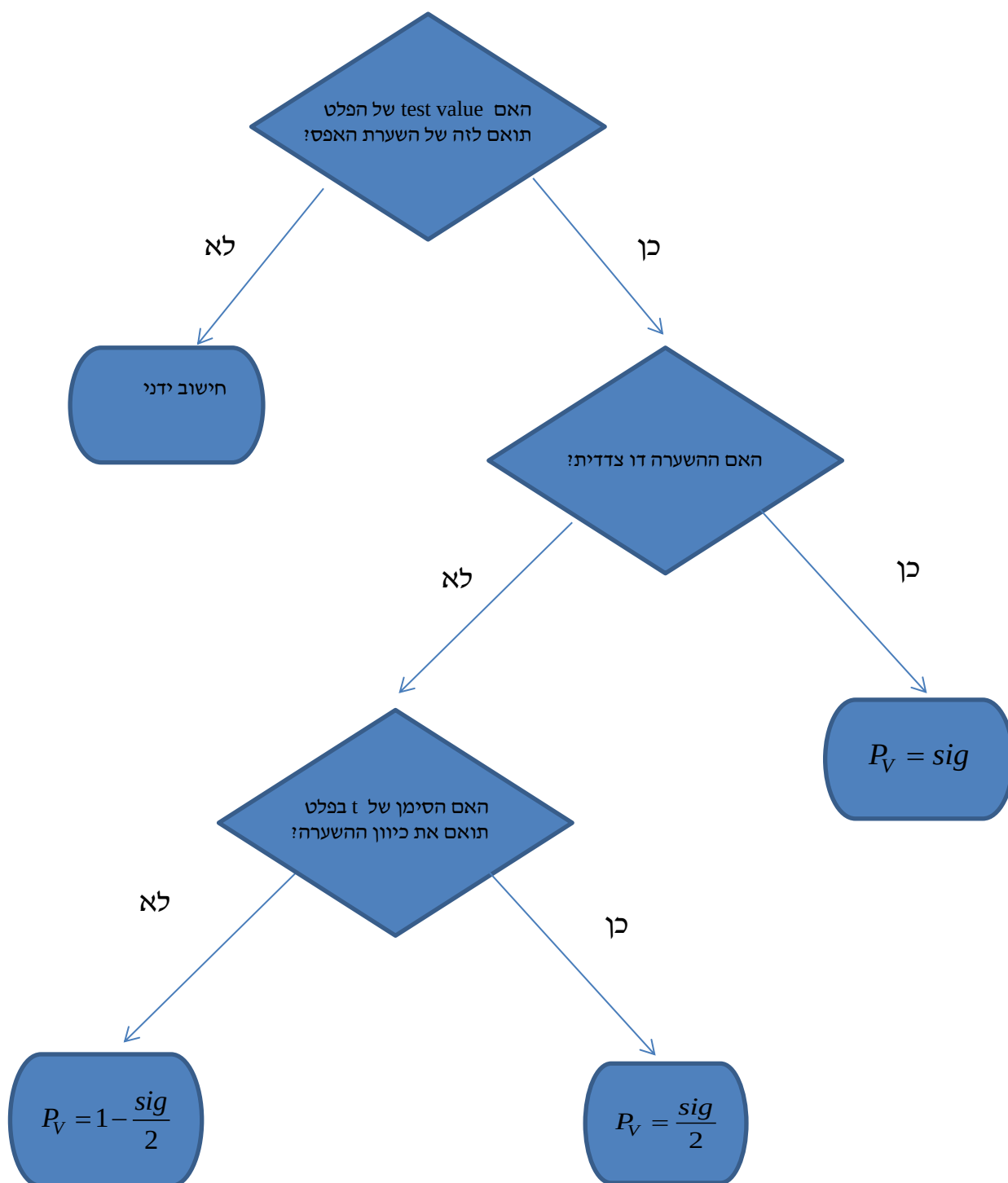
## תשובות סופיות:

- (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.

## ניתוח פלטים:

רקע:

חישוב מובהקות התוצאה באמצעות פלט תוכנת SPSS :



## דוגמה (פתרון בהקלטה):

One-Sample Statistics

|           | N  | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|-----------|----|---------|----------------|-----------------|
| $\bar{X}$ | 25 | 87.6400 | 64.90434       | 12.98087        |

One-Sample Test

| Test Value = 60 |       |    |                 |                 |                                           |         |
|-----------------|-------|----|-----------------|-----------------|-------------------------------------------|---------|
|                 |       |    |                 | Mean Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|                 | t     | df | Sig. (2-tailed) |                 | Lower                                     | Upper   |
| $\bar{X}$       | 2.129 | 24 | .044            | 27.64000        | .8488                                     | 54.4312 |

ממוצע הציונים במבחן המיצב בחשבון הוא 60. הוחלט לדגום כיתה אקראית של 25 תלמידים וללמד אותם בשיטת לימוד חדשה.

- מהו רווח הסמך לממוצע הציונים בחשבון אם יוחלט ליישם את שיטת הלימוד החדשה?
- מהו  $P_V$  לבדיקת יעילותה של שיטת הלימוד החדשה?
- מה יוכרע ברמת מובהקות של 5% לגבי יעילותה של שיטת הלימוד החדשה?

## שאלות:

- 1) באוניברסיטה גדולה גיל הסטודנטים לתואר ראשון מתפלג נורמאלי. בעבר פורסם שהגיל הממוצע של הסטודנטים הינו 23. להלן פלט תוכנת SPSS על מדגם של 16 סטודנטים אקראיים מתואר ראשון:

One-Sample Statistics

|     | N  | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|-----|----|---------|----------------|-----------------|
| age | 16 | 23.4375 | 2.50250        | .62562          |

One-Sample Test

|     | Test Value = 23 |    |                 |                 |                                           |        |
|-----|-----------------|----|-----------------|-----------------|-------------------------------------------|--------|
|     | t               | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |        |
|     |                 |    |                 |                 | Lower                                     | Upper  |
| age | .699            | 15 | .495            | .43750          | -.8960                                    | 1.7710 |

- א. מהו המבחן הסטטיסטי שנעשה כאן?  
 ב. מה ערכו של הפרמטר לפי השערת האפס?  
 ג. רשום רווח סמך ברמת סמך של 95% לתוחלת גיל הסטודנטים באוניברסיטה לתואר ראשון.  
 ד. בדוק ברמת מובהקות של 5% האם הגיל הממוצע כיום שונה מבעבר?

- 2) קבוצת ילדים בגיל 6 קיבלה משימה לביצוע. עבור כל ילד בדקו כמה זמן לקח לו לסיים את המשימה בדקות. להלן תוצאות הניתוח הסטטיסטי:

One-Sample Test

|      | Test Value = 4.5 |    |                 |                 |                                           |       |
|------|------------------|----|-----------------|-----------------|-------------------------------------------|-------|
|      | t                | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |       |
|      |                  |    |                 |                 | Lower                                     | Upper |
| time | -1.853           | 24 | .076            | -.09200         | -.1944                                    | .0104 |

- א. כמה ילדים השתתפו במחקר?  
 ב. מצא רווח סמך ברמת סמך של 95% לתוחלת זמן ביצוע המשימה עבור ילדים בני 6.  
 ג. מה יש להניח כדי שרווח הסמך מסעיף א' יהיה תקף?  
 ד. בדוק ברמת מובהקות של 5% שזמן ביצוע המשימה הממוצע נמוך מ-4.5 דקות.

3) להלן פלט מחשב עבור ניתוח סטטיסטי שנעשה בתוכנת SPSS. הניתוח הוא עבור מדגם אקראי של קבוצת נבחנים בבגרות באנגלית.

One-Sample Statistics

|       | N   | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|-------|-----|------|----------------|-----------------|
| grade | ??? | ???  | 19.62787       | 2.95901         |

One-Sample Test

|       | Test Value = 75 |    |                 |                 |                                           |       |
|-------|-----------------|----|-----------------|-----------------|-------------------------------------------|-------|
|       | t               | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |       |
|       |                 |    |                 |                 | Lower                                     | Upper |
| grade | ???             | 43 | .017            | -7.34091        | -13.3083                                  | ???   |

- א. השלימו את הגדלים החסרים המסומנים בסמני שאלה בפלט.  
 ב. מהי מובהקות התוצאה לבדיקת ההשערה שהתוחלת של הציונים שונה מ-75?  
 ג. מהי מובהקות התוצאה לבדיקת ההשערה שהתוחלת של הציונים קטנה מ-75?  
 ד. מהי מובהקות התוצאה לבדיקת ההשערה שהתוחלת של הציונים גדולה מ-75?

4) יצרן סיגריות מפרסם כי תוחלת הניקוטין בסיגריות שהוא מיצר קטנה מ-27 מ"ג. בבדיקה מקרית של 5 סיגריות מתוצרתו נמצאו כמויות הניקוטין הבאות: 21, 20, 24, 22 מ"ג. הניחו כי כמות הניקוטין בסיגריות מפולג נורמאלי.

One-Sample Statistics

|          | N | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|----------|---|---------|----------------|-----------------|
| nicotine | 5 | 21.6000 | 1.51658        | .67823          |

One-Sample Test

|          | Test Value = 27 |    |                 |                 |                                           |         |
|----------|-----------------|----|-----------------|-----------------|-------------------------------------------|---------|
|          | t               | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|          |                 |    |                 |                 | Lower                                     | Upper   |
| nicotine | -7.962          | 4  | .001            | -5.40000        | -7.2831                                   | -3.5169 |

- א. האם ברמת מובהקות של 5% ניתן להסיק שיש אמת בפרסום?  
 ב. אם היינו מוסיפים עוד תצפית שערכה 20. כיצד הדבר היה משפיע על הערך Sig ועל המסקנה?  
 ג. בדקו האם ניתן להגיד שתוחלת רמת הניקוטין שונה מ-26 ברמת מובהקות של 5%.

### תשובות סופיות:

- (1) א. הסקה של תוחלת אחת. ב. 23. ג. (22.104, 24.771). ד. נקבל  $H_0$ .
- (2) א. 25. ב. (4.3056, 4.5104). ג. המשתנה מתפלג נורמלית. ד. נדחה  $H_0$ .
- (3) א.  $n = 44$ ,  $\bar{X} = 67.66$ ,  $t = -2.48$ ,  $upper = -1.3735$ . ב. 0.017. ג. 0.0085. ד. 0.9915.
- (4) א. נכריע שיש אמת בפרסום. ב. המסקנה לא תשתנה. ג. נכריע שהתוחלת שונה מ-26.



## סטטיסטיקה

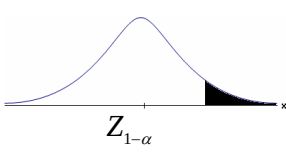
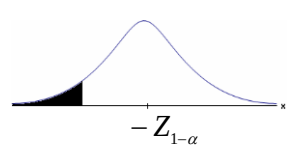
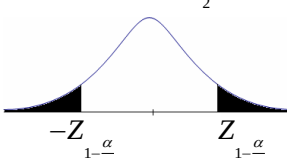
פרק 28 - בדיקת השערות על פרופורציה

תוכן העניינים

|     |                                   |
|-----|-----------------------------------|
| 167 | 1. התהליך                         |
| 170 | 2. סיכוי לטעויות ועוצמה           |
| 174 | 3. קביעת גודל מדגם                |
| 176 | 4. מובהקות התוצאה - אלפא מינימלית |

## התהליך:

רקע:

| השערת האפס:<br>השערת אלטרנטיבית:      | $H_0: p = p_0$<br>$H_1: p > p_0$                                                                                                     | $H_0: p = p_0$<br>$H_1: p < p_0$                                                                                                      | $H_0: p = p_0$<br>$H_1: p \neq p_0$                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| תנאים:                                | $np_0 \geq 5 \text{ \& } n(1-p_0) \geq 5$                                                                                            |                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                               |
| כלל ההכרעה:<br>אזור הדחייה של $H_0$ : | $Z_{\hat{p}} > Z_{1-\alpha}$<br><br>-דוחים את $H_0$ | $Z_{\hat{p}} < -Z_{1-\alpha}$<br><br>-דוחים את $H_0$ | או $Z_{\hat{p}} < -Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$<br>$Z_{\hat{p}} > Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$<br><br>-דוחים את $H_0$ |

סטטיסטי המבחן: 
$$Z_{\hat{p}} = \frac{\hat{p} - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}}$$

חלופה אחרת לכלל הכרעה:

| כלל ההכרעה – אזור הדחייה של $H_0$ :                              |                                                                  |                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\hat{p} > p_0 + Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$ | $\hat{p} < p_0 - Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$ | $\hat{p} > p_0 + Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$<br>$\hat{p} < p_0 - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$ |

דוגמה (פתרון בהקלטה):

בחודש ינואר השנה פורסם שאחוז האבטלה במשק הוא 8% במדגם עכשווי התקבל שמתוך 200 אנשים 6.5% מובטלים.  
בדקו ברמת מובהקות של 5% האם כיום אחוז האבטלה הוא כמו בתחילת השנה.

## שאלות:

- (1) במשך שנים אחוז המועמדים שהתקבל לפקולטה מסוימת היה 25%. השנה מתוך מדגם של 120 מועמדים התקבלו 22. ברמת מובהקות של 5% האם השנה הקשו על תנאי הקבלה?
- (2) במדגם של 300 אזרחים 57% מתנגדים להצעת חוק מסוימת. לאור נתונים אלה האם רוב האזרחים מתנגדים להצעת החוק? בדקו ברמת מובהקות של 10%.
- (3) הטילו מטבע 50 פעמים וקיבלו 28 פעמים עץ. האם המטבע הוגן ברמת מובהקות של 5%?
- (4) קפיטריה במכללה מסוימת מעריכה כי אחוז הסטודנטים שקונים קפה בקפיטריה הינו 20%. נערך סקר אשר כלל 200 סטודנטים. התברר כי 33 מהם רוכשים קפה בקפיטריה. מטרת הסקר הייתה לבדוק את אמיתות הערכה של הקפיטריה.
  - א. רשמו את ההשערות.
  - ב. בדקו את ההשערות ברמת מובהקות של 10%.
  - ג. מה תהיה המסקנה אם נקטין את רמת המובהקות?
- (5) חבר כנסת רוצה להעביר חוק. לצורך כך הוא דוגם 400 אזרחים במטרה לבדוק האם רוב האזרחים תומכים בחוק. במדגם התקבל ש-276 אזרחים תומכים בחוק.
  - א. מה מסקנתכם ברמת מובהקות של 5%?
  - ב. האם ניתן לדעת מה תהיה המסקנה אם רמת המובהקות תהיה גדולה יותר? הסבירו.
- (6) שני חוקרים בדקו את ההשערות הבאות:  $H_0: p = p_0$ ,  $H_1: p > p_0$ . חוקר א' השתמש ברמת מובהקות  $\alpha_1$  וחוקר ב' ברמת מובהקות  $\alpha_2$  החוקר הראשון דחה את  $H_0$  ואילו החוקר השני קיבל את  $H_0$ . שניהם התבססו על אותם תוצאות של מדגם. בחר בתשובה הנכונה:
  - א.  $\alpha_1 = \alpha_2$ .
  - ב.  $\alpha_1 > \alpha_2$ .
  - ג.  $\alpha_1 < \alpha_2$ .
  - ד. המצב המתואר לא אפשרי.

## תשובות סופיות:

- (1) נדחה  $H_0$ .
- (2) נדחה  $H_0$ .
- (3) נקבל  $H_0$ .
- (4) א.  $H_0: p = 0.2$   
 ב.  $H_1: p \neq 0.2$   
 ג. המסקנה לא תשתנה.
- (5) א. נדחה  $H_0$ .  
 ב. המסקנה לא תשתנה.
- (6) ג'.

## סיכוי לטעויות ועוצמה:

**רקע:**

**הגדרת הסתברויות:**

הסיכוי לבצע טעות מסוג 1 (רמת מובהקות):

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

הסיכוי לבצע טעות מסוג 2:

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

רמת בטחון:

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

עוצמה:

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

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

**התהליך לחישוב סיכוי לטעות מסוג שני:**

| השערת האפס:<br>השערה אלטרנטיבית:      | $H_0: p = p_0$<br>$H_1: p \neq p_0$                              | $H_0: p = p_0$<br>$H_1: p < p_0$                                 | $H_0: p = p_0$<br>$H_1: p > p_0$                                                                                                                               |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| תנאים:                                | $np_0 \geq 5 \text{ \& } n(1-p_0) \geq 5$                        |                                                                  |                                                                                                                                                                |
| כלל ההכרעה:<br>אזור הדחייה של $H_0$ : | $\hat{p} > p_0 + Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$ | $\hat{p} < p_0 - Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$ | $\hat{p} > p_0 + Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$<br>או<br>$\hat{p} < p_0 - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$ |

| חישוב $\beta$ :                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $P_{H_1} \left( \hat{p} < p_0 + Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} \right)$                                                                            |
| $P_{H_1} \left( p_0 - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} < \hat{p} < p_0 + Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} \right)$ |
| $P_{H_1} \left( \hat{p} > p_0 - Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} \right)$                                                                            |

כאשר:  $\hat{p} \sim N \left( p, \frac{p(1-p)}{n} \right)$

והתקנון:  $Z_{\hat{p}} = \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}}$

#### דוגמה (פתרון בהקלטה):

רופאי שיניים טוענים שיותר ממחצית האוכלוסייה הבוגרת בארץ אינם מבקרים אצל רופא שיניים באופן קבוע, כנדרש. כדי לבדוק טענה זו, נערך סקר בקרב 150 אנשים בוגרים.

א. רשמו את ההשערות וכלל הכרעה ברמת מובהקות של 10%.

ב. מהי עוצמת המבחן אם מסתבר ש 60% מהאוכלוסייה אינם מבקרים אצל רופא שיניים באופן קבוע.

