

מבוא

בפרסום שלפנינו מובאים לוחות תמותה שלמים לשנים 2004-2000 ולשנים 2005-2001. בלוחות מוצגים הנתונים בפירוט של גיל, בשנים בודדות, עבור זכרים ונקבות בנפרד. הנתונים מוצגים עבור כל האוכלוסייה, עבור יהודים ואחרים ויהודים בנפרד ועבור ערבים בנפרד. לפרסום זה נוספו לראשונה לוחות של רווחי סמך לתוחלת חיים ולהסתברויות תמותה לכל קבוצות האוכלוסייה.

הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה מפיקה שתי סדרות של לוחות תמותה באופן שוטף - לוחות תמותה שלמים ולוחות תמותה מקוצרים¹. לוחות התמותה המקוצרים (לקבוצות גיל של חמש שנים) מופקים על בסיס שנה בודדת ולוחות התמותה השלמים (לגילים בודדים) מופקים לתקופות של חמש שנים קלנדריות (ממוצעים נעים). בנתוני לוח תמותה שלם ייתכנו הבדלים לעומת הנתונים שבלוח תמותה מקוצר, במיוחד בגילים המבוגרים, כתוצאה משיטת חישוב שונה (ראה בהמשך).

ממצאים עיקריים

תוחלת החיים בלידה בשנים 2005-2001 הגיעה ל-81.6 שנים בקרב הנקבות ול-77.5 שנים בקרב הזכרים. בקרב יהודים ואחרים, תוחלת החיים הייתה 82.0 שנים לנקבות ו-77.9 שנים לזכרים, בדומה לתוחלת החיים שהייתה ליהודים – 82.0 שנים לנקבות ו-78.1 שנים לזכרים. ואילו בקרב הערבים תוחלת החיים הייתה 78.4 שנים לנקבות ו-74.7 שנים לזכרים.

יותר ממחצית ממספר הנקבות שנולדו בשנים 2001 עד 2005 צפויות לחיות למעלה מ-84 שנים, ויותר ממחצית מהזכרים שנולדו באותן שנים צפויים לחיות למעלה מ-80 שנים. 25% מהנקבות בקירוב ו-16.5% מהזכרים שנולדו בשנים 2001 עד 2005 צפויים לחיות לפחות 90 שנים (בהנחה שדפוסי התמותה לא ישתנו). נשים בנות 65 צפויות לחיות עוד 19.6 שנים בממוצע, ואילו נשים בנות 80 צפויות לחיות עוד 8.6 שנים בממוצע. גברים בני 65 צפויים לחיות עוד 17.4 שנים בממוצע, ואילו גברים שכבר מלאו להם 80, צפויים לחיות עוד 7.8 שנים בממוצע.

בהשוואה בין-לאומית, נמצאים הגברים הישראלים בקבוצת המדינות עם תוחלת החיים הגבוהה ביותר. בדו"ח של ארגון הבריאות העולמי לשנת 2006², אשר מדווח על נתונים לשנת 2004, לגברים הישראלים תוחלת חיים הנמוכה בשנה אחת (נתון מעוגל) מיפן (79 שנים), הנמצאת במקום הראשון. לגברים בקנדה, שוודיה, שווייץ, איטליה ואוסטרליה תוחלת חיים דומה לזו של הגברים בישראל. הנשים הישראליות מדורגות נמוך יותר, תוחלת החיים שלהן נמוכה בארבע שנים מזו של המובילה – יפן (86 שנים). לנשים ביוון, אוסטרליה, פינלנד, גרמניה, נורווגיה, ניו-זילנד וסינגפור תוחלת חיים דומה לזו של הנשים בישראל.

¹ ראה שנתון סטטיסטי לישראל, בהוצאת הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, פרק 3.

² World Health Organization, *The World Health Report 2006: Working Together for Health*, Geneva, 2006.

שיטות חישוב

א. סוגי לוחות תמותה

קיימים שני סוגים של לוח תמותה: לוח תמותה "קוהורטי" (דורי) ולוח תמותה "תקופתי".

