# מבוא לסטטיסטיקה והסתברות. מספר קורס 88622

## פרק 46 - התפלגות הדגימה ומשפט הגבול המרכזי

### תוכן העניינים


1. התפלגות ממוצע המדגם ומשפט הגבול המרכזי ..... 1
2. התפלגות סכום תצפיות בלתי תלויות ומשפט הגבול המרכזי ..... 9
3. התפלגות מספר ההצלחות במדגם - קירוב נורמלי להתפלגות הבינומית ..... 12
4. התפלגות פרופורציית ההצלחות במדגם ..... 17
5. חוק המספרים הגדולים ..... 21

# 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 סטית התקן של ממוצע המדגם?


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

**דגימה מהתפלגות נורמאלית:**

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

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

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

**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?


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

## 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.

א. מיהי האוכלוסייה?

ב. מה המשתנה?

ג. מהם הפרמטרים?

ד. מהו גודל המדגם?

ה. מהו תוחלת ממוצע המדגם?

ו. מהי טעות התקן?

**2)** להלן התפלגות מספר מקלטי הטלוויזיה למשפחה בישוב מסוים:

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

א. בנו את פונקציית ההסתברות של $X$.

ב. חשבו את התוחלת, השונות וסטיית התקן של $X$.

ג. 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.

א. מה ההסתברות שתינוק אקראי בעת הלידה ישקול פחות מ-3800 גרם?

נתון כי ביום מסוים נולדו 4 תינוקות.

ב. מה ההסתברות שהמשקל הממוצע שלהם יעלה על 4 ק"ג?

ג. מה ההסתברות שהמשקל הממוצע של התינוקות יהיה מתחת ל-2.5 ק"ג?

ד. מה ההסתברות שהמשקל הממוצע של התינוקות יהיה רחוק מהתוחלת בלא יותר מ-50 גרם?

ה. הסבירו ללא חישוב כיצד התשובה לסעיף הקודם הייתה משתנה אם היה מדובר על יותר מ-4 תינוקות?


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

**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 מתחולת 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. בקבוקיי היין שבארגז נמזגים לקערה עם קיבולת של שלושה ליטר. מה ההסתברות שהיין יגלוש מהקערה?

**8)** משתנה מתפלג נורמאלית עם תוחלת 80 וסטיית תקן 4.

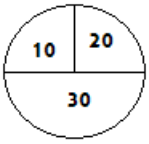
א. מה ההסתברות שממוצע המדגם יסטה מתוחלתו בלא יותר מיחידה כאשר גודל המדגם הוא 9?

ב. מה ההסתברות שממוצע המדגם יסטה מתוחלתו בלא יותר מיחידה שגודל המדגם הוא 16?

ג. הסבר את ההבדל בתשובות של שני הסעיפים.


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

**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:

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

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


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

**14)** נתון ש-$X \sim N\left(\mu,\sigma^2\right)$. דגמו 5 תצפיות מאותה התפלגות והתבוננו בממוצע המדגם $\bar{X}$. לכן: $P\left(\bar{X} > \mu\right)$ 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. $\bar{X} \sim N\left(\mu,\sigma^2\right)$.
ד. $\bar{X} \sim N\left(\mu,\frac{\sigma^2}{200}\right)$.

**16)** נתון ש-$X \sim N\left(\mu,\sigma^2\right)$. 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?


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

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


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

## תשובות סופיות:

**1)** א. כלל הסטודנטים במכללה שסיימו סטטיסטיקה א. ב. ציון.
ג. ממוצע: 78, סטיית תקן: 15. ד. 2.
ה. 78. ו. 10.6.

**2)** א. להלן טבלה:

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

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

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

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

**4)** א. 0.8413. ב. 0.0013. ג. 0. ד. 0.1974.

**5)** א. 0. ב. 0. ג. 0.9544. ד. 178.205.

**6)** א. 0.0465. ב. 27.71. ג. 0.2628. ד. התשובה הייתה קטנה.

**7)** א. 0. ב. 0.1587. ג. 0.1587. ד. 0.5.

**8)** א. 0.5468. ב. 0.6826.

**9)** א. להלן טבלה:

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

ב. התוחלת: 22.5, השונות: 68.75.

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.


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

# 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: $X_1,\ldots,X_n$ -

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: $V(X)=\sigma^2$, $E(X)=\mu$,

אזי עבור מדגם מספיק גדול (לפחות 30): $T\sim\succ N(n\mu,n\sigma^2)$.

**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.

1. מה התוחלת וסטיית התקן של סך המשכורות שיופקדו לסניף הבנק על ידי העובדים הללו?
2. מה ההסתברות שלסניף יופקד פחות מ-780 אלף ₪ ע"י אותם עובדים?