## שאלות:

- (1) משרד הבריאות פרסם ש-10% מתושבי המדינה סובלים ממחלת האסטמה. מחקר דורש לבדוק האם בחיפה, בגלל זיהום האוויר, שיעור הסובלים מאסטמה גבוה יותר. לצורך המחקר נבדקו 260 מתושבי חיפה.
  - א. רשמו את השערות המחקר, וצרו מבחן ברמת מובהקות של 5% לבדיקתן.
  - ב. מהי עצמת המבחן של סעיף א' בהנחה ובחיפה 16% מהתושבים סובלים מאסטמה?
  - ג. כיצד תשנה התשובה לסעיף ב' אם מסתבר שבחיפה 18% סובלים מאסטמה?
  - ד. בהמשך לסעיף א' האם נכון לומר שבהסתברות של 5% ההשערה שבחיפה 10% מהתושבים סובלים מאסטמה אינה נכונה?
- (2) אחוז הסובלים מתופעות הלוואי מתרופה מסוימת הוא 15%. חברת תרופות טוענת שפיתחה תרופה שאמורה לצמצם את אחוז הסובלים מתופעות לוואי. לצורך בדיקת הטענה הוחלט לבצע מחקר שיכלול 120 חולים שיקבלו את התרופה הנבדקת.
  - נניח שהתרופה נבדקת אכן מורידה את פרופורציות הסובלים מתופעות הלוואי ל-10%, מהי עצמת המבחן עבור רמת מובהקות של 5%?
- (3) בעיר מסוימת היו 20% אקדמאים. בעקבות פתיחת מכללה בעיר לפני כמה שנים מעוניינים לבדוק האם אחוז האקדמאים גדל. מעוניינים שהמחקר יכלול 200 אנשים והוא יהיה ברמת מובהקות של 5%.
  - א. חשבו את הסיכוי לבצע טעות מסוג שני בהנחה והיום יש 28% אקדמאים.
  - ב. כיצד התשובה לסעיף הקודם תשתנה אם נגדיל את רמת המובהקות?
- (4) מעוניינים לבדוק האם בפקולטה מסוימת ישנה העדפה לגברים. הוחלט לדגום 200 מתקבלים ועל סמך מספר הבנים לקבוע אם טענת המחקר מתקבלת. חוקר א' קבע רמת מובהקות של 5% וחוקר ב' החליט לקבל את טענת המחקר אם במדגם יהיו לפחות 120 בנים. למי מבין החוקרים רמת מובהקות גדולה יותר?
- (5) חוקר ביצע מחקר ובו עשה טעות מסוג שני לכן (בחרו בתשובה הנכונה):
  - א. השערת האפס נכונה.
  - ב. השערת האפס נדחתה.
  - ג. השערת האפס לא נדחתה.
  - ד. אף אחת מהתשובות לא נכונה בהכרח.
- (6) קבעו אם הטענה הבאה נכונה: בבדיקת השערות לא ניתן לבצע בו זמנית טעות מסוג ראשון וטעות מסוג שני.

## תשובות סופיות:

- (1) א.  $H_0 : p = 0.1$   
 ב. 0.9015 ג. תגדל. ד. טענה לא נכונה.  
 $H_1 : p > 0.1$
- (2) 0.4404
- (3) א. 0.1446 ב. תקטן.
- (4) חוקר א'.
- (5) ג'.
- (6) נכונה.



## קביעת גודל מדגם:

### רקע:

השערות המחקר הן:  $H_0: p = p_0$  ,  $H_1: p = p_1$  : מעוניינים לבצע מחקר שרמת המובהקות לא תעלה על  $\alpha$  והסיכוי לטעות מסוג שני לא יעלה על  $\beta$ .

הנוסחה הבאה נותנת את גודל המדגם הרצוי:

$$n \geq \left( \frac{Z_{1-\alpha} \sqrt{p_0 q_0} + Z_{1-\beta} \sqrt{p_1 q_1}}{p_0 - p_1} \right)^2$$

### דוגמה (פתרון בהקלטה):

רוצים לבדוק האם אחוז האנשים השוהים בשמש ללא הגנה ירד בעקבות הפרסומת על נזקי השמש.  
בעבר 60% מהאוכלוסייה שהתה בשמש ללא הגנה. מה גודל המדגם המינימלי שיש לקחת כדי לבדוק שהאחוז הנ"ל ירד ל-48% אם מעוניינים שהסיכוי לטעות מסוג ראשון יהיה 5% והסיכוי לטעות מסוג שני יהיה 1%?

### שאלות:

- (1) משרד התמ"ת פרסם שאחוז האבטלה במשק היום עומד על 8%. לעומתו, משרד הפנים טוען שחלה עלייה בשיעור האבטלה עד לכדי 11%. כדי לבדוק מי מבניהם צודק, מה צריך להיות גודל המדגם שיענה על שני התנאים הבאים:
- א. אם משרד התמ"ת צודק, נדחה את טענתו בסיכוי של 10%.
- ב. אם משרד הפנים צודק, נדחה את טענתו בסיכוי של 4%.
- (2) מפעיל קזינו מפרסם שהסיכוי לזכות במכונת מזל הינו 0.42. אדם טוען שהסיכויים לזכות במשחק נמוכים יותר. כמה פעמים יש לשחק את המשחק כדי שאם טענת מפעיל הקזינו נכונה נקבל את טענת האדם בסיכוי של 1% ואם במציאות הסיכוי לזכות במכונה הוא 0.3 נקבל את מפעיל הקזינו בסיכוי של 8%?

### תשובות סופיות:

(1) .891

(2) .224

## מובהקות התוצאה – אלפא מינימלית:

### 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 אלטרנטיבית: | $H_0 : p = p_0$<br>$H_1 : p > p_0$ | $H_0 : p = p_0$<br>$H_1 : p < p_0$ | $H_0 : p = p_0$<br>$H_1 : p \neq p_0$                                                                                                      |
|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| תנאים:                           | $np_0 \geq 5 \& n(1-p_0) \geq 5$   |                                    |                                                                                                                                            |
| p-value                          | $P_{H_0}(\hat{p} \geq \hat{p})$    | $P_{H_0}(\hat{p} \leq \hat{p})$    | אם $2 \cdot P_{H_0}(\hat{p} \geq \hat{p}) \Leftarrow \hat{p} > p_0$<br>אם $2 \cdot P_{H_0}(\hat{p} \leq \hat{p}) \Leftarrow \hat{p} < p_0$ |

כאשר בהנחת השערת האפס:  $\hat{P} \sim N\left(p_0, \frac{p_0(1-p_0)}{n}\right)$

התקנון:  $Z_{\hat{p}} = \frac{\hat{p} - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}}$

**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

ישנה טענה שיש הבדל בין אחוז הבנים ואחוז הבנות הפונים ללמוד להנדסאי מחשבים. לשם כך נלקח מדגם מקרי של 200 תלמידים הלומדים מחשבים והתברר כי 112 מהם בנים.

א. מהי מובהקות התוצאה?

ב. מה המסקנה ברמת מובהקות של 5%?

## שאלות:

- (1) במשך שנים אחוז המועמדים שהתקבל לפקולטה מסוימת היה 25%. השנה מתוך מדגם של 120 מועמדים התקבלו 22. רוצים לבדוק האם השנה הקשו על תנאי הקבלה.  
א. מהי מובהקות התוצאה?  
ב. מה תהיה המסקנה ברמת מובהקות של 1% וברמת מובהקות של 5%?
- (2) נהוג לחשוב ש-60% מהילדים בגיל שלוש קמים מהמיטה במהלך הלילה לפחות פעם אחת. ישנה טענה שללא שנת צהריים פחות מ-60% מהילדים בגיל זה יקומו לפחות פעם אחת במהלך הלילה. נדגמו 80 ילדים בגיל 3 אשר אינם ישנים בצהריים מתוכם התקבל ש-41 קמו במהלך הלילה.  
א. מהי רמת המובהקות המינימלית עבורה תתקבל הטענה במחקר?  
ב. מהי רמת המובהקות המקסימלית עבורה לא תתקבל טענת המחקר?  
ג. עבור אילו רמות מובהקות נקבל את טענת המחקר?  
ד. מה תהיה מסקנת המחקר ברמת מובהקות של 6%?
- (3) במטרה לבדוק האם מטבע הוא הוגן מטילים אותו 80 פעמים. התקבל ש-60 מההטלות הראו עץ. רשמו את השערות המחקר, חשבו את מובהקות התוצאה והסיקו מסקנה ברמת מובהקות של 5%.
- (4) בבדיקת השערות על פרופורציה התקבל שה-  $p\text{-value} = 0.02$ .  
מה תהיה מסקנת חוקר המשתמש ברמת מובהקות 5%:  
(בחרו בתשובה הנכונה)  
א. יקבל את השערת האפס  
ב. ידחה את השערת האפס.  
ג. לא ניתן לדעת כי אין מספיק נתונים.
- (5) קבעו אם הטענה הבאה נכונה:  
"במבחן לבדיקת השערות חד-צדדי התקבל ערך  $p\text{-value}$  של 3%,  
לכן אם היינו מבצעים מבחן דו-צדדי (כאשר יתר הנתונים ללא שינוי),  
היינו מקבלים ערך  $p\text{-value}$  של 6%".
- (6) במפעל 10% מהעובדים נפגעים לפחות פעם אחת בשנה מתאונות עבודה. לאור זאת, המפעל החליט לצאת בתוכנית לצמצום שיעור הנפגעים. תכנית זו נוסתה על 100 עובדים. מתוכם 12 נפגעו בתאונות עבודה במשך השנה. מהי רמת המובהקות הקטנה ביותר עבורה יוחלט שהתכנית יעילה?

### תשובות סופיות:

- (1) א. 0.0455.  
 ב. ברמת מובהקות של 1% : לא דוחים את  $H_0$ .  
 ברמת מובהקות של 5% : נדחה את  $H_0$ .
- (2) א. 0.0548.      ב. 0.0548.      ג. מעל 0.0548.  
 ד. נכריע לטובת טענת המחקר.
- (3)  $p_v = 0$ , נדחה את  $H_0$ .
- (4) ב'.
- (5) הטענה נכונה.
- (6) 0.7486.

# סטטיסטיקה

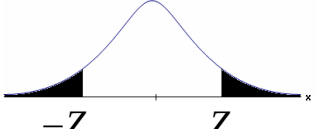
פרק 29 - בדיקת השערות על הפרש פרופורציות

תוכן העניינים

1. כללי ..... 180

## בדיקת השערות על הפרש פרופורציות

### רקע

| השערת האפס :<br>השערה אלטרנטיבית:                                                                                                                                     | 1. מדגמים בלתי תלויים                                                                                                                                                   | 2. מדגמים גדולים                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| $H_0: p_1 - p_2 = 0$<br>$H_1: p_1 - p_2 > 0$                                                                                                                          | $H_0: p_1 - p_2 = 0$<br>$H_1: p_1 - p_2 < 0$                                                                                                                            | $H_0: p_1 - p_2 = 0$<br>$H_1: p_1 - p_2 \neq 0$                                                                                                                                                                                                                                  |                                |
| תנאים:                                                                                                                                                                | 1. מדגמים בלתי תלויים                                                                                                                                                   | 2. מדגמים גדולים                                                                                                                                                                                                                                                                 | כלל ההכרעה:<br>אזור הדחייה של: |
| $Z_{\hat{p}_1 - \hat{p}_2} > Z_{1-\alpha}$<br><br>$Z_{1-\alpha}$<br>- דוחים את $H_0$ | $Z_{\hat{p}_1 - \hat{p}_2} < -Z_{1-\alpha}$<br><br>$-Z_{1-\alpha}$<br>- דוחים את $H_0$ | או $Z_{\hat{p}_1 - \hat{p}_2} < -Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$<br>$Z_{\hat{p}_1 - \hat{p}_2} > Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$<br><br>$-Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$<br>- דוחים את $H_0$ |                                |

$$Z_{\hat{p}_1 - \hat{p}_2} = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n_1} + \frac{\hat{p}\hat{q}}{n_2}}} \quad \text{סטטיסטי המבחן:}$$

$$\hat{p} = \frac{y_1 + y_2}{n_1 + n_2} = \frac{n_1 \hat{p}_1 + n_2 \hat{p}_2}{n_1 + n_2} \quad \text{כאשר הפרופורציה המשוקללת:}$$



## חלופה אחרת לכלל הכרעה:

| כלל ההכרעה: אזור הדחייה של $H_0$                                                                                |                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\hat{p}_1 - \hat{p}_2 < 0 - Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n_1} + \frac{\hat{p}\hat{q}}{n_2}}$ | $\hat{p}_1 - \hat{p}_2 > 0 + Z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n_1} + \frac{\hat{p}\hat{q}}{n_2}}$            |
|                                                                                                                 | $\hat{p}_1 - \hat{p}_2 < 0 - Z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n_1} + \frac{\hat{p}\hat{q}}{n_2}} \text{ או}$ |
| $\hat{p}_1 - \hat{p}_2 > 0 + Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n_1} + \frac{\hat{p}\hat{q}}{n_2}}$ |                                                                                                                              |

התפלגות של  $\hat{p}_1 - \hat{p}_2$ :  $\hat{p}_1 - \hat{p}_2 \sim N(p_1 - p_2, \frac{p_1 \cdot q_1}{n_1} + \frac{p_2 \cdot q_2}{n_2})$

$$Z_{\hat{p}_1 - \hat{p}_2} = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2 - (p_1 - p_2)}{\sqrt{\frac{\hat{p}_1 \hat{q}_1}{n_1} + \frac{\hat{p}_2 \hat{q}_2}{n_2}}}$$

תקנון:

$$Z_{\hat{p}_1 - \hat{p}_2} \stackrel{H_0}{=} \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n_1} + \frac{\hat{p}\hat{q}}{n_2}}}$$

## דוגמה (פתרון בהקלטה):

נדגמו 80 סטודנטים שנבחנו במיקרו-כלכלה. מתוכם 60 עברו את הבחינה.  
 נדגמו 100 סטודנטים שנבחנו בסטטיסטיקה א'. מתוכם 82 עברו את הבחינה.  
 האם שיעור העוברים את הבחינה בסטטיסטיקה גבוה מאשר מהבחינה במיקרו כלכלה? בדקו ברמת מבוהקות של 10%.

## שאלות

- (1) במדגם של 200 גברים, 8% היו מובטלים. במדגם של 180 נשים, 10% מהן היו מובטלות.  
האם קיים הבדל מובהק בין פרופורציית המובטלים לפרופורציית המובטלות?  
בדקו ברמת מובהקות של 5%.
- (2) אחוז בעלי רישיון נהיגה בקרב האוכלוסייה הבוגרת הינו 60%. במדגם של 300 בוגרים מתל אביב 204 היו בעלי רישיון נהיגה.  
במדגם של 220 בוגרים מירושלים 100 היו בעלי רישיון נהיגה.  
א. ברמת מובהקות של 5% האם תקבלו את הטענה שאחוז בעלי הרישיון בתל אביב גבוה מהאחוז הארצי?  
ב. ברמת מובהקות של 10% האם תקבלו את הטענה שאחוז בעלי הרישיון נהיגה בתל אביב גבוה מאחוז בעלי רישיון הנהיגה בירושלים?
- (3) נדגמו 500 בוגרים מתוכם 200 גברים והיתר נשים. במדגם התקבל: מתוך הגברים ל-48% תעודת בגרות. מתוך הנשים ל-58% תעודת בגרות. מטרת המחקר היא לבדוק האם שיעור הזכאיות לבגרות גבוה משיעור הזכאים.  
א. מהי מובהקות התוצאה?  
ב. מה תהיה המסקנה ברמת מובהקות של 8%?
- (4) במדגם שנערך על 100 פרות מחוות בדרום הארץ התקבל כי 20 פרות נושאות וירוס מסוים. במדגם שנערך על 200 פרות מחוות בצפון הארץ התקבל כי 10 מתוכן נושאות וירוס גם כן.  
א. בנו מבחן ברמת מובהקות של 5% לבדיקת הטענה כי הווירוס תקף את פרות הדרום באופן משמעותי יותר מאשר את הפרות בצפון הארץ.  
ב. מהי המסקנה לבדיקת הטענה של סעיף א ומהי הטעות האפשרית במסקנה?  
ג. מהי עוצמת המבחן אם שיעור הפרות בדרום עם הווירוס גבוה ב-10% משיעור הפרות בצפון עם הווירוס?  
ד. כיצד העוצמה תשתנה אם נגדיל את רמת המובהקות?

### תשובות סופיות

- (1) לא נדחה את  $H_0$ .
- (2) א. נדחה  $H_0$ .  
ב. נדחה  $H_0$ .
- (3) א. 0.0139  
ב. נדחה  $H_0$ .
- (4) א. ראה סרטון.  
ב. נדחה  $H_0$ .  
ג. 0.8238  
ד. תגדל.

## סטטיסטיקה

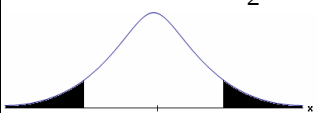
פרק 30 - בדיקת השערות על הפרש תוחלות במדגמים בלתי תלויים

תוכן העניינים

|     |                                                          |
|-----|----------------------------------------------------------|
| 184 | 1. כששונויות האוכלוסייה ידועות.....                      |
| 188 | 2. כששונויות האוכלוסייה אינן ידועות והמדגמים גדולים..... |
| 191 | 3. כששונויות האוכלוסייה לא ידועות ומניחים שהן שוות.....  |
| 195 | 4. ניתוח פלטים.....                                      |

## בדיקת השערות על הפרש תוחלות במדגמים בלתי תלויים

כשהשונות של האוכלוסייה ידועות – רקע

| $H_0 \quad \mu_1 - \mu_2 = c$<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>$H_1 \quad \mu_1 - \mu_2 \neq c$                                                                                                                                                                                                                   | השערת האפס:<br>השערה אלטרנטיבית:                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| מדגמים בלתי תלויים<br>$\sigma_1, \sigma_2$ ידועות<br>$X_1, X_2 \sim N$<br>או מדגמים מספיק גדולים                                                                    |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                     | תנאים:                                                                                          |
| $Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} > Z_{1-\alpha}$<br><br>$Z_{1-\alpha}$<br>דוחים את $H_0$ | $Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} < -Z_{1-\alpha}$<br><br>$-Z_{1-\alpha}$<br>דוחים את $H_0$ | או $Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} < -Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$<br>$Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} > Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$<br><br>$-Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$<br>דוחים את $H_0$ | כלל ההכרעה:<br>אזור הדחייה של $H_0$ :<br>$-Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ |

$$Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - c}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad \text{סטטיסטי המבחן:}$$

## חלופה אחרת לכלל הכרעה:

| נדחה $H_0$ אם מתקיים:                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > c + Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$ | $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > c + Z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$<br>או<br>$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < c - Z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$ |
| $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < c - Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$ |                                                                                                                                                                                                                              |

התפלגות הפרש הממוצעים:  $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 \sim N(\mu_1 - \mu_2, \frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2})$

$$Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad \text{התקנון:}$$

## דוגמה (פתרון בהקלטה):

בשנת 2004 הפער בין השכר הממוצע של הגברים לנשים היה 3000 ₪ לטובת הגברים. מעוניינים לבדוק האם כיום הצטמצם הפער בין הגברים לנשים מבחינת השכר הממוצע. נדגמו 100 עובדים גברים. שכרם הממוצע היה 9,072 ₪. נדגמו 80 עובדות, שכרן הממוצע היה 7809 ₪. לצורך פתרון נניח שסטיות התקן של השכר ידועות ושוות ל-2000 ₪ באוכלוסיית הנשים ו-3000 ₪ באוכלוסיית הגברים. מה המסקנה ברמת מבוהקות של 5%?