בלוח התמותה הקוהורטי עוקבים אחרי דפוסי התמותה של דור מסוים עד שכל הפרטים של אותו דור נפטרים. לדוגמה: ניתן לקחת את הדור של ילידי 1894 ולעקוב אחרי הסתברויות התמותה שלהם בכל שנה מ-1894 עד 1993 ולקבל את דפוסי התמותה שלהם בכל גיל, מהלידה עד גיל 100. עם נתונים אלה ניתן לחשב לוח תמותה עבור כל הדור (בהנחה שבשנת 1994 כולם כבר נפטרו). כדי ליצור לוח תמותה מעין זה יש צורך בנתוני תמותה עבור מספר רב מאוד של שנים. מעקב כזה הוא מעשי רק ב"אוכלוסיות סגורות" (להגירה) - מצב שהוא רחוק מאוד מהמציאות של אוכלוסיית ישראל. בנוסף, ערכו של לוח קוהורטי הוא בעיקר היסטורי, שכן הוא משקף דפוסי תמותה של אנשים שנולדו לפני זמן רב וחיו בתנאים שונים מאלה השוררים בתקופת בניית הלוח.

מאחר שחישוב לוח תמותה קוהורטי אינו מעשי ומכיוון שיש צורך לתאר את תנאי התמותה השוטפים, נהוג לחשב לוח תמותה תקופתי. לוח תמותה תקופתי, בשונה מלוח תמותה קוהורטי, משקף את התמותה של דור היפותטי שנולד בשנה נתונה, בהנחה שדור זה יתנסה בכל גיל במהלך חייו בדפוסי התמותה הקיימים באותה שנה נתונה. לדוגמה, בלוח התמותה לשנת 1990 מניחים שהשורדים של הדור שנולד בשנת 1990, יהיו חשופים בכל גיל מהלידה ועד גיל 100, לשיעורי התמותה הקיימים בגילים אלה בשנת 1990. כלומר, מחושבת מעין "תחזית" בהנחה ששיעורי התמותה נשארים קבועים. לוחות התמותה המובאים בפרסום זה הנם לוחות תמותה תקופתיים "שלמים" – לגילים בודדים מהלידה (גיל 0) ועד גיל 100.

ב. רווחי סמך

שיעורי התמותה בישראל, כבכל המדינות, חשופים לסטיות אקראיות (טעויות סטטיסטיות) ולסוגים שונים של טעויות שאינן סטטיסטיות, כגון אלה הנובעות מדיווח שגוי של שנת לידה או של גיל בעת הפטירה. שני סוגי הטעויות גורמים לכך ששיעורי התמותה המחושבים שונים משיעורי התמותה ה"אמיתיים" שהיינו מחשבים לו ניתן היה להתגבר על הטעות הסטטיסטית והטעות בדיווח. הטעויות הסטטיסטיות משמעותיות יותר ככל שמדובר בקבוצת אוכלוסייה קטנה יותר, בקבוצת גיל בודדת או בתקופה קצרה יותר.

בפרסום זה מוצגים לראשונה רווחי הסמך של ההסתברות למות ושל תוחלת החיים. רווחי סמך אלה הם סימטריים, משקפים אך ורק את הסטיות האקראיות ומבוססים על ההנחה שהתמותה לפי גיל מתנהגת לפי התפלגות בינומית¹.

רווח סמך של 95% הוא מרווח שבו הערך האמיתי של הנתון ימצא ב-95% מהמקרים בטווח הנתון. בכל המקרים שבהם ישנה חפיפה כלשהי בין הטווחים של רווחי הסמך של השיעורים, ההבדל בין השיעורים אינו מובהק סטטיסטית.

¹ Chiang C.L., "Statistical Inference Regarding Life Table Functions". In: C.L. Chiang, *The Life Table and Its Applications*, Malabar, FL: Robert E. Krieger Publishers, pp. 153-167, 1984.