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

## 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 |

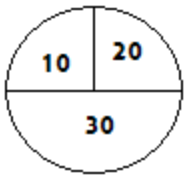
נניח שמספר המכוניות ליחידת דיור בלתי תלויות זו בזו ועם אותה פונקציית הסתברות לכל יחידת דיור (אין צורך בתיקון רציפות).

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?


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

**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: $i=1,2...100$.

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.


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

# 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.

תצפית
הצלחה כשלון

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

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

אז: $Z_y = \frac{y-np}{\sqrt{npq}}$.


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

**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. $p(Y=a) \cong p\left(a-\frac{1}{2} \le Y \le a+\frac{1}{2}\right)$.
2. $P(Y \le a) \cong P(Y \le a+0.5)$.
3. $P(Y \ge a) \cong P(Y \ge a-0.5)$.

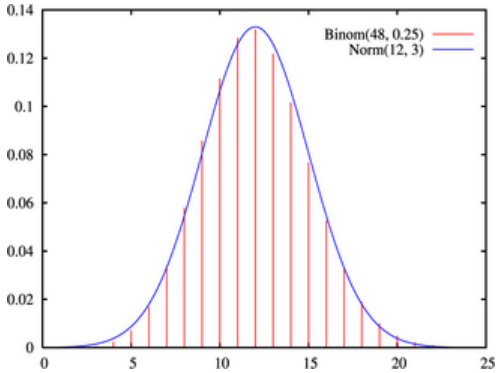
**הערות:**

- התנאים למעבר מבינומי לנורמלי הם נזילים, כלומר משתנים ממרצה אחד לשני. התנאי שהצגתי כאן הוא הפופולרי ביותר:
  1. $n \cdot p \ge 5$.
  2. $n \cdot (1-p) \ge 5$.
- ישנם מרצים שנותנים את התנאי המחמיר הבא:
  1. $n \cdot p \ge 10$.
  2. $n \cdot (1-p) \ge 10$.
- וישנם מרצים שהתנאי שהם נותנים הוא: $(n \ge 30)$.
- 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).


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

**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?





© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

## 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 שקיבלנו 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?


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

## 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. 398.

6) 0.9996.

7) 0.8643.


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

# התפלגות פרופורציית ההצלחות במדגם:

## רקע:

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

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

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

מספר המובטלים: $Y=20$.

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

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:**

$E(\hat{p})=p \;,\; V(\hat{P})=\frac{pq}{n}$.

משפט הגבול המרכזי עבור הפרופורציה המדגמית:

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

**הערות:**

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


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

- 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.

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

ב. מה ההסתברות שפרופורציית הזכאים לבגרות במדגם תעלה על 70%?


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

## 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 היות 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 סמאטרפון?

ג. מה ההסתברות שפרופורציית בעלי הסמרטפון 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?


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

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

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

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. 481. ד. 0.77436.

5) 0.0154.

6) א. שאלת הוכחה. ב. 0.5.


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

# חוק המספרים הגדולים:

## רקע:

חוק המספרים הגדולים מתייחס להשפעת הגדלת גודל המדגם על הסיכוי של פרופורציית המדגם (או ממוצע המדגם) להיות קרובה מהפרופורציה האמיתית (או מהממוצע האימתי).

**החוק לגבי פרופורציה:**

נניח שמבצעים מדגם מקרי מתוך אוכלוסייה אינסופית בה פרופורציית ההצלחות היא $p$ , ככל שהמדגם גדול יותר: כך הסיכוי שפרופורציית המדגם ( $\hat{p}$ ) תהיה בקרבת הפרופורציה באוכלוסייה ( $P$ ) גבוה יותר.
ולכן הסיכוי לקבל ערך חריג הרחוק מהפרופורציה של האוכלוסייה קטן יותר.
בכתיבה מתמטית רושמים את חוק המספרים הגדולים לגבי הפרופורציה באופן הבא: $\lim_{n\to\infty} \hat{P}_n = P$ .

בספרות המקצועית קוראים לחוק הזה החוק החזק של המספרים הגדולים.

את החוק החלש של המספרים הגדולים רושמים באופן הבא: $P\left(|\hat{P}-P|<\varepsilon\right)\underset{n\to\infty}{\to}1$ .