## שאלות

- (1) מחקר טוען שאנשים החיים במרכז הארץ צופים בממוצע בטלוויזיה יותר מאנשים שלא חיים במרכז. נדגמו 100 אנשים מהמרכז ו-107 אנשים לא מהמרכז. אנשים אלה נשאלו כמה שעות ביום הם נוהגים לצפות בטלוויזיה. במדגם של מרכז הארץ התקבל ממוצע 2.7 שעות. במדגם של מחוץ למרכז הארץ התקבל ממוצע 1.8 שעות. לצורך פתרון הניחו שבכל אזור, סטיית התקן היא שעה 1 ביום. בדקו את טענת המחקר ברמת מובהקות של 1%.
- (2) ציוני פסיכומטרי מתפלגים נורמלית עם סטיית תקן 100. מכון ללימוד פסיכומטרי טוען שהוא יכול לשפר את ממוצע הציונים ביותר מ-30 נקודות. במדגם של 20 נבחנים שניגשו למבחן ללא הכנה במכון התקבל ממוצע 508. במדגם של 25 נבחנים שעברו הכנה במכון התקבל ממוצע ציונים 561. מה מסקנתכם ברמת מובהקות של 5%.
- (3) במדגם אקראי של 20 ימים נבדקה התפוקה של מפעל ביום. התפוקה הממוצעת הייתה של 340 מוצרים ליום. במדגם אקראי של 20 ימים אחרים נבדקה התפוקה של המפעל בלילה והתפוקה הממוצעת הייתה 295. לצורך פתרון נניח שסטיית התקן של התפוקה ביום היא 40 מוצרים ובלילה 30 מוצרים.
  - א. מהי מובהקות התוצאה לבדיקה האם התפוקה הממוצעת היומית גבוהה מהתפוקה הממוצעת הלילית.
  - ב. מה תהיה המסקנה ברמת מובהקות של 8%?
- (4) במחקר מקיף שנעשה באירופה נקבע שגברים גבוהים מנשים ב-8 ס"מ בממוצע. מחקר ישראלי מתעניין לבדוק האם בישראל הפער גדול יותר. לצורך המחקר נדגמו 40 גברים ו-40 נשים באקראי. כמו כן, נניח שסטיות התקן של הגברים והנשים ידועות ושוות ל-6 ס"מ אצל הנשים ו-12 ס"מ אצל הגברים.
  - א. מהן השערות המחקר ומהו כלל ההכרעה ברמת מובהקות של 10%?
  - ב. אם בישראל הפער בין גברים לנשים מבחינת הגובה הממוצע הוא 11 ס"מ, מה ההסתברות שהמחקר לא יגלה זאת? איך קוראים להסתברות הזאת?

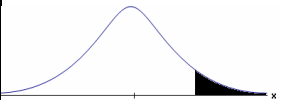
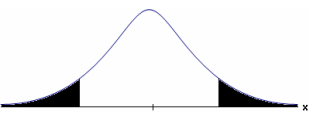
**תשובות סופיות**

- (1) נדחה  $H_0$ .
- (2) לא נדחה את  $H_0$ .
- (3) א. 0      ב. נדחה את  $H_0$ .
- (4) א. נדחה את  $H_0$ , אם במדגם הגברים יהיו גבוהים בממוצע מהנשים ביותר מ-10.72 ס"מ.  
ב. 0.6331



## בדיקת השערות על הפרש תוחלות במדגמים בלתי תלויים

כשהשונות של האוכלוסייה לא ידועות והמדגמים גדולים – רקע

| השערת האפס:<br>השערה אלטרנטיבית:                                                                                                                                     | השערת האפס:<br>השערה אלטרנטיבית:                                                                                                                                       | השערת האפס:<br>השערה אלטרנטיבית:                                                                                                                                                                                                                                             | השערת האפס:<br>השערה אלטרנטיבית:                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $H_0 \quad \mu_1 - \mu_2 = c$<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>$H_1 \quad \mu_1 - \mu_2 \neq c$                                                                                                                                                                                                            | תנאים:<br>1. מדגמים בלתי תלויים<br>2. $\sigma_1, \sigma_2$ לא ידועות<br>3. מדגמים מספיק גדולים |
| $Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} > Z_{1-\alpha}$<br><br>$Z_{1-\alpha}$<br>דוחים את $H_0$ | $Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} < -Z_{1-\alpha}$<br><br>$-Z_{1-\alpha}$<br>דוחים את $H_0$ | $Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} < -Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ או $Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} > Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$<br><br>$-Z_{1-\frac{\alpha}{2}}, Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$<br>דוחים את $H_0$ | כלל ההכרעה:<br>אזור הדחייה של $H_0$ :                                                          |

סטטיסטי המבחן: 
$$Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - c}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

## חלופה אחרת לכלל הכרעה:

| נדחה $H_0$ אם מתקיים:                                                                         |                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > c + Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$ | $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > c + Z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$<br>או<br>$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < c - Z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$ |
| $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < c - Z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$ |                                                                                                                                                                                                          |

## דוגמה (פתרון בהקלטה):

נרצה לבדוק האם קיים הבדל בין ממוצע ציוני הפסיכומטרי של חיילים לממוצע ציוני הפסיכומטרי של תלמידי תיכון. במדגם של 46 נבחנים חיילים התקבל ממוצע 543 וסטיית תקן 123. במדגם של 50 תלמידי תיכון התקבל ממוצע 508 וסטיית תקן 178. מה המסקנה ברמת מובהקות 5%?

## שאלות

(1) חברה להנדסת בניין מעוניינת להשוות ברמת הקשיות של שני סוגי ברגים. במדגם של 35 ברגים מסוג א' התקבל רמת קשיות ממוצעת של 28 יחידות וסטיית תקן 4, ובמדגם של 45 ברגים מסוג ב' התקבל רמת קשיות ממוצעת של 25 וסטיית תקן 6. האם על סמך תוצאות המדגם יש הבדל בין סוגי הברגים מבחינת רמת הקשיות שלהם? בדקו ברמת מובהקות של 5%.

(2) כדי לבדוק האם נהגים השותים תחת השפעת אלכוהול נוהגים מהר יותר מאלו שאינם שותים בוצע מדגם שבו בדקו את המהירות המקסימאלית של כל נהג בקמ"ש. להלן התוצאות:

| S  | $\bar{X}$ | גדול מדגם |                           |
|----|-----------|-----------|---------------------------|
| 20 | 80        | 70        | נהגים השותים אלכוהול      |
| 15 | 60        | 100       | נהגים שאינם שותים אלכוהול |

א. מהי מובהקות התוצאה?

ב. מה המסקנה ברמת מובהקות של 5%?

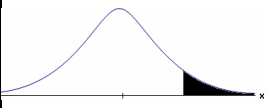
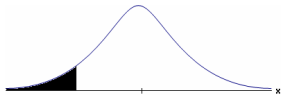
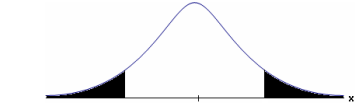
## תשובות סופיות

(1) נדחה את  $H_0$ .

(2) א. 0 ב. נדחה את  $H_0$ .

## בדיקת השערות על הפרש תוחלות במדגמים בלתי תלויים

כששונות האוכלוסייה לא ידועות ומניחים שהן שוות – רקע

| השערת האפס:<br>השערת 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.

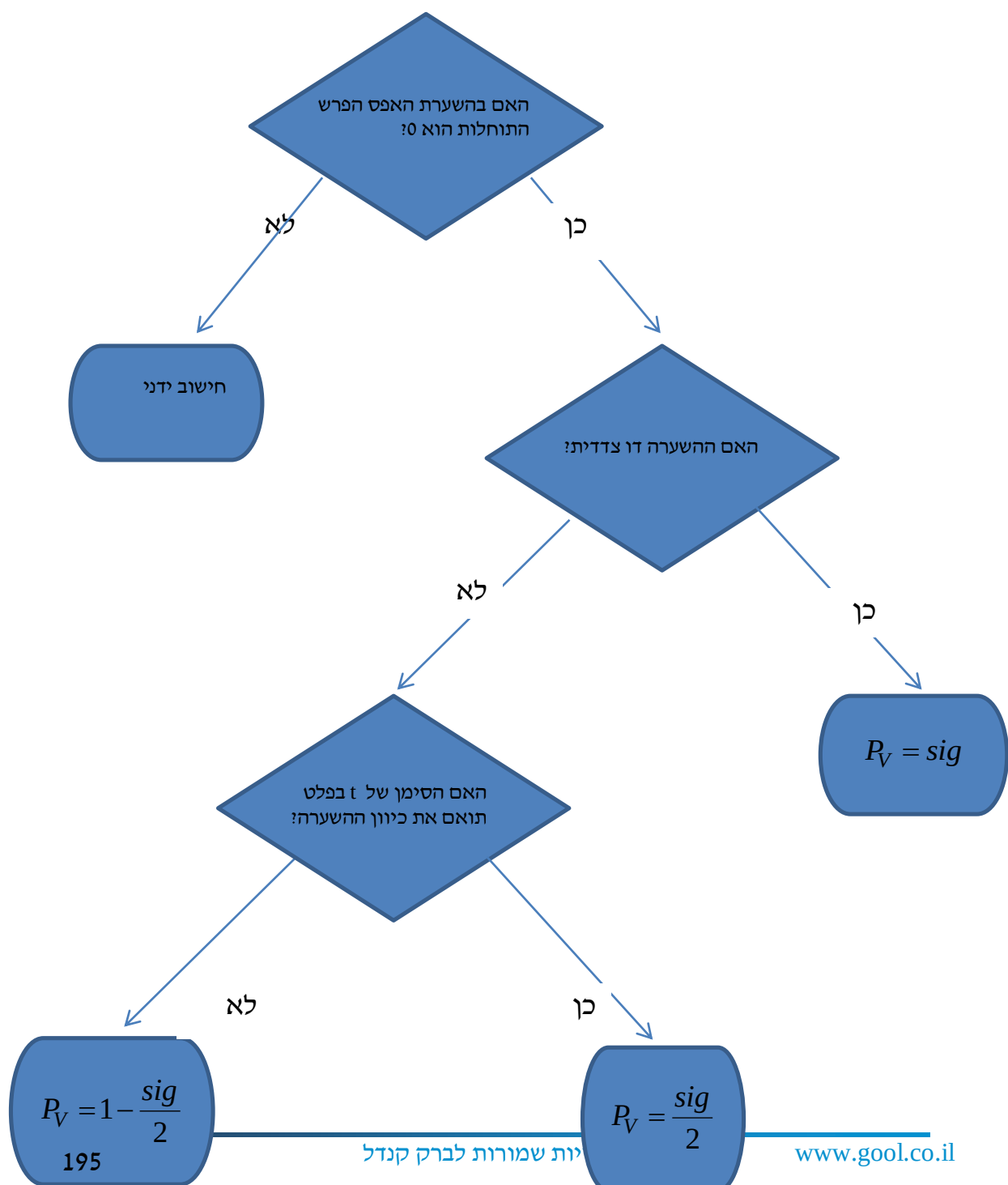
**תשובות סופיות**

- (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  $H_0$ .

## בדיקת השערות על הפרש תוחלות במדגמים בלתי תלויים

### ניתוח פלטים – רקע

מובהקות התוצאה על סמך הפלט:





### דוגמה (פתרון בהקלטה) :

בסקר שנערך בארה"ב בשנת 1993 נשאלו נסקרים משני אזורים שונים במדינה על מס' האחים והאחיות שלהם. להלן הפלט שהתקבל :

Group Statistics

|                                | Region of the United States | N   | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|--------------------------------|-----------------------------|-----|------|----------------|-----------------|
| Number of Brothers and Sisters | North East                  | 676 | 3.76 | 2.939          | .113            |
|                                | South East                  | 410 | 4.05 | 2.993          | .148            |

Independent Samples Test

|                                |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |         |                 |                 |                       |                                           |       |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|-------|
|                                |                             | F                                       | Sig. | t                            | df      | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |       |
|                                |                             |                                         |      |                              |         |                 |                 |                       | Lower                                     | Upper |
| Number of Brothers and Sisters | Equal variances assumed     | .173                                    | .677 | -1.583                       | 1084    | .114            | -.293           | .185                  | -.657                                     | .070  |
|                                | Equal variances not assumed |                                         |      | -1.576                       | 850.945 | .115            | -.293           | .186                  | -.658                                     | .072  |

- א. מהו המבחן הסטטיסטי שנעשה כאן?
- ב. בדוק ברמת מובהקות של 5% האם קיים שוויון שונויות בין שני האזורים?
- ג. בדוק האם קיים הבדל בין "South East" ל-"North East" ברמת מובהקות של 5% מבחינת מספר האחים והאחיות הממוצע.
- ד. מהי מובהקות התוצאה לבדיקת הטענה שההפרש הממוצע בין "South East" לבין "North East" חיובי?

## שאלות

- 1) להלן פלט מתוכנת SPSS מתוך מחקר שבחן את רמת האופטימיות של גברים ונשים. רמת האופטימיות נמדדה בסולם ציונים של 1 עד 5.

Group Statistics

|          | GENDER | N   | Mean   | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|----------|--------|-----|--------|----------------|-----------------|
| optimizm | MALE   | 633 | 2.6053 | .49781         | .01979          |
|          | FEMALE | 568 | 2.5503 | .48483         | .02034          |

Independent Samples Test

|          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |          |                 |                 |                       |                                           |        |
|----------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|--------|
|          |                             | F                                       | Sig. | t                            | df       | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |        |
|          |                             |                                         |      |                              |          |                 |                 |                       | Lower                                     | Upper  |
| optimizm | Equal variances assumed     | .383                                    | .536 | 1.935                        | 1199     | .053            | .05500          | .02842                | -.00076                                   | ?      |
|          | Equal variances not assumed |                                         |      | 1.938                        | 1190.977 | .053            | .05500          | .02838                | -.00068                                   | .11067 |

- א. האם ניתן להניח ששוונות האופטימיות של נשים וגברים שווה ברמת מובהקות של 5%?
- ב. ברמת מובהקות של 5% האם קיים הבדל בין הנשים לגברים ברמת האופטימיות הממוצעת שלהם?
- ג. מצא את הגבול העליון של רווח הסמך המסומן בסימן שאלה בפלט. דייק עד 5 ספרות אחרי הנקודה.
- ד. בנה רווח סמך לתוחלת רמת האופטימיות של הגברים ברמת סמך של 95%.

(2) פסיכולוגים טוענים שאנשים שניגשים למבחן אינטליגנציה יותר מפעם אחת נוטים לקבל ציונים גבוהים יותר. להלן הפלט שהתקבל:

### Group Statistics

|       |   | N  | Mean     | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|-------|---|----|----------|----------------|-----------------|
| grade | A | 9  | 96.8889  | 9.40006        | 3.13335         |
|       | B | 11 | 108.4545 | 11.46616       | 3.45718         |

| Independent Samples Test                |                             |      |      |                              |        |                 |                 |                       |                                           |          |
|-----------------------------------------|-----------------------------|------|------|------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|----------|
| Levene's Test for Equality of Variances |                             |      |      | t-test for Equality of Means |        |                 |                 |                       |                                           |          |
|                                         |                             | F    | Sig. | t                            | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |          |
|                                         |                             |      |      |                              |        |                 |                 |                       | Lower                                     | Upper    |
| grade                                   | Equal variances assumed     | .206 | .656 | -2.428                       | 18     | .026            | -11.56566       | 4.76333               | -21.57304                                 | -1.55828 |
|                                         | Equal variances not assumed |      |      | -2.479                       | 17.997 | .023            | -11.56566       | 4.66583               | -21.36832                                 | -1.76299 |

T-Test

מקרא:

A = נגשו פעם אחת.

B = נגשו יותר מפעם אחת.

א. רשמו את השערות המחקר והסבירו מהו המבחן המתאים כאן.

ב. כיצד הייתה משתנה התשובה לסעיף הקודם אם היה מדובר על אותם אנשים שציונם נבדק פעם אחרי המבחן הראשון שעשו ופעם אחרי המבחן השני?

ג. האם ניתן לומר כי מידת הפיזור של ציוני אנשים הנבחנים בפעם הראשונה שונה ממידת הפיזור של ציוני האנשים אשר נבחנים בפעם השנייה. בדוק ברמת מובהקות של  $\alpha = 0.05$ .

ד. האם נכונה טענת הפסיכולוגים ברמת מובהקות של  $\alpha = 0.01$ .

3) כחלק ממחקר בנושא הנישואין בישראל, אחד החוקרים העלה השערה שיש הבדל בממוצע גיל הנישואין (הראשונים), בין נשים הגרות בערים מרכזיות לבין נשים הגרות בערים מרוחקות מהמרכז. לשם כך נדגמו 50 כלות מכל אחת משתי ערים עיר א'-מרכזית ועיר ב'-מרוחקת ונרשם גילן. תוצאות עיבוד הנתונים מופיעות בטבלאות שלהלן:

## T-Test

Group Statistics

| מקום המגורים       | N  | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|--------------------|----|---------|----------------|-----------------|
| גיל הנישואין עיר א | 50 | 24.8072 | 1.38978        | .19654          |
| עיר ב              | 50 | 23.0131 | 1.62070        | .22920          |

Independent Samples Test

|              |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|              |                             | F                                       | Sig. | t                            | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|              |                             |                                         |      |                              |        |                 |                 |                       | Lower                                     | Upper   |
| גיל הנישואין | Equal variances assumed     | .330                                    | .567 | 5.942                        | 98     | .000            | 1.79415         | .30193                | 1.19497                                   | 2.39332 |
|              | Equal variances not assumed |                                         |      | 5.942                        | 95.772 | .000            | 1.79415         | .30193                | 1.19480                                   | 2.39350 |

- א. מהו המבחן הסטטיסטי שנעשה כאן?
- ב. מצא רווח סמך ברמת סמך של 95% להפרש בין עיר א לעיר ב מבחינת גיל הנשים הממוצע בנישואין הראשונים.
- ג. האם ניתן לומר ברמת מובהקות של 1% שנשים בערים מרכזיות מתחתנות בגיל מאוחר יותר מאשר נשים הגרות בערים מרוחקות?

## 4) להלן פלט של תוכנת SPSS :

## T-Test

|   | N  | Mean    | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---|----|---------|----------------|-----------------|
| X | 26 | 36.3077 | 13.23259       | 2.59513         |
| Y | 24 | 46.4583 | 20.96369       | 4.27920         |

## Independent Samples Test

|                             | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                             | F                                       | Sig. | t                            | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|                             |                                         |      |                              |        |                 |                 |                       | Lower                                     | Upper   |
| Equal variances assumed     | 4.446                                   | .040 | -2.164                       | ???    | .044            | -10.15064       | ???                   | -20.03781                                 | -.26347 |
| Equal variances not assumed |                                         |      | -2.038                       | 38.267 | .048            | ???             | 5.00462               | -20.27964                                 | -.02164 |

א. השלימו את סימני השאלה בטבלה.

ב. מהי מובהקות התוצאה לבדיקת הטענה שקיים הבדל בין השונות של  $X$  לזה של  $Y$ ?

ג. מהי מובהקות התוצאה לבדיקת הטענה שהתוחלת של  $X$  גדולה מהתוחלת של  $Y$ ?

ד. מהי מובהקות התוצאה לבדיקת הטענה שהתוחלת של  $X$  קטנה מהתוחלת של  $Y$ ?

## תשובות סופיות

- (1) א. נקבל את  $H_0$  ונכריע שיש שוויון שוניות.  
 ב. נקבע שלא קיים הבדל בין נשים לגברים מבחינת האופטימיות הממוצעת.  
 ג. 0.11076  
 ד.  $2.5665 \leq \mu \leq 2.6441$ .
- (2) א. מבחן T להפרש ממוצעים במדגמים בלתי תלויים.  
 ב. מבחן T למדגמים מזווגים.  
 ג. נקבל את  $H_0$ , נקבע לקיום שוויון שוניות.  
 ד. נקבל את  $H_0$ , לא נקבל את טענת הפסיכולוגים.
- (3) א. מבחן T להשוואת תוחלת במדגמים בלתי תלויים.  
 ב.  $1.19497 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 2.39332$  ג. כן.
- (4) א. 10.15, 4.69, -48  
 ב. 0.04  
 ג. 0.978  
 ד. 0.022

# סטטיסטיקה

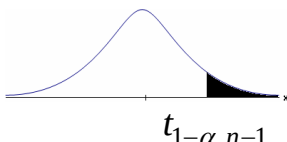
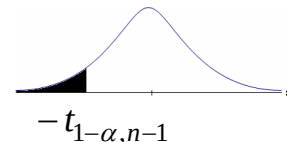
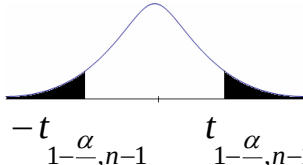
פרק 31 - בדיקת השערות לתוחלת ההפרש במדגמים מזווגים

תוכן העניינים

|     |                                 |
|-----|---------------------------------|
| 202 | 1. בדיקת השערות למדגמים מזווגים |
| 206 | 2. ניתוח פלטים                  |

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

### בדיקת השערות למדגמים מזווגים – רקע

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

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

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:

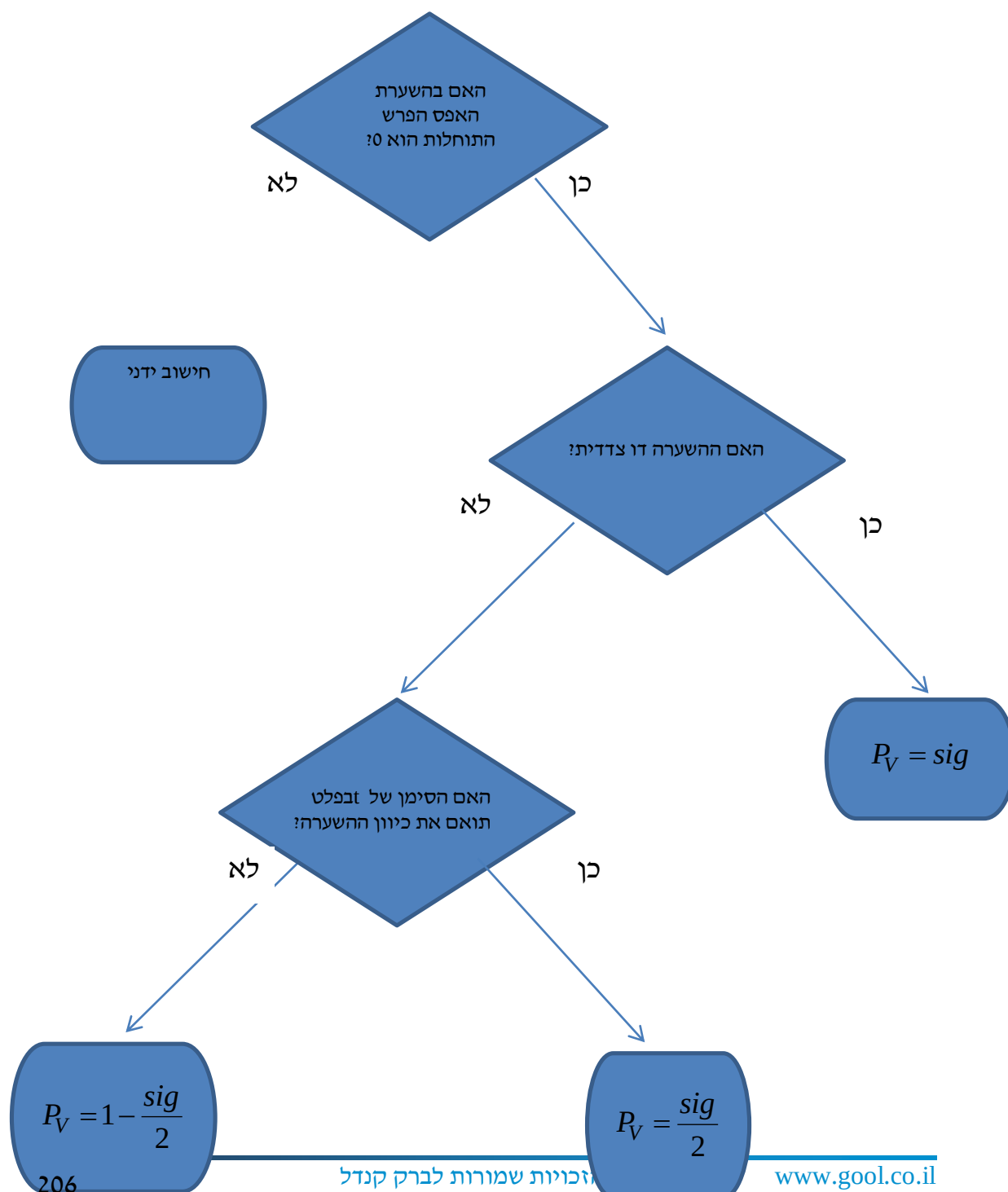
- מבחן Z למדגם יחיד.
- מבחן T למדגם יחיד.
- מבחן T למדגמים בלתי תלויים.
- מבחן T למדגמים מזווגים.

## תשובות סופיות

- (1) לא נדחה  $H_0$ .
- (2) לא נדחה  $H_0$ .
- (3) א.  $0.25 \leq p \leq 0.5$       ב. 0.5      ג. לא נדחה  $H_0$ .
- (4) ד'.
- (5) ד'.
- (6) ג'.

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

מדגמים מזווגים – ניתוח פלטים – רקע



**דוגמה (פתרון בהקלטה) :**

כדי לבדוק את ההשפעה של קורס לגמילה מעישון נלקח מדגם מקרי של 5 נבדקים. עבור כל אחד מהם נמדדה צריכת הסיגריות היומית לפני הקורס וחודשיים אחריו. הניחו שצריכת הסיגריות מתפלגת נורמלית. להלן התוצאות :

| 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | נבדק |
|----|----|----|----|----|------|
| 30 | 28 | 25 | 22 | 40 | לפני |
| 12 | 10 | 13 | 24 | 30 | אחרי |

**Paired Samples Statistics**

|        |        | Mean    | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|--------|--------|---------|---|----------------|-----------------|
| Pair 1 | BEFORE | 29.0000 | 5 | 6.85565        | 3.06594         |
|        | AFTER  | 17.8000 | 5 | 8.72926        | 3.90384         |

**Paired Samples Test**

|        |                | Paired Differences |                |                 |                                           |          | t     | df | Sig. (z-tailed) |
|--------|----------------|--------------------|----------------|-----------------|-------------------------------------------|----------|-------|----|-----------------|
|        |                | Mean               | Std. Deviation | Std. Error Mean | 90% Confidence Interval of the Difference |          |       |    |                 |
|        |                |                    |                |                 | Difference                                |          |       |    |                 |
|        |                |                    |                |                 | Lower                                     | Upper    |       |    |                 |
| Pair 1 | BEFORE - AFTER | 11.20000           | 8.19756        | 3.66606         | 3.38452                                   | 19.01548 | 3.055 | 4  | .038            |

בדקו ברמת מובהקות של 5% האם הקורס יעיל.

## שאלות

- 1) בסקר שנערך בארה"ב בשנת 1993 נשאלו נסקרים על השכלת הוריהם, להלן הפלט שהתקבל:

| Paired Samples Test |                                                                               |                    |                |                 |                                           |       |       |     |                 |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|-----------------|-------------------------------------------|-------|-------|-----|-----------------|
|                     |                                                                               | Paired Differences |                |                 |                                           |       | t     | df  | Sig. (2-tailed) |
|                     |                                                                               | Mean               | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference |       |       |     |                 |
|                     |                                                                               |                    |                |                 | Lower                                     | Upper |       |     |                 |
| Pair 1              | Highest Year School Completed, Father - Highest Year School Completed, Mother | -.007              | 3.115          | .100            | -.203                                     | .189  | -.072 | 973 | .943            |

- א. תנו אומדן להפרש הממוצעים.  
 ב. תנו אומדן לטעות התקן של הפרש הממוצעים.  
 ג. האם קיים הבדל מובהק בין השכלת האבות להשכלת האימהות ברמת מובהקות של 5%?

- 2) בתחרות קפיצה למים שופטים באופן קבוע שופט איטלקי ושופט דרום קוריאני. להלן פלט המנתח את הציונים ששופטים אלה נתנו בתחרויות השונות:

Paired Samples Statistics

|        |             | Mean   | N   | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|--------|-------------|--------|-----|----------------|-----------------|
| Pair 1 | Italy       | ???    | 300 | .86742         | .05008          |
|        | South Korea | 8.9183 | ??? | .81992         | .04734          |

Paired Samples Test

|        |                     | Paired Differences |                |                 |                                           | t       | df      | Sig. (2-tailed) |       |
|--------|---------------------|--------------------|----------------|-----------------|-------------------------------------------|---------|---------|-----------------|-------|
|        |                     | Mean               | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference |         |         |                 |       |
|        |                     |                    |                |                 | Lower                                     |         |         |                 | Upper |
| Pair 1 | Italy - South Korea | -.42233            | .36153         | .02087          | -.46341                                   | -.38126 | -20.234 | ???             | ???   |

- א. השלימו את החלקים החסרים בפלט (מסומנים בסימני שאלה).  
 ב. בדקו את הטענה שהשופט הדרום קוריאני נותן בממוצע 0.2 נקודות יותר מאשר השופט האיטלקי ברמת מובהקות של 5%.  
 ג. מהו רווח הסמך ברמת סמך של 95% לתוחלת פער הציונים בין השופטים?  
 ד. בנו את הרווח כעת ברמת סמך של 98% לתוחלת פער בציונים בין השופטים.

3) בדקו את ציוניהם של 44 נבדקים אקראיים במבחן הפסיכומטרי. פעם אחת לפני הכנה (Before) ופעם אחת אחרי הכנה (After).

| Paired Samples Test |                |                    |                |                 |                                           |          |        |    |                 |
|---------------------|----------------|--------------------|----------------|-----------------|-------------------------------------------|----------|--------|----|-----------------|
|                     |                | Paired Differences |                |                 |                                           |          | t      | df | Sig. (2-tailed) |
|                     |                | Mean               | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference |          |        |    |                 |
|                     |                |                    |                |                 |                                           |          |        |    |                 |
|                     |                |                    |                |                 | Lower                                     | Upper    |        |    |                 |
| Pair 1              | Before - After | -7.45455           | 19.28303       | 2.90703         | -13.31712                                 | -1.59197 | -2.564 | 43 | .014            |

- א. רשמו מהו המבחן הסטטיסטי ונסח את ההשערות אליהם מתייחס הפלט.
- ב. בדקו את ההשערה שממוצע ציונים משתפרים לאחר ההכנה ברמת מובהקות של 5%.
- ג. בדקו את ההשערה שממוצע ציונים משתפרים לאחר ההכנה ביותר מ-5 נקודות ברמת מובהקות של 5%.
- ד. מצאו רווח סמך לתוחלת שיפור ממוצע הציונים לאחר ההכנה ברמת ביטחון של 95%.

## (4) להלן פלט של תכנת SPSS :

## T-Test

## Paired Samples Statistics

|          | Mean    | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|----------|---------|---|----------------|-----------------|
| Pair 1 x | 54.0000 | 6 | 5.86515        | 2.39444         |
| y        | 46.5000 | 6 | 10.72847       | 4.37988         |

## Paired Samples Test

|                      | Paired Differences |                   |                    |                                              |          | t  | df | Sig. (2-tailed) |
|----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------------------------------|----------|----|----|-----------------|
|                      | Mean               | Std.<br>Deviation | Std. Error<br>Mean | 95% Confidence Interval of the<br>Difference |          |    |    |                 |
|                      |                    |                   |                    | Lower                                        | Upper    |    |    |                 |
| Pair 1 $\bar{x} - y$ | 7.50000            | ??                | 4.72405            | -4.64356                                     | 19.64356 | ?? | 5  | .173            |

- מלא את החלקים החסרים בטבלה.
- מהי רמת המובהקות המינימלית לקבלת הטענה שיש הבדל בין  $X$  ל- $Y$  בממוצע?
- האם התשובה לסעיף הקודם הייתה משתנה, ואם כן גדלה או קטנה, אם הינו מוסיפים עוד תצפית שההפרש בין  $X$  ל- $Y$  הוא 0.
- מהי מובהקות התוצאה לבדיקת הטענה ש  $X$  גדול מ- $Y$  בממוצע?
- מהי מובהקות התוצאה לבדיקת הטענה ש  $X$  קטן מ- $Y$  בממוצע?
- בנו רווח סמך לתוחלת של  $X$  ברמת סמך של 90%.



### תשובות סופיות

- (1) א. -0.007      ב. 0.1      ג. אין הבדל מובהק.
- (2) א.  $d.f = 299$  ,       $n = 300$  ,       $\bar{X} = 8.496$  ,  $\text{Sig} = 0$  .
- ב. נדחה את  $H_0$  .      ג. (0.46341, 0.38126)      ד. (0.4708, 0.3738) .
- (3) א. ראה וידאו.      ב. נדחה את  $H_0$  .      ג. לא נדחה את  $H_0$  .
- ד. (1.592, 13.317) .
- (4) א. 1.5876 , 11.5715      ב. 0.173      ג. יגדל.
- ד. 0.0865      ה. 0.9135      ו.  $49.18 < \mu < 58.82$  .

## סטטיסטיקה

פרק 32 - הקשר בין רווח סמך לבדיקת השערות להפרש תוחלות

תוכן העניינים

1. הקשר בין רווח סמך לבדיקת השערות להפרש תוחלות ..... 212

## 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 מתפלים 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'.

# סטטיסטיקה

פרק 33 - בדיקת השערות על שונויות

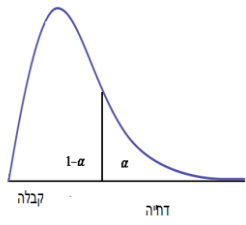
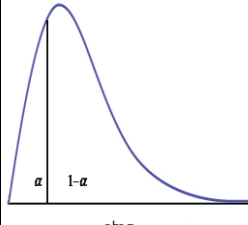
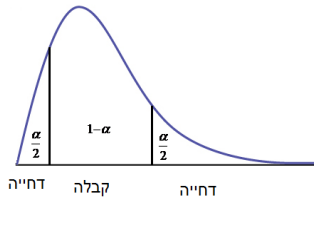
תוכן העניינים

- 1. בדיקת השערות על שונות וסטיית תקן ..... 215
- 2. בדיקת השערות על שתי שונויות ..... 220

## בדיקת השערות על שונות וסטיית תקן:

רקע:

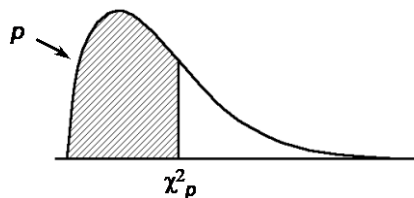
בדיקת השערות על שונות האוכלוסייה כאשר התוחלת לא ידועה:

| השערת האפס:<br>השערת אלטרנטיבית: | $H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2$<br>$H_1: \sigma^2 > \sigma_0^2$                                                           | $H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2$<br>$H_1: \sigma^2 < \sigma_0^2$                                                         | $H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2$<br>$H_1: \sigma^2 \neq \sigma_0^2$                                                                                                                         |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| תנאים:                           | $X \sim N$                                                                                                             |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                         |
| נדחה את השערת האפס אם:           |  $\chi^2 > \chi_{1-\alpha}^{2(n-1)}$ |  $\chi^2 < \chi_{\alpha}^{2(n-1)}$ |  $\chi^2 < \chi_{\frac{\alpha}{2}}^{2(n-1)} \text{ או } \chi^2 > \chi_{1-\frac{\alpha}{2}}^{2(n-1)}$ |

$$\chi^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2} \quad \text{סטטיסטי המבחן:}$$

התפלגות חי בריבוע:

$$\frac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2} \sim \chi^{2(n-1)} \quad \text{אם } X_i \sim N(\mu, \sigma^2), \text{ והפרמטר } \mu \text{ אינו ידוע, מתקיים ש:}$$



התפלגות זו היא התפלגות אסימטרית חיובית המתחילה מהערך אפס וערכיה שואפים לאינסוף.

התפלגות זו תלויה בדרגות החופש.

אם  $\mu$  אינו ידוע, אז:  $d.f = n - 1$ .

**דוגמה:**

ציוני IQ לפי סטנדרטים אמריקאים מתפלגים נורמאלית עם  $\sigma = 15$ . מעוניינים לבדוק האם שונות הציונים של נבחנים ישראלים שונה מאמריקה.

$$\sum_{i=1}^{20} (x_i - \bar{x})^2 = 3420 \quad \text{במדגם של 20 ישראלים התקבל:}$$

מה המסקנה ברמת מובהקות של 5%?

**פתרון:**

האוכלוסייה: נבחנים ישראלים במבחן I.Q.

המשתנה:  $X = \text{ציון I.Q.}$

פרמטר:  $\sigma^2$

השערות:  $H_0: \sigma^2 = 15^2 = 225$

$H_1: \sigma^2 \neq 225$

הנחה:  $X \sim N$

כלל הכרעה:  $d.f = n - 1 = 20 - 1 = 19$

נדחה את  $H_0$  אם  $X^2 > 32.9$  או  $X^2 < 8.91$

תוצאות המדגם:  $n = 20$

$$\sum (X_i - \bar{X})^2 = 3420$$

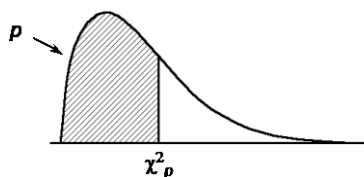
$$S^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1} = \frac{3420}{20-1} = 180$$

$$\chi^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2} = \frac{19 \cdot 180}{225} = 15.2$$

מסקנה: לא נדחה את  $H_0$ , לא נסיק ששונות הציונים של נבחנים ישראלים במבחן I.Q.