**הערה:** ככל שהמדגם גדל הסיכוי שפרופורציית המדגם תהיה בדיוק הפרופורציה האמיתית הולך וקטן.

**החוק לגבי ממוצע:** נניח שמבצעים מדגם מקרי מתוך התפלגות שבה התוחלת $\mu$ והשונות סופית. ככל שהמדגם גדול יותר, כך הסיכוי שממוצע המדגם ( $\bar{X}$ ) יהיה בקרבת הממוצע באוכלוסייה ( $\mu$ ) גבוה יותר. לכן, הסיכוי לקבל ערך חריג הרחוק מהממוצע של האוכלוסייה קטן יותר. בכתיבה מתמטית רושמים את חוק המספרים הגדולים לגבי הממוצע באופן הבא: $\lim_{n\to\infty} \bar{X}_n = \mu$ .

בספרות המקצועית קוראים לחוק הזה החוק החזק של המספרים הגדולים.

את החוק החלש של המספרים הגדולים רושמים באופן הבא: $P\left(|\bar{X}-\mu|<\varepsilon\right)\underset{n\to\infty}{\to}1$ .

**דוגמה (פתרון בהקלטה):**

באוכלוסייה מסוימת 20% מהאוכלוסייה מובטלת. איזה סיכוי יותר גבוה? במדגם בגודל 100 פרופורציית המובטלים תסטה מהפרופורציה האמיתית בלא יותר מ-4%.
במדגם בגודל 200 פרופורציית המובטלים תסטה מהפרופורציה האמיתית בלא יותר מ-4%. הסבירו.


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

## שאלות:

**1)** באוכלוסייה מסוימת 20% מהאוכלוסייה מובטלת. איזה סיכוי יותר גבוה?

א. אחד מתוך מדגם של חמישה יהיה מובטל.

ב. שניים מתוך עשרה יהיו מובטלים. הסבירו וחשבו.

**2)** באוכלוסייה מסוימת 20% מהאוכלוסייה מובטלת. איזה סיכוי יותר גבוה?

א. לפחות 3 מתוך 10 יהיו מובטלים

ב. לפחות 30 מתוך 100 יהיו מובטלים. הסבירו.

**3)** גובה של אוכלוסייה מסוימת מתפלג נורמלית עם ממוצע 170 ס"מ וסטיית תקן של 10 ס"מ. דוגמים 4 אנשים באקראי.

א. מה ההסתברות שהגובה הממוצע שלהם יהיה מעל 176 ס"מ.

ב. כיצד התשובה לסעיף הקודם הייתה משתנה אם הינו מגדילים את גודל המדגם? נמקו.

**4)** ידוע שבהצעת חוק מסוימת תומכים 60% מהציבור. נדגמו באקראי 10 אנשים.

א. מה ההסתברות שבדיוק 60% מהמדגם תומכים בהצעת החוק?

ב. כיצד התשובה הייתה משתנה אם היו דוגמים 20 אנשים?

**5)** שני חוקרים ביצעו מדגם מאותה אוכלוסייה. חוקר א דגם 20 תצפיות והשני דגם 40 תצפיות וכל אחד מהם חישב את ממוצע המדגם: $\bar{X}_{20}$ ו- $\bar{X}_{40}$.
ידוע שהתפלגות היא נורמלית ושהתוחלת באוכלוסייה הינה 500.
בסעיפים הבאים נמקו אילו הסתברויות מהזוגות המוצגים גדולה יותר או שהן שוות ונמקו.

א. $P\left(\bar{X}_{20} > 500\right)$ או $P\left(\bar{X}_{40} > 500\right)$.

ב. $P\left(480 < \bar{X}_{20} < 520\right)$ או $P\left(480 < \bar{X}_{40} < 520\right)$.

ג. $P\left(\bar{X}_{20} < 490\right)$ או $P\left(\bar{X}_{40} < 490\right)$.

**6)** נתון ש: $X \sim G\left(P = 0.1\right)$. מבצעים מדגם אקראי בגודל $n$ מההתפלגות הזו ומחשבים את ממוצע המדגם: $\bar{X}_n$.

הוכיחו: $\lim\limits_{n\to\infty} \bar{X}_n = 10$.


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל

## תשובות סופיות:

1) אחד מתוך מדגם של חמישה יהיה מובטל.

2) לפחות 3 מתוך 10 יהיו מובטלים.

3) א. 0.1151. ב. קטנה.

4) א. 0.2508. ב. קטן.

5) א. $P\left(\bar{X}_{40} > 500\right) = P\left(\bar{X}_{20} > 500\right)$.

ב. $P\left(480 < \bar{X}_{40} < 520\right) > P\left(480 < \bar{X}_{20} < 520\right)$.

ג. $P\left(\bar{X}_{40} < 490\right) < P\left(\bar{X}_{20} < 490\right)$.

6) שאלת הוכחה.


© כל הזכויות שמורות לברק קנדל