שונה מזו של אמריקאים. ( $\alpha = 5\%$ )



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:

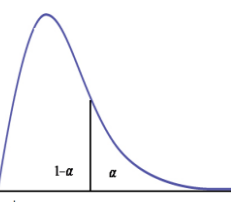
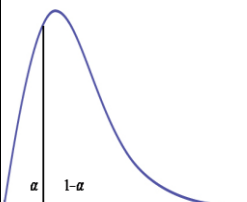
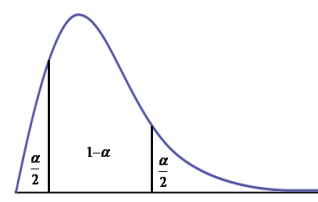
- (1) חברה אורזת סוכר במשקל עם סטיית תקן 20 גרם. משקל הסוכר באריזה מתפלג נורמאלית. החברה החליפה את מכוונת האריזה במטרה לדייק יותר במשקל הנארוז. (רוצים שסטיית התקן תהיה קטנה יותר).  
 לצורך בדיקה דגמו 5 אריזות סוכר ולהלן משקלן (בגרם):  
 1008, 1024, 1005, 996, 997.  
 מה המסקנה ברמת מובהקות של 5%?
- (2) זמן ההחלמה ממחלה מסוימת כאשר משתמשים בטיפול מסוים מתפלג נורמלית עם סטיית תקן של 80 שעות. תרופה חדשה נוסתה על 5 חולים. זמני ההחלמה שלהם בשעות היו: 110, 90, 72, 50, 38.  
 א. ברמת מובהקות של 5% בדקו האם סטיית התקן של זמן החלמה של התרופה החדשה נמוכה מהתרופה המקורית?  
 ב. האם ניתן לדעת מה תהיה התשובה לסעיף א', אם נגדיל את רמת המובהקות?  
 ג. האם ניתן לדעת מה תהיה התשובה לסעיף א אם נקטין את רמת המובהקות?  
 ד. האם ניתן לדעת מה תהיה התשובה לסעיף א אם נוסיף תצפית שערכה 70?
- (3) הגובה של אוכלוסייה מסוימת נחשב כמתפלג נורמלית עם ממוצע של 174 ס"מ וסטיית תקן 12. במדגם של 20 אנשים מהאוכלוסייה התקבל ממוצע 171 וסטיית תקן מדגמית 23.  
 א. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם חל שינוי בשונות הגבהים באוכלוסייה.  
 ב. בדקו ברמת מובהקות של 5%, האם חל שינוי בתוחלת הגבהים באוכלוסייה, בבחירת המבחן המתאים הסתמך על המסקנה מסעיף א'.
- (4) השערות המחקר הן:  $H_0: \sigma^2 = 100$   $H_1: \sigma^2 > 100$   
 מתכננים לבצע מדגם בגודל 10 תצפיות. רמת המובהקות היא 5%.  
 א. מה תהיה עוצמת המבחן אם  $\sigma_1^2 = 150$ ?  
 ב. איזו השערה אלטרנטיבית תיתן עוצמה של 90%?
- (5) השערות המחקר הן:  $H_0: \sigma = 2$  ,  $H_1: \sigma < 2$ .  
 במדגם של 21 תצפיות התקבל סטיית תקן 1.143.  
 תנו הערכה למובהקות התוצאה.

### תשובות סופיות:

- (1) לא נדחה  $H_0$ .
- (2) א. נדחה את  $H_0$ .  
ב. לא תשתנה.  
ג. לא ניתן לדעת.  
ד. לא תשתנה.
- (3) א. נדחה את  $H_0$ .  
ב. לא נדחה את  $H_0$ .
- (4) א. בין 25% ל-50%.  
ב. 405.3.
- (5)  $0 < P_V < 0.005$ .

## 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>$F \geq f_{1-\alpha/2}^{(n_1-1, n_2-1)}$<br>$F \leq \frac{1}{f_{1-\alpha/2}^{(n_2-1, n_1-1)}}$ |

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

התפלגות F:

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

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:**

מעוניינים להשוות בין נשים וגברים מבחינת השונות בזמנים שלהם לבצע משימה מסוימת. במדגם של 10 גברים התקבלו התוצאות הבאות לגבי זמן 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?

**פתרון:**

האוכלוסיות: נשים מול גברים.

משתנה:  $y =$  זמן ביצוע משימה של גבר,  $x =$  זמן ביצוע משימה של אישה

$$\frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} : \text{פרמטר}$$

$$H_0 : \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} = 1$$

השערות:

$$H_1 : \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \neq 1$$

הנחות: 1. מדגימים ב"ת 2.  $x, y \sim N$

כלל הכרעה:

$$\alpha = 2\%$$

$$n_1 = 13, d.f_1 = n_1 - 1 = 12$$

$$n_2 = 10, d.f_2 = n_2 - 1 = 9$$

נדחה את  $H_0$  אם  $F > 5.11$  או  $F < 0.23$

$$S_y^2 = \frac{204}{10-1} = 22\frac{2}{3}$$

תוצאות המדגם:

$$S_x^2 = \frac{200}{13-1} = 16\frac{2}{3}$$

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{16\frac{2}{3}}{22\frac{2}{3}}$$

סטטיסטי המבחן:

מסקנה: ברמת מובהקות של 2% נקבל את  $H_0$ .

לא קיים הבדל מובהק בין גברים לנשים מבחינת השונות שלהם.

| טבלת ערכים קריטיים לפי התפלגות F |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| α= 0.05                          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| ד"ח מנהל"ח מנבה                  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 12     | 16     | 20     | 24     | 60     | 120    | ∞      |
| 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   |
| ∞                                | 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 מטה. |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|----------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 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

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

- 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%.

- (3) מחקר סוציולוגי מעוניין לחקור את הרגלי הבילויים בקבוצות גיל שונות. ידוע כי בקרב האוכלוסייה הבוגרת (מעל 18) ההוצאה החודשית על בילויים מתפלגת נורמאלית עם תוחלת של 500₪ וסטיות תקן של 300₪.  
 במדגם שנעשה על סטודנטים בגילאי 21-26 התקבל אומד חוסר הטיה לשונות ההוצאה החודשית על בילויים 10,000₪. כמות הסטודנטים שנדגמה 16.  
 במדגם שנעשה על 11 מבוגרים בשנות השלושים התקבל אומד חסר הטיה לשונות ההוצאה החודשית על בילויים 490,000₪.  
 א. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם שונות ההוצאה על בילויים בקרב סטודנטים בקבוצת גילאי 21-26 נמוכה מהשונות אצל כלל המבוגרים.  
 ב. בדקו ברמת מובהקות של 1% האם הפיזור של ההוצאה החודשית לבילויים גדולה יותר בקבוצת גיל ה-30 מאשר בקבוצת גיל 21-26.

- (4) נתון  $X_i \sim N(\mu_x, \sigma^2)$ , וכמו כן  $Y_i \sim N(\mu_y, \sigma^2)$ .  
 מאוכלוסייה X נדגמו 7 תצפיות ומאוכלוסייה Y נדגמו 13 תצפיות.

א. כיצד  $\frac{S_x^2}{S_y^2}$  מתפלג?

- ב. מה ההסתברות ש- $S_x^2$  גדולה ביותר מפי 3 מאשר  $S_y^2$ ?



**תשובות סופיות:**

- |    |                       |                       |
|----|-----------------------|-----------------------|
| (1 | א. לא נדחה את $H_0$ . | ב. מסקנה לא תשתנה.    |
| (2 | א. לא נדחה את $H_0$ . | ב. לא נדחה את $H_0$ . |
| (3 | א. נדחה את $H_0$ .    | ב. נדחה את $H_0$ .    |
| (4 | א. $F(6,12)$ .        | ב. 5%                 |

# סטטיסטיקה

פרק 34 - שאלות מסכמות בבדיקת השערות

תוכן העניינים

1. שאלות פתוחות מסכמות..... 226

## 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) במדגם של 10 ישראלים שנבחנו במבחן ה-IQ נתקבלו התוצאות הבאות:

$$n=10, \quad \sum X_i = 1020, \quad \sum X_i^2 = 105120$$

במדגם של 14 אמריקאים שנבחנו במבחן ה-IQ נתקבלו התוצאות הבאות:

$$n=14, \quad \sum X_i = 1386, \quad \sum X_i^2 = 138644$$

נתון שציוני הבחינה מתפלגים נורמלית בכל מדינה.

א. בדקו ברמת מובהקות של 10% האם קיים שוויון שונויות בין אוכלוסיית אמריקה לאוכלוסיית ישראל?

ב. בדקו האם קיים הבדל בממוצע הציונים בבחינת ה-IQ בין ישראל לארה"ב. ברמת מובהקות של 5%?

(5) 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 ובדקו 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. בדקו את הטענה כאשר רמת המובהקות הינה 5%.

(6) במדינת טרפפו המשכורות במשק מתפלגות נורמלית עם ממוצע של 1 אלף דולר וסטיית תקן של 0.2 אלף דולר. בוצע מדגם מקרי בו השתתפו 5 נשים ו 5 גברים במדינת שומקום שבה המשכורות מתפלגות נורמלית גם כן. להלן משכורותיהם באלפי דולר:

|     |     |     |     |     |       |
|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1.1 | 1.2 | 0.7 | 0.9 | 2   | גברים |
| 1.2 | 1.8 | 1.9 | 1.1 | 1.4 | נשים  |

א. בדקו את הטענה שממוצע משכורותיהם של אזרחי שומקום גבוה מאשר ממוצע משכורותיהם של אזרחי טרפפו ברמת מובהקות של 5%.

בהנחה שסטיית התקן זהה בשתי המדינות.

ב. חזרו על הסעיף הקודם ללא ההנחה הנ"ל.

ג. ישנה טענה שסטיית התקן במדינת שומקום גבוהה מזו של טרפפו. בדקו ברמת מובהקות של 5%.

- (7) במטרה להשוות בין אחוזי הצפייה של גברים ונשים בתוכנית טלוויזיה מסוימת בוצע סקר ובו התקבלו תוצאות הבאות:

| לא צופים | צופים |       |
|----------|-------|-------|
| 42       | 320   | נשים  |
| 120      | 72    | גברים |

- א. האם יש הבדל בין אחוזי הצפייה של גברים ונשים ברמת מובהקות של 1%?
- ב. עבור רמת מובהקות של 5% בדוק טענה שמבין הצופים בתוכנית הטלוויזיה אחוז הנשים גדול פי 2 מאחוז הגברים.
- (8) בשנת 2000 ל-60% היה מדיח כלים בבית. מחקר רוצה לבדוק האם כיום פרופורציית המשפחות עם מדיח כלים עלה. הוחלט לבצע מדגם אקראי של 150 משפחות.
- א. רשמו את השערות המחקר.
- ב. מה היא מסקנת המחקר ברמת מובהקות של 5% אם במדגם ל-102 משפחות היה מדיח כלים.
- ג. מהי הטעות האפשרית במסקנה מהסעיף הקודם. האם ניתן לדעת את הסתברותה?
- (9) נערך מחקר על הקשר בין עישון ויתר לחץ דם. נבדק מדגם מקרי של 200 מעשנים ונמצא כי 30 סבלו מיתר לחץ דם. ידוע שבאוכלוסייה 18% סובלים מיתר לחץ דם.
- א. בדקו ברמת מובהקות 0.1 את ההשערה כי אחוז הסובלים מיתר לחץ דם בקרב המעשנים גדול מאשר כלל האוכלוסייה.
- ב. מהי רמת המובהקות המינימלית לקבלת הטענה שאחוז הסובלים מיתר לחץ דם בקרב המעשנים גדול מאשר כלל האוכלוסייה.
- ג. מהי עצמת המבחן, אם אחוז הסובלים מיתר לחץ דם בקרב אוכלוסיית המעשנים היא בפועל 25%.

- (10) להלן התפלגות מספר הנסיעות לחופשה השנתית במדגם של משפחות ישראליות. בדקו ברמת מובהקות של 5%:

|    |    |    |     |    |              |
|----|----|----|-----|----|--------------|
| 4  | 3  | 2  | 1   | 0  | מספר הנסיעות |
| 12 | 20 | 26 | 102 | 84 | מספר המשפחות |

- א. באיטליה משפחות נוסעות בממוצע פעמיים בשנה לחופשה. האם בישראל משפחות נוסעות פחות מאשר באיטליה?
- ב. בהולנד 80% מהמשפחות נוסעות לפחות פעם אחת בשנה לחופשה, האם בישראל אחוז המשפחות שנוסעות לפחות פעם אחת בשנה לחופשה נמוך מאשר בהולנד?

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

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

דגמו 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:  $H_1: \mu \neq 40$ .

(12) ציוני בחינת הבגרות במתמטיקה מתפלגים נורמלית עם שונות 150. במדגם של

16 נבחנים מתל אביב התקבלה שונות מדגמית-190. במדגם של 25 ירושלמים

התקבלה שונות מדגמית 118.

א. בדקו ברמת מובהקות של 2.5% האם שונות הציונים במתמטיקה בקרב

נבחני תל אביב גבוהה מהשונות בכלל הארץ.

ב. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם שונות ציונים במתמטיקה בקרב

תלמידי תל אביב גבוהה מאשר בקרב תלמידי ירושלים.

## 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. לא נדחה $H_0$ . |                                    |                 |
| (5) א. לא נדחה $H_0$ .                  | ב. בין 5% ל-10%    | ג. נדחה $H_0$ .                    |                 |
| (6) א. נדחה $H_0$ .                     | ב. נדחה $H_0$ .    | ג. נדחה $H_0$ .                    |                 |
| (7) א. נדחה $H_0$ .                     | ב. נדחה $H_0$ .    |                                    |                 |
| (8) א. $H_0: p = 0.6$<br>$H_1: p > 0.6$ | ב. נדחה $H_0$ .    | ג. טעות מסוג ראשון בסיכוי של 0.05. |                 |
| (9) א. לא נדחה $H_0$ .                  | ב. 0.8643          | ג. 0.8749                          |                 |
| (10) א. נדחה $H_0$ .                    | ב. נדחה $H_0$ .    |                                    |                 |
| (11) א. 0.0062                          | ב. 0.9938          | ג. 0.0124                          |                 |
| (12) א. לא נדחה $H_0$ .                 | ב. לא נדחה $H_0$ . |                                    |                 |

## סטטיסטיקה

פרק 35 - מבחני חי בריבוע

תוכן העניינים

1. מבחן טיב התאמה ..... 230
2. מבחן טיב התאמה והקשר שלו לבדיקת השערות על פרופורציה אחת ..... 235
3. מבחן לאי תלות ..... 237
4. קשר בין מבחן אי תלות לבדיקת השערות להפרש פרופורציות ..... 242
5. מקדם המתאם של קרמר ..... 244
6. ניתוח פלטים במבחן אי תלות ..... 246

## 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:

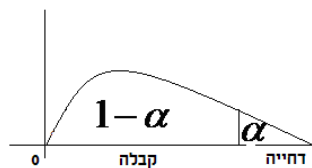
#### השערות:

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:

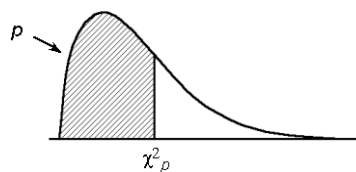
תנאי כדי לבצע את המבחן הוא  $E_i \geq 5$  לכל  $i$ . במידה ותנאי זה לא מתקיים יש אפשרות לאחד קטגוריות סמוכות עד שהתנאי יתקיים.



**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) משרד החינוך טוען שבקרב השכירים במשק היחס בין השכירים בעלי השכלה נמוכה, תיכונית ואקדמאית הוא 1:2:1 בהתאמה. במדגם של 200 שכירים התקבלו 56 אנשים בעלי השכלה נמוכה, 105 בעלי השכלה תיכונית והיתר בעלי השכלה גבוהה.
- א. על סמך תוצאות המדגם, האם התפלגות ההשכלה היא כמו שמשדרד החינוך מפרסם? בדוק ברמת מובהקות של 5%.
- ב. בנו רווח סמך ברמת סמך של 95% לפרופורציית השכירים במשק בעלי השכלה אקדמאית.
- (4) 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?

- (5) 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        |

- (6) בפנס יש 4 סוללות. בבדיקה שנערכה ב-400 פנסים נמצאו סוללות פגומות לפי השכיחויות הבאות:

| 3 ומעלה | 2  | 1   | 0   | מספר הסוללות הפגומות |
|---------|----|-----|-----|----------------------|
| 8       | 12 | 104 | 276 | שכיחות               |

מעוניינים לבדוק על סמך תוצאות מדגם אלה האם הסיכוי לסוללה פגומה הוא 20%. מהי רמת המובהקות המינימלית עבורה נכריע שהסיכוי לסוללה פגומה אינו 20%?

- (7) מטילים מטבע עד שלראשונה מתקבל "ראש". חוזרים על התהליך 120 פעמים. נסמן ב- $X$  את מספר ההטלות עד קבלת הראש. להלן התוצאות שהתקבלו:

| $x$                   | 1  | 2  | 3  | 4  | 5 | 6 |
|-----------------------|----|----|----|----|---|---|
| מספר החזרות על התהליך | 54 | 20 | 16 | 22 | 6 | 2 |

- א. בהנחה והמטבע הוגן, מהי ההתפלגות של  $X$ ?
- ב. בדקו האם המטבע הוגן, על סמך תוצאות המדגם ברמת מובהקות של 5%.

- (8) להלן השערות מחקר:  $H_1: \text{else}$ ,  $H_0: X \sim N(40, 2^2)$ .

| $X$          | מתחת 36 | 36-40 | 40-44 | מעל 44 |
|--------------|---------|-------|-------|--------|
| מספר הדגימות | 3A      | 50A   | 45A   | 2A     |

תוצאות המדגם הן:

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. (0.14, 0.25).
- (4) א. לא נדחה  $H_0$ . ב. בין 0.95 ל-0.975.
- ג. יגדל פי 2; המסקנה לא תשתנה.
- (5) נכריע שהקובייה אינה הוגנת.
- (6) 0.005.
- (7) א.  $X \sim G(0.5)$ . ב. נסיק שהמטבע לא הוגן.
- (8) 14.

### הקשר בין מבחן טיב התאמה לבדיקת השערות על הפרופורציה – רקע

אם אנו רוצים לבצע מבחן טיב התאמה על משתנה שיש לו שתי קטגוריות בלבד (משתנה דיכוטומי), הדבר זהה לתהליך של בדיקת השערות דו צדדית על פרופורציה בודדת.

#### דוגמה (פתרון בהקלטה) :

הטילו מטבע 80 פעמים וקיבלו 48 פעמים את התוצאה "ראש".  
בדקו האם המטבע הוא הוגן ברמת מובהקות של 5%.

א. באמצעות מבחן טיב התאמה.

ב. באמצעות מבחן Z לפרופורציה בודדת.

## שאלות

(1) בסקר שנעשה על 320 נשאלים, 43.75% טענו שהחיה המועדפת עליהם היא כלב. עד היום היה נהוג לחשוב ש-40% מהאנשים מעדיפים כלבים. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם הסקר יישנה את הסברה שהייתה נהוגה עד היום לגבי העדפת כלב.

א. באמצעות מבחן טיב התאמה.

ב. באמצעות מבחן על פרופורציה.

(2) לסוכנות מכוניות שלושה סניפים ברחבי הארץ. המכוניות נמכרות בסניפים השונים. מתוך 100 מכוניות נמצא ש-65 נמכרו בסניף תל-אביב, 23 בסניף ירושלים והיתר בסניף חיפה.

א. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם שיעור המכוניות שנמכרות בסניף ת"א גדול פי 2 מכל סניף אחר.

ב. בדקו באמצעות מבחן טיב התאמה האם 60% מהמכוניות נהוגות להימכר בסניף תל אביב. האם יש דרך אחרת לבדוק את ההשערה?

(3) בתחרות ריצה בית ספרית שלושה מסלולי ריצה.

ב-50 תחרויות בדקו באיזה מסלול היה הניצחון.

התוצאות שהתקבלו מסוכמות בטבלה הבאה:

| המסלול         | 1  | 2  | 3  |
|----------------|----|----|----|
| מספר הניצחונות | 20 | 15 | 15 |

א. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם יש מסלול מועדף לניצחון.

ב. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם הסיכוי לנצח במסלול מספר 1

גבוה מ- $\frac{1}{3}$ .

## תשובות סופיות

(1) לא נדחה  $H_0$ .

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

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

## 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  $H_1$ .

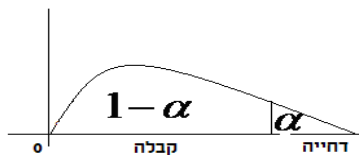
**כלל הכרעה:**

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:**

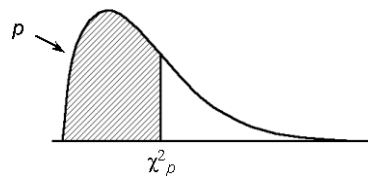
תנאי כדי לבצע את המבחן הוא  $E_i \geq 5$  לכל  $i$ . במידה ותנאי זה לא מתקיים יש אפשרות לאחד קטגוריות סמוכות עד שהתנאי יתקיים.  
 תנאי חלופי: אין  $E$  קטן מ-1 וגם אין ביותר מ 20% מהתאים  $E$  קטן מ-5.

**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%.

- (4) במטרה לבדוק האם השתנו דפוסי ההצבעה למפלגות השונות בין שבוע שעבר לשבוע נלקחו שני סקרים אחד מהשבוע שעבר והאחר מהשבוע. להלן דפוסי ההצבעה שהתקבלו בסקרים אלה.

א. מהי רמת המובהקות המינמלית עבורה ניתן להחליט שהשתנו דפוסי ההצבעה משבוע שעבר לשבוע באופן מובהק?

ב. כיצד הייתה התשובה לסעיף א משתנה אם כל השכיחויות בטבלה של תוצאות המדגם היו מוכפלות פי 2?

ג. בנו רווח סמך לשיעור המצביעים למפלגה א השבוע ברמת סמך של 95%.

|           | מפלגה א | מפלגה ב | מפלגות אחרות | סה"כ |
|-----------|---------|---------|--------------|------|
| שבוע שעבר |         |         |              |      |
| השבוע     | 143     |         | 253          | 550  |
| סה"כ      | 243     | 314     |              | 1050 |

- (5) בחנות בגדים A בדקו את התפלגות הצבעים של הבגדים הנמכרים ביום מסוים. כמו כן בדקו את התפלגות הצבעים בחנות שכנה B:

| מספר פריטים / צבע | שחור | לבן | אדום | כחול |
|-------------------|------|-----|------|------|
| חנות A            | 15   | 20  | 15   | 50   |
| חנות B            | 60   | 20  | 10   | 20   |

- א. בדקו ברמת מובהקות של 5% האם התפלגות הצבעים בחנות A היא ביחס של 1:1:1:3 לטובת הכחול.  
 ב. בדקו ברמת מובהקות של 2.5% האם קיים הבדל בין החנויות מבחינת התפלגות הצבעים של הפריטים הנמכרים.

- (6) סטודנט קיבל בבדיקת השערות ערך  $\chi^2$  (chi-square) השוו לאפס. הסטודנט הסיק כי לא קיימת תלות בין שני המשתנים שבדק, בכל רמת מובהקות. נכון / לא נכון? נמקו.

- (7) להלן טבלת O של שני משתנים שהתקבל במדגם כלשהו:

| $f(x)$ | $Y_4$ | $Y_3$ | $Y_2$ | $Y_1$ |        |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 200    |       |       |       |       | $X_1$  |
| 200    |       |       |       |       | $X_2$  |
|        | 160   | 120   | 60    | 60    | $f(y)$ |

- מה צריכות להיות השכיחויות בתוך הטבלה כדי שמובהקות התוצאה (PV) תהיה 100%?

## 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 מוצא לייצוא למועד שבו הוא יוצר.  
 (4) א. 10% ב. קטן ג. (0.223, 0.297)  
 (5) א. נסיק שהתפלגות הצבעים בחנות היא כמו שמצוין.  
 ב. נסיק שיש הבדל בין החנויות מבחינת התפלגות הצבעים.  
 (6) נכון  
 (7) להלן טבלה:

| $f(x)$ | $Y_4$ | $Y_3$ | $Y_2$ | $Y_1$ |        |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 200    | 80    | 60    | 30    | 30    | $X_1$  |
| 200    | -8    | 60    | 30    | 30    | $X_2$  |
| 400    | 160   | 120   | 60    | 60    | $f(y)$ |

## הקשר בין מבחן לאי תלות ובדיקת השערות להפרש פרופורציות – רקע

מבחן לאי תלות שבו לכל משתנה יש שתי קטגוריות שקול לבדיקת השערות דו צדדית על הפרש פרופורציות כאשר השערת האפס היא שהפרופורציות שוות. כל זאת, כמובן, אם התנאים למבחנים מתקיימים.

**דוגמה (פתרון בהקלטה) :**

בקרב מדגם של 200 נשים 120 טענו שהן תצבענה למועמד R לראשות העיר. בקרב מדגם של 200 גברים 80 טענו שהם יצביעו למועמד R האם קיים הבדל בין דפוס ההצבעה של הנשים ושל הגברים? האם אפשר לבדוק זאת גם על ידי מבחן לאי תלות וגם על ידי בדיקת השערות לשתי פרופורציות?

### שאלות

- 1) בקרב מדגם של 200 נשים 120 טענו שהן תצבענה למועמד R לראשות העיר. בקרב מדגם של 200 גברים 80 טענו שהם יצביעו למועמד R האם קיים הבדל בין דפוס ההצבעה של הנשים ושל הגברים? בדוק ברמת מובהקות של 5%.  
א. על ידי מבחן לאי תלות.  
ב. על ידי בדיקת השערות לשתי פרופורציות.
- 2) נלקחו 200 אנשים שמתוכם 60 הצהירו שהם עוסקים בפעילות גופנית סדירה. מתוך אלו שעוסקים בפעילות גופנית סדירה 50 נמצאו במצב בריאותי תקין. מתוך אלו שלא עוסקים בפעילות גופנית סדירה 90 נמצאו במצב בריאותי תקין.  
א. בנו טבלת שכיחות משותפת לנתונים שהוצגו בשאלה.  
ב. האם ניתן להגיד שהסיכוי להימצא במצב בריאותי תקין גבוה יותר כאשר עוסקים בפעילות גופנית סדירה לעומת המצב שלא עוסקים בפעילות גופנית סדירה? בדוק ברמת בטחון של 90%.

## תשובות סופיות

- (1) נדחה את השערת האפס לפירוט הדרך ראה וידאו.  
 (2) א. להלן טבלה: ב. נדחה את השערת האפס.

|     | לא תקין | תקין | פעילות/מצב<br>בריאותי |
|-----|---------|------|-----------------------|
| 60  | 10      | 50   | סדירה                 |
| 140 | 50      | 90   | לא סדירה              |
| 200 | 60      | 140  |                       |

## מדדי קשר-מדד הקשר של קרמר – רקע

מתי משתמשים במדד הזה? - כאשר אחד המשתנים הוא מסולם שמי והשני מכל סולם אפשרי. מדד הקשר מקבל ערכים בין 0 ל-1. ככל שהמדד יותר קרוב לאחד קיים קשר בעוצמה יותר חזקה בין המשתנים.

### דוגמה (פתרון בהקלטה) :

במחקר רוצים לבדוק את הקשר בין מין לדעה בנושא מסוים, שאלו 100 גברים ו-100 נשים האם הם בעד/נגד/נמנעים באיזשהו נושא. להלן טבלת השכיחויות המשותפת שהתקבלה.

| $f(x)$    | נמנע | נגד | בעד | $X/Y$  |
|-----------|------|-----|-----|--------|
| 100       | 10   | 40  | 50  | גבר    |
| 100       | 10   | 60  | 30  | אישה   |
| $n = 200$ | 20   | 100 | 80  | $f(y)$ |

בהקשר של קרמר הטבלה נקראת טבלת O (observed)

$X$  - מין (גבר/אישה) – סולם שמי.

$Y$  - דעה (בעד/נמנע/נגד) – סולם שמי/סדר.

### שלבים בחישוב $r_c$ :

#### שלב א' :

נבנה את טבלת E (Expected)

נעתיק את המסגרת של טבלת O ואז כל  $E_i = \frac{f(x) \cdot f(y)}{n}$ .

| $f(x)$  | נמנע | נגד | בעד | $X/Y$  |
|---------|------|-----|-----|--------|
| 100     |      |     |     | גבר    |
| 100     |      |     |     | אישה   |
| $n=200$ | 20   | 100 | 80  | $f(y)$ |

#### שלב ב' :

נחשב  $\chi^2 = \sum_i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ .

#### שלב ג' :

נחשב:  $r_c = \sqrt{\frac{1}{n(L-1)} \chi^2}$

כאשר  $L$  מבטא את המספר הקטן מבין מספר השורות או העמודות.

## שאלות

- (1) להלן תוצאות מחקר שבדק את הקשר בין מין להשכלה. לגבי כל נחקר נבדק המין שלו והשכלתו.

| מין / השכלה | נמוכה | תיכונית | גבוהה |
|-------------|-------|---------|-------|
| גבר         | 120   | 40      | 20    |
| אישה        | 20    | 20      | 80    |

להלן התוצאות:

האם קיים קשר בין מין להשכלה? נמקו!

- (2) נלקחו 200 אנשים שמתוכם 60 הצהירו שהם עוסקים בפעילות גופנית סדירה. מתוך אלו שעוסקים בפעילות גופנית סדירה 50 נמצאו במצב בריאותי תקין. מתוך אלו שלא עוסקים בפעילות גופנית סדירה 90 נמצאו במצב בריאותי תקין.

א. בנו טבלת שכיחות משותפת לנתונים שהוצגו בשאלה.

ב. האם קיים קשר בין פעילות גופנית למצב בריאותי? חשבו לפי מדד הקשר של קרמר.

## תשובות סופיות

- (1) קיים קשר בעוצמה בינונית בין המין להשכלה מקדם המתאם של קרמר הוא 0.595.
- (2) א. להלן טבלה: ב. מדד קרמר 0.19 מעיד על קשר בעוצמה נמוכה.

| $y/x$  | תקין | לא תקין | $f(x)$ |
|--------|------|---------|--------|
| כן     | 50   | 10      | 60     |
| לא     | 90   | 50      | 140    |
| $f(y)$ | 140  | 60      | 200    |

## פליטים על מבחן לאי תלות – 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:  $H_1$ .

דרגות חופש:  $d.f = (r-1)(c-1)$ .

כאשר:  $r$  - מספר הקטגוריות של המשתנה שבשורות.

$c$  - ספר הקטגוריות של המשתנה שבעמודות.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} : \text{סטטיסטי המבחן}$$

$O_i$  - 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 (פתרון בהקלטה) :

במחקר רצו לבדוק את הקשר בין צבע שיער לבין צבע עיניים של אנשים. הפלטים שהתקבלו מצורפים.

- א. מהו המבחן הסטטיסטי המתאים?
- ב. כמה קטגוריות יש לכל משתנה?
- ג. רשמו את השערות המחקר.
- ד. מה מספר דרגות החופש?
- ה. כמה אנשים במדגם נמצאו עם שיער חום?
- ו. כמה אנשים היית מצפה במדגם שיהיה להם שיער חום ועיניים ירוקות בהנחה ואין קשר בין צבע שיער לצבע עיניים?
- ז. מתוך הבלונדינים מה אחוז בעלי עיניים כחולות במדגם?
- ח. מתוך בעלי עיניים ירוקות מה אחוז הבלונדינים במדגם?
- ט. מה ערכו של סטטיסטי המבחן ומהי מובהקות התוצאה?
- י. מה מסקנת המחקר?  $\alpha = 5\%$

להלן הפלטים שהתקבלו :

## Case Processing Summary

|                        | Cases |         |         |         |       |         |
|------------------------|-------|---------|---------|---------|-------|---------|
|                        | Valid |         | Missing |         | Total |         |
|                        | N     | Percent | N       | Percent | N     | Percent |
| hair_color * eye_color | 78    | 100.0%  | 0       | 0.0%    | 78    | 100.0%  |

## hair\_color \* eye\_color Crosstabulation

|            |                     |                     | eye_color |        |        | Total  |
|------------|---------------------|---------------------|-----------|--------|--------|--------|
|            |                     |                     | brown     | green  | Blue   |        |
| hair_color | black               | Count               | 13        | 7      | 7      | 27     |
|            |                     | Expected Count      | 10.7      | 8.3    | 8.0    | 27.0   |
|            |                     | % within hair_color | 48.1%     | 25.9%  | 25.9%  | 100.0% |
|            |                     | % within eye_color  | 41.9%     | 29.2%  | 30.4%  | 34.6%  |
|            | brown               | Count               | 12        | 12     | 6      | 30     |
|            |                     | Expected Count      | 11.9      | 9.2    | 8.8    | 30.0   |
|            |                     | % within hair_color | 40.0%     | 40.0%  | 20.0%  | 100.0% |
|            |                     | % within eye_color  | 38.7%     | 50.0%  | 26.1%  | 38.5%  |
|            | blond               | Count               | 6         | 5      | 10     | 21     |
|            |                     | Expected Count      | 8.3       | 6.5    | 6.2    | 21.0   |
|            |                     | % within hair_color | 28.6%     | 23.8%  | 47.6%  | 100.0% |
|            |                     | % within eye_color  | 19.4%     | 20.8%  | 43.5%  | 26.9%  |
| Total      | Count               | 31                  | 24        | 23     | 78     |        |
|            | Expected Count      | 31.0                | 24.0      | 23.0   | 78.0   |        |
|            | % within hair_color | 39.7%               | 30.8%     | 29.5%  | 100.0% |        |
|            | % within eye_color  | 100.0%              | 100.0%    | 100.0% | 100.0% |        |

## Chi-Square Tests

|                              | Value              | df | Asymp. Sig. (2-sided) |
|------------------------------|--------------------|----|-----------------------|
| Pearson Chi-Square           | 5.880 <sup>a</sup> | 4  | .208                  |
| Likelihood Ratio             | 5.641              | 4  | .228                  |
| Linear-by-Linear Association | 2.682              | 1  | .101                  |
| N of Valid Cases             | 78                 |    |                       |

a. 0 cells (0.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 6.19.

## שאלות

- 1) בסקר שנעשה על ידי משרד ראש הממשלה נדגמו 60 אזרחים. כל אזרח נשאל על מגדרו והאם הוא בעד הקמת מדינה פלסטינית.
- א. מה ההשערות הנבדקות ומהו סטטיסטי המבחן?
  - ב. אם סטטיסטי המבחן היה גדל כיצד הדבר היה משפיע על SIG שבפלט.
  - ג. האם קיים קשר בין מגדר ודעה ברמת מובהקות של 5%?
  - ד. מהו האומדן לאחוז התומכים במדינה פלסטינית מתוך הגברים?
  - ה. איזה אחוז מהנשאלים שהיו בעד מדינה פלסטינית הם גברים?

להלן הפלטים:

## Chi-Square Tests

|                                 | Value              | df | Asymp. Sig.<br>(2-sided) |
|---------------------------------|--------------------|----|--------------------------|
| Pearson Chi-Square              | 1.973 <sup>a</sup> | 2  | .373                     |
| Likelihood Ratio                | 1.987              | 2  | .370                     |
| Linear-by-Linear<br>Association | 1.882              | 1  | .170                     |
| N of Valid Cases                | 60                 |    |                          |

a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5.

b. The minimum expected count is 7.25.

## gender \* opinion Crosstabulation

|        |        |                  | opinion |        |            | Total  |
|--------|--------|------------------|---------|--------|------------|--------|
|        |        |                  | yes     | now    | no opinion |        |
| gender | Male   | Count            | 10      | 10     | 9          | 29     |
|        |        | Expected Count   | 12.6    | 9.2    | 7.3        | 29.0   |
|        |        | % within gender  | 34.5%   | 34.5%  | 31.0%      | 100.0% |
|        |        | % within opinion | 38.5%   | 52.6%  | 60.0%      | 48.3%  |
|        |        | % of Total       | 16.7%   | 16.7%  | 15.0%      | 48.3%  |
|        | female | Count            | 16      | 9      | 6          | 31     |
|        |        | Expected Count   | 13.4    | 9.8    | 7.8        | 31.0   |
|        |        | % within gender  | 51.6%   | 29.0%  | 19.4%      | 100.0% |
|        |        | % within opinion | 61.5%   | 47.4%  | 40.0%      | 51.7%  |
|        |        | % of Total       | 26.7%   | 15.0%  | 10.0%      | 51.7%  |
| Total  |        | Count            | 26      | 19     | 15         | 60     |
|        |        | Expected Count   | 26.0    | 19.0   | 15.0       | 60.0   |
|        |        | % within gender  | 43.3%   | 31.7%  | 25.0%      | 100.0% |
|        |        | % within opinion | 100.0%  | 100.0% | 100.0%     | 100.0% |
|        |        | % of Total       | 43.3%   | 31.7%  | 25.0%      | 100.0% |

2) להלן פלט על סמך סקר שנעשה בקרב סטודנטים, בסקר נשאלו הסטודנטים על המוזיקה אותה הם מעדיפים וצורת הבילוי המועדפת עליהם.

Crosstab

Count

|        |       | בילוי |       |        | Total |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
|        |       | קריאה | ספורט | מועדון |       |
| מוזיקה | רוק   | 0     | 0     | 11     | 11    |
|        | פופ   | 1     | 6     | 8      | 15    |
|        | קלאסי | 5     | 6     | 9      | 20    |
| Total  |       | 6     | 12    | 28     | 46    |

Chi-Square Tests

|                    | Value               | df | Asymp. Sig. (2-sided) |
|--------------------|---------------------|----|-----------------------|
| Pearson Chi-Square | 11.929 <sup>a</sup> | ?  | .018                  |
| N of Valid Cases   | 46                  |    |                       |

a. 5 cells (55.6%) have expected count less than 5.

b. The minimum expected count is 1.43.

- א. בין אלו משתנים נבדק הקשר? כמה קטגוריות לכל משתנה?
- ב. האם התנאים של המודל מתקיימים?
- ג. מה מספר דרגות החופש במבחן הנ"ל?
- ד. מה ההשערות של המבחן?

- 3) מחקר התעניין לבדוק את הקשר בין רמת הכנסה של משפחה לבין צריכת עגבניות אורגניות. הפלטים מצורפים.
- א. השלימו את שלושת המספרים החסרים בטבלה (היכן שיש סימני שאלה).
- ב. מה ערכו של חי בריבוע הסטטיסטי.
- ג. תנו הערכה למובהקות התוצאה לבדיקת הקשר בין רמת הכנסה של משפחה לבין צריכת עגבניות אורגניות.

Crosstabulation רמת\_הכנסה \* צרכן עגבניות

|                            |                       | צרכן עגבניות |           | Total  |
|----------------------------|-----------------------|--------------|-----------|--------|
|                            |                       | אורגני       | לא אורגני |        |
| הרבה מתחת לממוצע רמת_הכנסה | Count                 | 17           | 42        | 59     |
|                            | % within רמת_הכנסה    | 28.8%        | ?         | 100.0% |
|                            | % within צרכן עגבניות | 13.6%        | 33.6%     | 23.6%  |
| מתחת לממוצע                | Count                 | 27           | 22        | 49     |
|                            | % within רמת_הכנסה    | 55.1%        | 44.9%     | 100.0% |
|                            | % within צרכן עגבניות | ?            | 17.6%     | 19.6%  |
| ממוצע                      | Count                 | 31           | 29        | 60     |
|                            | % within רמת_הכנסה    | 51.7%        | 48.3%     | 100.0% |
|                            | % within צרכן עגבניות | 24.8%        | 23.2%     | 24.0%  |
| מעל הממוצע                 | Count                 | 44           | 26        | 70     |
|                            | % within רמת_הכנסה    | 62.9%        | 37.1%     | 100.0% |
|                            | % within צרכן עגבניות | 35.2%        | 20.8%     | 28.0%  |
| הרבה מעל הממוצע            | Count                 | ?            | 6         | 12     |
|                            | % within רמת_הכנסה    | 50.0%        | 50.0%     | 100.0% |
|                            | % within צרכן עגבניות | 4.8%         | 4.8%      | 4.8%   |
| Total                      | Count                 | 125          | 125       | 250    |

- 4) חוקר בדק את הקשר בין צבע השיער לבין צבע העיניים בעזרת מבחן חי בריבוע בקרב 52 נבדקים. תוצאות המבחן מוצגות בטבלה. בנוסף ידוע כי סטטיסטי המבחן שהתקבל מעיבוד הנתונים הוא 8.08.
- מה תהיה מסקנת המחקר ברמת מובהקות של 1%?
  - מה ערכו של E עבור עיניים כחולות וצבע שיער כהה.
  - מה יהיה בקירוב ערכו של מקדם המתאם של קרמר?
  - מהי פרופורציית בעלי צבע השיער הבהיר מקרב בעלי העיניים הירוקות?

להלן הפלט:

Crosstabulation צבע עיניים \* צבע שיער

|            |            | צבע שיער |        | Total  |
|------------|------------|----------|--------|--------|
|            |            | כהה      | בהיר   |        |
| צבע עיניים | כחול       | Count    |        |        |
|            |            | 50.0%    | 50.0%  | 100.0% |
|            | % within   | 21.6%    | 53.3%  | 30.8%  |
|            | % within   | 15.4%    | 15.4%  | 30.8%  |
|            | % of Total |          |        |        |
|            | חום        | Count    |        |        |
|            |            | 83.3%    | 16.7%  | 100.0% |
|            | % within   | 27.0%    | 13.3%  | 23.1%  |
|            | % within   | 19.2%    | 3.8%   | 23.1%  |
|            | % of Total |          |        |        |
|            | ירוק       | Count    |        |        |
|            |            | 79.2%    | 20.8%  | 100.0% |
|            | % within   | 51.4%    | 33.3%  | 46.2%  |
|            | % within   | 36.5%    | 9.6%   | 46.2%  |
|            |            |          |        |        |
| Total      | Count      |          |        |        |
|            | 71.2%      | 28.8%    | 100.0% |        |
|            | 100.0%     | 100.0%   | 100.0% |        |
|            | 71.2%      | 28.8%    | 100.0% |        |
|            |            |          |        |        |

- 5) במחקר מסוים רצו לבדוק האם יש קשר בין המגדר להוצאה על לבוש במשך שנה. דגמו באופן מקרי גברים ונשים ובדקו את רמת ההוצאה שלהם על לבוש בשנה האחרונה. חוקר א' בדק האם קיים הבדל בתוחלות ההוצאה בין גברים לנשים. חוקר ב' קיבץ את ההוצאה לקטגוריות ובאופן הזה בדק האם קיים הבדל בהתפלגות ההוצאה בין גברים לנשים. הקטגוריות חולקו לשלוש קבוצות הוצאה.
- איזה פלט מתאים לאיזה אחד מהחוקרים? נמקו.
  - מה מסקנתו של חוקר א'? בדקו ברמת מובהקות  $\alpha = 0.05$ . (רשמו השערות, נסחו הנחות, ציינו כלל החלטה ותנו מסקנה במונחי המשתנים).
  - איזו טעות יכולה להיות במסקנתו של חוקר א'? נסחו את הטעות במונחי השאלה.
  - מהי מסקנתו של חוקר ב'? בדקו ברמת מובהקות  $\alpha = 0.05$ . (רשמו השערות, נסחו הנחות, ציינו כלל החלטה ורשמו מסקנה במונחי המשתנים).
  - איזו טעות יכולה להיות במסקנתו של חוקר ב'? נסחו זאת במונחי השאלה. כיצד ניתן ליישב את מסקנות שני החוקרים?

להלן פלט ראשון:

### T-Test

#### Group Statistics

| gender         | N  | Mean   | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|----------------|----|--------|----------------|-----------------|
| female         | 40 | 2.9000 | 1.15025        | .18187          |
| male           | 40 | 2.6000 | 2.52982        | .40000          |
| dimensio<br>n1 |    |        |                |                 |

#### Independent Samples Test

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |                              |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t                            | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|                          |                             |                                         |      |                              |        |                 |                 |                       | Lower                                     | Upper   |
|                          |                             |                                         |      |                              |        |                 |                 |                       |                                           |         |
| expose                   | Equal variances assumed     | 16.805                                  | .000 | .683                         | 78     | .497            | .30000          | .43941                | -.57479                                   | 1.17479 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | .683                         | 54.464 | .498            | .30000          | .43941                | -.58078                                   | 1.18078 |



להלן פלט שני:

**Crosstabs****Case Processing Summary**

|                   | Cases |         |         |         |       |         |
|-------------------|-------|---------|---------|---------|-------|---------|
|                   | Valid |         | Missing |         | Total |         |
|                   | N     | Percent | N       | Percent | N     | Percent |
| gender * category | 80    | 100.0%  | 0       | .0%     | 80    | 100.0%  |

**gender \* category Crosstabulation**

|        |        |                   | category |        |        | Total  |
|--------|--------|-------------------|----------|--------|--------|--------|
|        |        |                   | a        | b      | c      |        |
| gender | Female | Count             | 2        | 30     | 8      | 40     |
|        |        | Expected Count    | 11.0     | 21.0   | 8.0    | 40.0   |
|        |        | % within gender   | 5.0%     | 75.0%  | 20.0%  | 100.0% |
|        |        | % within category | 9.1%     | 71.4%  | 50.0%  | 50.0%  |
|        | Male   | Count             | 20       | 12     | 8      | 40     |
|        |        | Expected Count    | 11.0     | 21.0   | 8.0    | 40.0   |
|        |        | % within gender   | 50.0%    | 30.0%  | 20.0%  | 100.0% |
|        |        | % within category | 90.9%    | 28.6%  | 50.0%  | 50.0%  |
| Total  |        | Count             | 22       | 42     | 16     | 80     |
|        |        | Expected Count    | 22.0     | 42.0   | 16.0   | 80.0   |
|        |        | % within gender   | 27.5%    | 52.5%  | 20.0%  | 100.0% |
|        |        | % within category | 100.0%   | 100.0% | 100.0% | 100.0% |

**Chi-Square Tests**

|                    | Value               | df | Asymp. Sig. (2-sided) |
|--------------------|---------------------|----|-----------------------|
| Pearson Chi-Square | 22.442 <sup>a</sup> | 2  | .000                  |
| Likelihood Ratio   | 25.064              | 2  | .000                  |
| N of Valid Cases   | 80                  |    |                       |

a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 8.00.

## תשובות סופיות

- (1) א. 1.973      ב. קטן .      ג. לא נדחה  $H_0$  .      ד. 34.5%      ה. 38.5% .
- (2) א. בילוי מועדף ומוזיקה מועדפת עם 3 קטגוריות לכל משתנה .      ב. לא      ג. 4 .      ד.  $H_0$  אין תלות בין בילוי מועדף למוזיקה מועדפת .  
 $H_1$  יש תלות בין בילוי מועדף למוזיקה מועדפת .
- (3) א. 6, 21.6%, 71.2%      ב. 15.8      ג. קטן מ-0.005 .
- (4) א. לא נדחה  $H_0$  .      ב. 11.4      ג. 0.394      ד. 20.8% .
- (5) א. פלא א' - חוקר א', פלא ב' - חוקר ב' .      ב. נקבל את  $H_0$  .      ג. טעות מסוג שני- הכרענו שאין הבדל בין גברים לנשים למרות שיש במציאות הבדל .      ד. נקבל את  $H_1$  .  
 ה. טעות מסוג ראשון- הכרענו שיש קשר בין מין להוצאה למרות שבמציאות אין קשר .  
 ו. כל חוקר פעל בשיטה סטטיסטית שונה ובמצב כזה יתכן מסקנות סותרות .

## סטטיסטיקה

פרק 36 - מקדם המתאם ( מדד קשר ) הלינארי ומובהקותו

תוכן העניינים

1. מקדם המתאם הלינארי ( פירסון) ..... 257
2. חישוב מקדם המתאם הלינארי (פירסון) ..... 268
3. בדיקת השערות על מקדם המתאם הלינארי..... 273
4. ניתוח פלטים על מקדם המתאם הלינארי..... 277

## 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) :

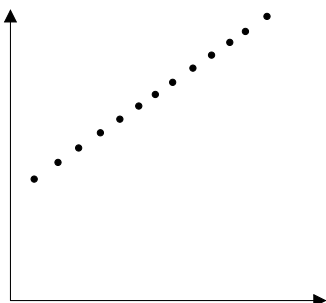
בבניין 8 דירות בדקו לכל דירה את מספר החדרים שלה וכמו כן את מספר הנפשות הגרות בדירה. להלן התוצאות שהתקבלו :

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

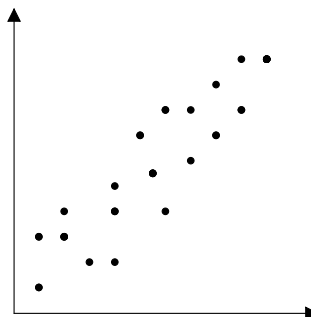
- (1) כמה תצפיות ישנן בדוגמה?
- (2) כמה משתנים ישנם בדוגמה, מי הם?
- (3) שרטטו לנתונים דיאגרמת פיזור.
- (4) מי המשתנה התלוי ומיהו המשתנה הבלתי תלוי?

## דיאגרמות פיזור לקשר בין משתנים וניתוחם

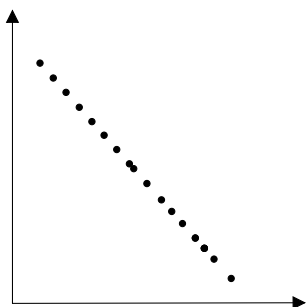
קשר לינארי חיובי מלא



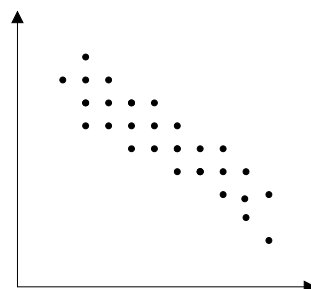
קשר לינארי חיובי חלקי



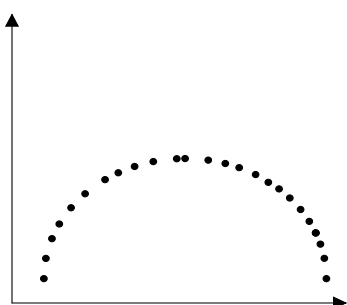
קשר לינארי שלילי מלא



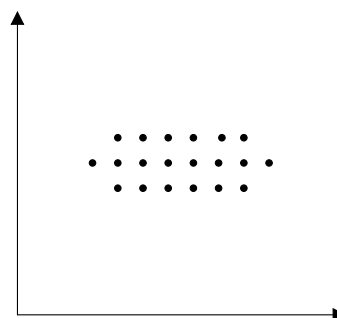
קשר לינארי שלילי חלקי



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  $\rho$ .

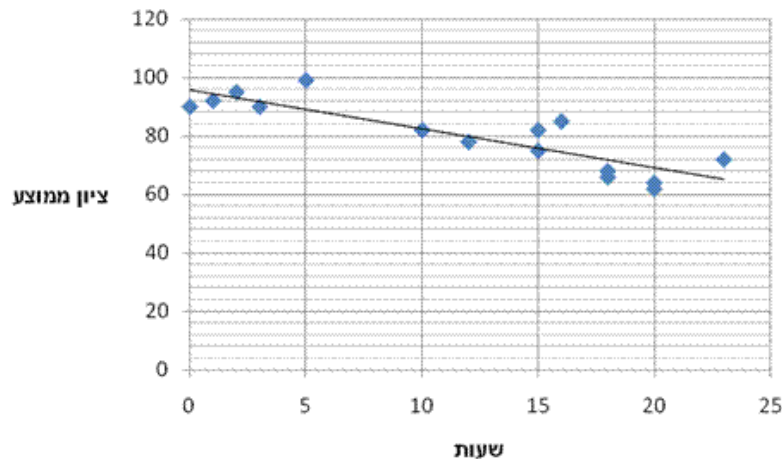
קיומו של מתאם בין שני משתנים אינו מצביע על סיבתיות בהכרח. למשל, אם נמצא מתאם חיובי בין כמות הסוכרזית שאדם אוכל לבין במשקל שלו אין זה אומר שהסיבה להשמנה היא הסוכרזית. מדד הקשר של פירסון הוא מדד קשר סימטרי, כלומר אם נחליף את  $X$  ב- $Y$  התוצאה תהיה זהה.

### 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:

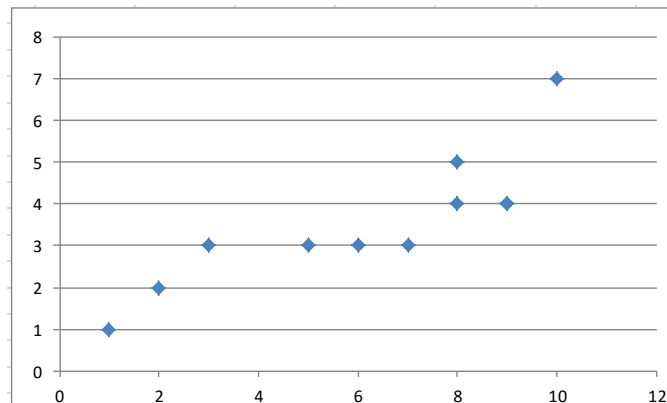
בחודש ינואר ככל שהטמפרטורה היומית נוטה לרדת, כך כמות המשקעים נוטה \_\_\_\_\_.

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.

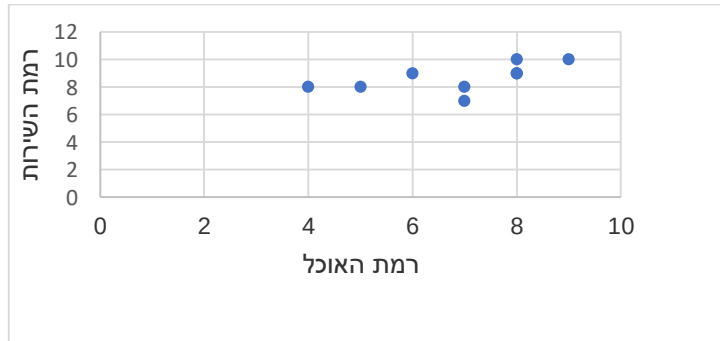
ב. במדגם, רוב הטמפרטורות בטורונטו היו שליליות.

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

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



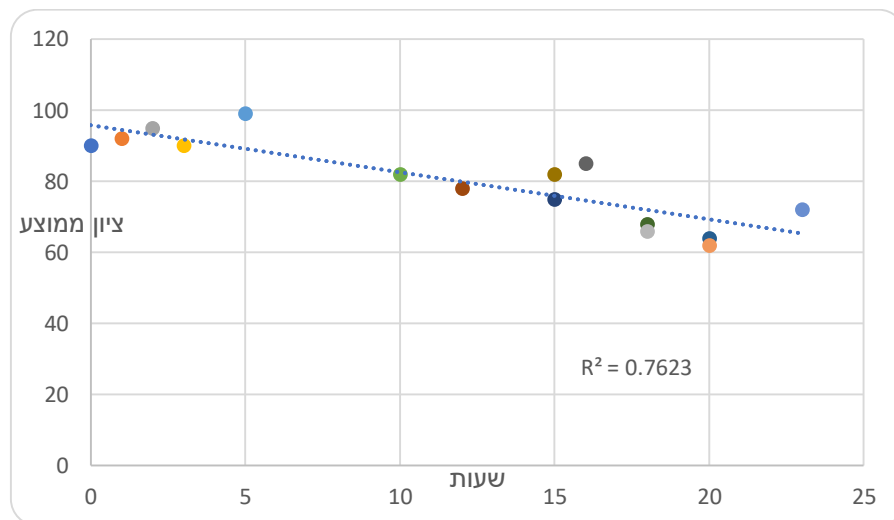
- 7) בסקר שביעות רצון שנערך בבית הקפה "פת לחם" התבקשו הלקוחות לדרג את מידת שביעות הרצון שלהם (בסולם 1-10) בשני נושאים: רמת האוכל ורמת השירות.



מה יהיה ערכו של מקדם המתאם ( $r$ )?

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

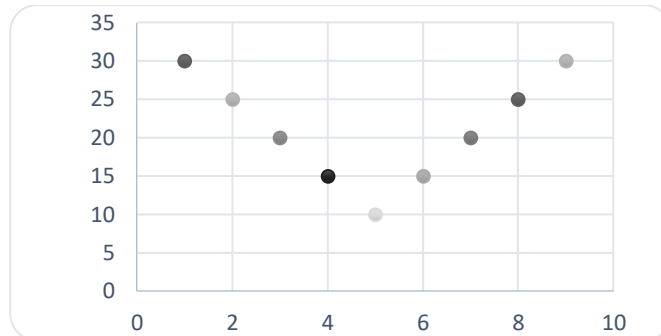
- 8) חוקר רצה לאפיין את הקשר בין מספר השעות בשבוע שסטודנט מקדיש לבילויים לבין הציון הממוצע שלו בסוף הסמסטר. לשם כך הוא אסף נתונים של 15 סטודנטים ויצר דיאגרמת פיזור.



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

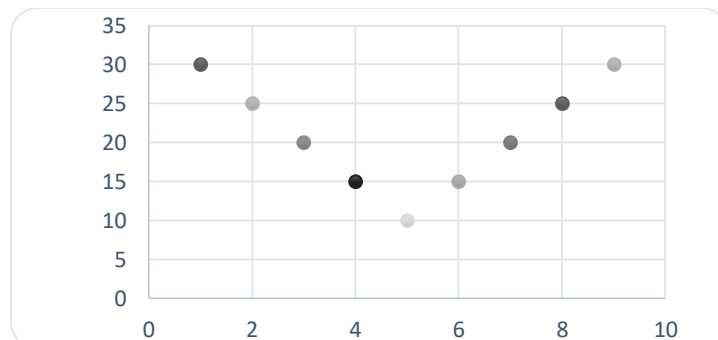
- א. ככל שמבליים יותר הציון נוטה לרדת.
- ב. אין קשר בין שעות הבילוי לציון.
- ג. ככל שמבליים פחות הציון נוטה לרדת.
- ד. ככל שהציון נוטה לרדת הסטודנט מבלה פחות.

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.

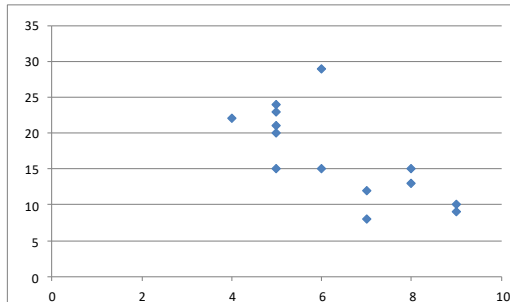
10) התרשים הבא מתאר דיאגרמת פיזור.



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 :

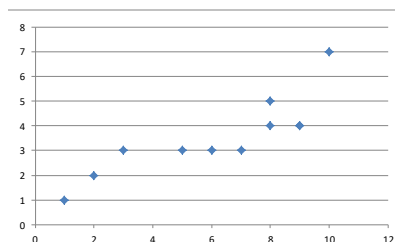
א. הערכים של המשתנים הם חיוביים.

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:  
ב. ספורט ולשון.

| 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.  
ב. קטן.  
ב. ראה גרף בפתרון וידאו.  
ד. מקדם המתאם לא היה משתנה.  
ב. לא ישפיע על מקדם המתאם.

(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).

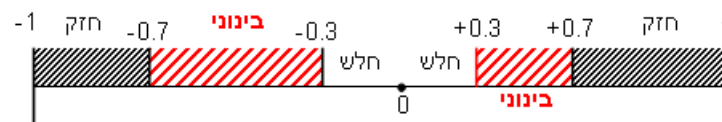
**מתאם חיובי חלקי:**

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

**מתאם שלילי חלקי:**

ככל שמשנתנה 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 הממוצע הציון בבגרות הייתה 2. מה מקדם המתאם בין ציון ההתאמה לציון הממוצע בבגרות שלהם?

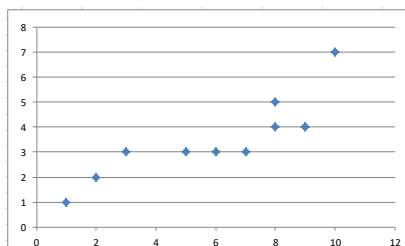
- (6) להלן רשימת טענות, לגבי כל טענה קבעו נכון/לא נכון ונמקו.
- מתווך דירות המיר מחירי דירות מדולר לשקל. נניח שדולר אחד הוא 3.5 ₪. אם מתווך הדירות יחשב את מדד הקשר של פירסון בין מחיר הדירה בשקלים למחיר הדירה בדולרים הוא יקבל 1.
  - לסדרה של נתונים התקבל  $\bar{X} = \bar{Y} = 6$ ,  $S_x = S_y = 1$ . לכן, מדד הקשר של פירסון יהיה 1.
  - 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:
- הדבר מעיד שהציונים בכיתה היו שליליים.
  - ככל שהציון של תלמיד יורד בחשבון יש לו נטייה לרדת בעברית.
  - ככל שהציון של תלמיד עולה בחשבון יש לו נטייה לרדת בעברית.
  - 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

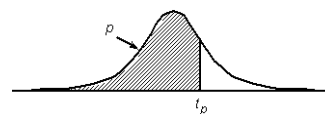
מדד הקשר הלינארי באוכלוסייה, שנקרא גם מקדם המתאם של פירסון או מדד הקשר של פירסון באוכלוסייה מסומן ב:  $\rho$  - פרמטר המאפיין את עוצמת הקשר הלינארי וכיוונו בין שני המשתנים הנחקרים באוכלוסייה. כאשר:  $r$  - מדד הקשר הלינארי במדגם שמהווה אומדן לפרמטר  $\rho$ .

**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:

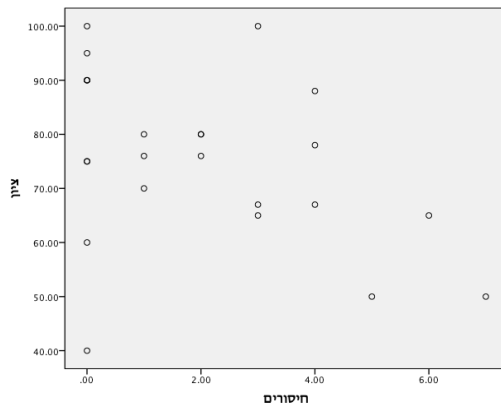
$r$  - מדד הקשר הלינארי במדגם שמהווה אומד לפרמטר  $\rho$ .

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:



- מיהו המשתנה התלוי ומיהו המשתנה הבלתי תלוי במחקר?
- 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    |

- מהו מקדם המתאם שהתקבל במדגם? מה המשמעות שלו?
- 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

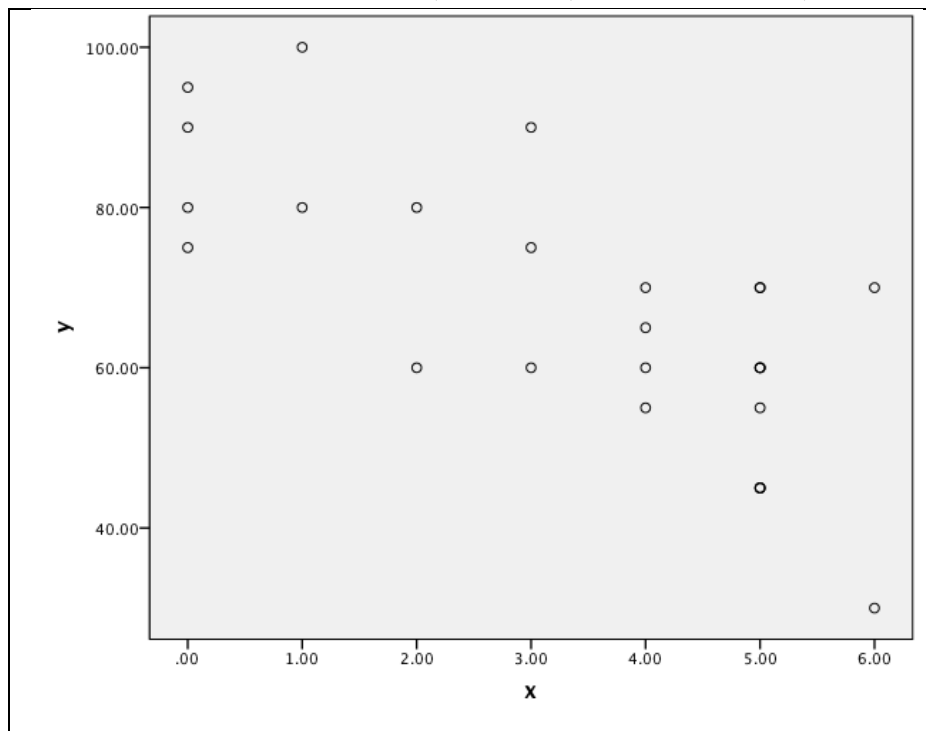
|   |                 | x     | y     | z     | w     |
|---|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| x | Pearson         | ???   | -.682 | .134  | .176  |
|   | Correlation     |       |       |       |       |
|   | Sig. (2-tailed) |       | .005  | .634  | .530  |
|   | N               | 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?

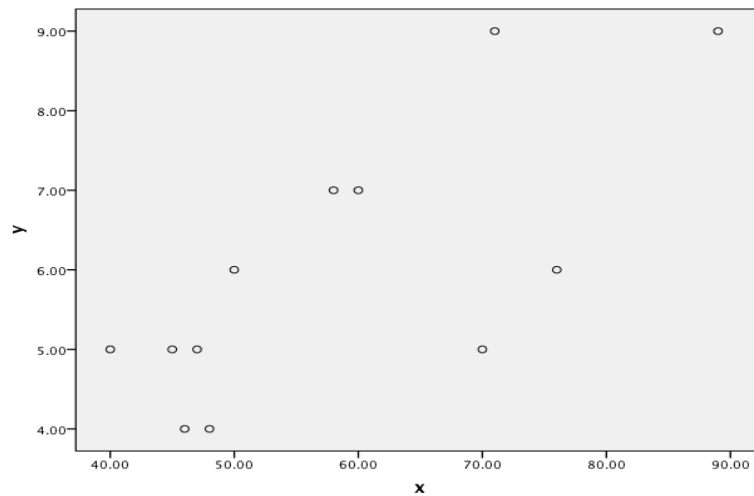
4) נדגמו ילדים בגיל 8 ונבדק עבור כל ילד גובהו בס"מ ומשקלו בק"ג. להלן הפלט שהתקבל עבור תוצאות המדגם:

### 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) |        | .007   |
|   | N               |        | 12     |
| y | Pearson         | .732** | 1      |
|   | Correlation     |        |        |
|   | Sig. (2-tailed) |        |        |
|   | N               |        |        |
|   |                 | 12     | 12     |

\*\* . 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.

# סטטיסטיקה

פרק 37 - מדדי קשר - בחירת מדד מתאים

תוכן העניינים

1. בחירת מדד מתאים ..... 284

## מדדי קשר – בחירת מדד מתאים:

### רקע:

בפרק זה נתרגל את התהליך של בחירת מדד הקשר (מקדם המתאם) המתאים. נתרכז בשלושת מדדי הקשר הנפוצים ביותר:

- מדד הקשר של קרמר.
- מדד הקשר של ספירמן.
- מדד הקשר של פירסון (מדד הקשר הלינארי).

בחירת מדד הקשר נעשה לפי סולמות המדידה של שני המשתנים שאנחנו רוצים לבדוק את הקשר בינם. הנושא של סולמות מדידה נלמד כבר בפרק אחר, כמו כן כל מדד קשר נלמד בפרק נפרד. אנו מתרכזים ב 3 סולמות מדידה:

- סולם שמי/ זהות (nominal).
- סולם סדר (ordinal).
- סולם כמותי (scale): לכאן אנו מאחדים את סולם רווחים ומנה יחד.

שלושת מדדי הקשר שלעיל דנים בקשר בין שני משתנים. מדדי הקשר הם סימטריים, כלומר אין זה משנה איזה משתנה נגדיר בתור משתנה  $X$  ואיזה יוגדר בתור משתנה  $Y$ .

להלן טבלה שמסכמת את בחירת המדד המתאים:

| $X / Y$ | שמי  | סדר    | כמותי  |
|---------|------|--------|--------|
| שמי     | קרמר | קרמר   | קרמר   |
| סדר     | קרמר | ספירמן | ספירמן |
| כמותי   | קרמר | ספירמן | פירסון |



**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

במפעל לייצור מצברים לרכב בדקו במשך 40 ימים את התפוקה היומית (מספר מצברים במאות) ואת מספר הפועלים שעבדו באותו היום. איזה מדד קשר מתאים כדי לבדוק האם קיים קשר בין התפוקה היומית לכמות עובדים באותו היום במפעל?

- א. פירסון.
- ב. ספירמן.
- ג. קרמר.
- ד. חסרים נתונים כדי לדעת זאת.

## שאלות:

- (1) בקרב תלמידי כיתות א' בבית הספר גבריאלי אשר בתל אביב בדקו לכל תלמיד את גובהו בס"מ ואת משקלו בק"ג. מהו מדד הקשר המתאים כדי לבדוק האם קיים קשר בין גובה התלמיד למשקלו?
- א. פירסון.
  - ב. ספירמן.
  - ג. קרמר.
  - ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.
- (2) בסקר שנעשה על אזרחים במדינה בדקו לכל אזרח את השכלתו ואת שכרו. מהו מדד הקשר המתאים כדי לבדוק האם קיים קשר בין השכלה לשכר?
- א. פירסון.
  - ב. ספירמן.
  - ג. קרמר.
  - ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.
- (3) בגן הילדים של שולה אספו נתונים על 25 הילדים שבגן. על כל ילד בדקו את רמת הביטחון העצמי שלו ( $X$  = מדד שמקבל ערכים בין 1 - נמוך ועד 5 - גבוה), ואת אוצר המילים שלו ( $Y$  = לפי מבחן שנעשה לכל ילד בו ספרו את מספר המילים שידע מתוך רשימה של 20 מילים). איסוף הנתונים נעשה על ידי איש מקצוע שצפה בילדים ובחן אותן.
- מהו מקדם המתאם המתאים לבדיקת התלות בין  $X$  לבין  $Y$ ?
- א. פירסון.
  - ב. ספירמן.
  - ג. קרמר.
  - ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.
- (4) הועלתה השערה בבית הספר למדעי ההתנהגות שיש קשר בין המרצה להצלחת הסטודנט. לצורך בדיקת הטענה בדקו לגבי כל סטודנט שלמד סטטיסטיקה אצל איזה מרצה הוא למד (היו 3 מרצים שונים) והאם הוא עבר את הבחינה. מהו מדד הקשר המתאים במקרה זה?
- א. פירסון.
  - ב. ספירמן.
  - ג. קרמר.
  - ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.

(5) בבורסה בתל אביב רצו לבדוק את הקשר בין גובה הריבית במשק בסוף החודש (באחוזים), לבין תשואת מניית אקטר (באחוזים) בסוף החודש. מהו מדד הקשר המתאים?

- א. פירסון.
- ב. ספירמן.
- ג. קרמר.
- ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.

(6) בעל מסעדה ביצע סקר על לקוחותיו, בין השאלות שנשאלו בסקר :

- מה מידת שביעות הרצון של הלקוח מאדיבות השירות של המלצר בסקלה של 1 עד 5.
- מה גילו של הלקוח בשנים.
- מה גובה התשר (טיפ) ב-₪ אשר נתן הלקוח למלצר בלכתו מהמסעדה.

מהו המדד המתאים כדי לבדוק האם קיים מתאם חיובי בין מידת שביעות הרצון של הלקוח מאדיבות השירות לבין גובה התשר שהוא נתן למלצר?

- א. פירסון.
- ב. ספירמן.
- ג. קרמר.
- ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.

(7) בעל מסעדה ביצע סקר על לקוחותיו, בין השאלות שנשאלו בסקר :

- מה מידת שביעות הרצון של הלקוח מאדיבות השירות של המלצר בסקלה של 1 עד 5.
- מה גילו של הלקוח בשנים.
- מה גובה התשר (טיפ) ב-₪ אשר נתן הלקוח למלצר בלכתו מהמסעדה.

מהו המדד המתאים כדי לבדוק האם קיים מתאם בין גיל הלקוח לגובה התשר שהעניק לשירות?

- א. פירסון.
- ב. ספירמן.
- ג. קרמר.
- ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.

### הנתונים הבאים מתאימים ל-3 השאלות הבאות:

חוקרים ערכו מדגם של ילדים מכיתות ב' ו-ג' מ-4 בתי ספר שונים. הועבר לילדים שאלון בו תואר מצב מסוים והילדים התבקשו לציין את רמת החרדה שלהם באשר לאותו מצב. המשתנים שלגביהם נאספו נתונים:

- מגדר (1 - בן, 2 - בת).
- כיתה (0 - ג', 1 - ב').
- בית ספר (A, B, C, D).
- רמת חרדה (ציון שהילד היה צריך לתת בסקלה של 1 עד 10).
- גיל התלמיד בחודשים.

8) מהו מדד הקשר המתאים כדי לבדוק את הקשר בין גיל התלמיד לבין רמת החרדה שלו מהמצב?

- א. פירסון.
- ב. ספירמן.
- ג. קרמר.
- ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.

9) מהו מדד הקשר המתאים כדי לבדוק את הקשר בין המגדר לבין רמת החרדה שלו מהמצב?

- א. פירסון.
- ב. ספירמן.
- ג. קרמר.
- ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.

10) מהו מדד הקשר המתאים כדי לבדוק את הקשר בין המגדר לבין בית הספר?

- א. פירסון.
- ב. ספירמן.
- ג. קרמר.
- ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.

11) בטבלה שלהלן נתונות שכיחויות ההצלחה והכישלון של 150 חולים :

| תוצאה/ התרופה | A  | B  | C  |
|---------------|----|----|----|
| נרפא          | 35 | 13 | 45 |
| לא נרפא       | 15 | 37 | 5  |

החולים קיבלו 3 תרופות שונות ובדקו עבור כל חולה אם התרופה הצליחה בריפוי. מהו מדד הקשר המתאים?

- א. פירסון.
- ב. ספירמן.
- ג. קרמר.
- ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.

12) שני מוסיקאים מפורסמים נתנו ציון בסולם של 1-10 לקולם של 8 מתמודדים בתוכנית ריאליטי ידועה. ציון 10 ניתן לקול שמצא חן ביותר בעיני המוסיקאי. מפיק התוכנית רצה לבדוק האם יש קורלציה בין המוסיקאים מבחינת הטעם. בטבלה הבאה נתונים הציונים של כל אחד מהמוסיקאים את שמונת המתמודדים :

|            | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| מוסיקאי א' | 6 | 5 | 7 | 4 | 3 | 1 | 1 | 4 |
| מוסיקאי ב' | 5 | 7 | 5 | 2 | 3 | 3 | 2 | 7 |

מהו מדד הקשר המתאים?

- א. פירסון.
- ב. ספירמן.
- ג. קרמר.
- ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.

13) להלן טבלה המסכמת את השכר באלפי ₪ של עובדים בחברה ואת רמת המוטיבציה שלהם מ-1 עד 5 :

| שכר      | 12 | 18 | 20 | 15 | 30 |
|----------|----|----|----|----|----|
| מוטיבציה | 4  | 4  | 5  | 3  | 5  |

מהו מקדם המתאם המתאים לבדיקת רמת ההתאמה בין המוטיבציה לשכר של העובד?

- א. פירסון.
- ב. ספירמן.
- ג. קרמר.
- ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.

14) להלן טבלה על נתונים שנאספו על מספר תצפיות:

|    |    |    |    |    |   |
|----|----|----|----|----|---|
| 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | X |
| 20 | 17 | 17 | 14 | 12 | Y |

אם מעוניינים לבדוק עד כמה קיים קשר לנארי בין שני המשתנים.  
מהו המדד המתאים?

- א. פירסון.
- ב. ספירמן.
- ג. קרמר.
- ד. אין מספיק נתונים כדי לדעת.

### תשובות סופיות:

|        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| א' (5  | ג' (4  | ב' (3  | ד' (2  | א' (1  |
| ג' (10 | ג' (9  | ב' (8  | א' (7  | ב' (6  |
|        | א' (14 | ב' (13 | ב' (12 | ג' (11 |