רווח הסמך של הסתברות למות (q_x) תלוי במספר הפטירות בקבוצת ההתייחסות. אי לכך ישנם הבדלים ברוחב היחסי של רווח הסמך בגילים שונים. בגילים הצעירים, בהם מספר הנפטרים הוא קטן, רווח הסמך רחב יותר מאשר בגילים המבוגרים שבהם מספר הנפטרים גדול יותר. כמו כן, הרוחב היחסי של רווח הסמך משתנה בין קבוצות אוכלוסייה שונות. מכיוון שמספר הפטירות באוכלוסייה הערבית קטן מזה שבאוכלוסייה היהודית, רוחב היחסי של רווח הסמך לאוכלוסייה הערבית גדול יותר.

רווח הסמך של תוחלת החיים תלוי ברווח הסמך של הסתברויות למות, ולכן באוכלוסייה היהודית הרווח צר יותר מזה של האוכלוסייה הערבית. לדוגמא, בקרב נשים יהודיות רווח הסמך בתוחלת החיים בלידה הוא 0.1 (\pm) שנים, ואילו בקרב נשים ערביות הוא 0.25 (\pm) שנים.

חישוב רווח הסמך של תוחלת החיים ושל הסתברויות למות נעשה על פי השיטה של Chiang¹, כאשר רמת המובהקות $\alpha = 0.05$, מקבילה לערך $Z = 1.96$ בהתפלגות הנורמלית. רווח סמך חושב לאומדן של הסתברות למות אשר התקבל מהמודל ה"מוחלק".

$$CI = 2 * 1.96 * S_{q_x} \quad S_{q_x}^2 = \frac{\hat{q}_x^2 (1 - \hat{q}_x)}{D_x}$$

D_x - מספר מוחלט של הפטירות בגיל x .

ג. שיטות "החלקה"

הסטיות האקראיות אינן המקור היחיד ל"טעות" בפונקציות לוח התמותה, ולכן כדי להתגבר על אי-הסדירות שנובעת מכל המקורות נהוג להשתמש בשיטת "החלקה" מסוג כלשהו.

לוח תמותה "מקוצר", המבוסס על שיעורי תמותה של קבוצות גיל רחבות (ולא גיל בודד) חשוף פחות לסטיות אקראיות ואחרות. הבעיות חמורות יותר בחישוב לוח תמותה "שלם" המבוסס על גיל בודד. לוחות התמותה השלמים בישראל לשנת 1986 ואילך חושבו בעזרת תכנת MORTPAK², שסופקה ע"י האו"ם. תכנה זו מאפשרת הכנת לוחות תמותה שלמים על ידי אמידת מודל מסוג Heligman-Pollard (H-P)³, בשיטת מזעור ריבועים פחותים. בשנים האחרונות התברר שתכנה זו אינה מספקת תוצאות סבירות לנתונים הישראליים. התאמת המודל לנתונים אמפיריים אינה מובהקת מבחינה סטטיסטית. נמצא כי נוסחת H-P מעלה את תוחלת החיים בלידה בכל קבוצות האוכלוסייה (לפחות ב-0.2 שנים) לעומת לוח התמותה המקוצר, וכן נמצא שהקו של המודל חורג מגבולות רווח הסמך של נתוני ההסתברות למות (q_x) האמפיריים. כמו כן, הפרמטרים של נוסחת H-P ניתנים לאמידה, אך לא ניתן לחשב את המדדים הסטטיסטיים (סטיית תקן ומובהקות) של אומדני הפרמטרים, לכן לא ידועה לנו רמת המובהקות של המודל. לבסוף, מודל זה מבצע החלקה שאינה מבטאת את הייחודיות של הנתונים הישראליים - בגילים מסוימים ההחלקה מקטינה מאוד את ההסתברויות למות (כגון בגיל הצבא) ובגילים אחרים היא מגדילה אותם (בעיקר בגילים המבוגרים).

Chiang C.L. 1984.

United Nations, *MORTPAK: The United Nations' Software Package for Mortality Measurement*, 1988.

Heligman L., Pollard J.H., "The Age Pattern of Mortality", *Journal of the Institute of Actuaries*, Vol. 107, pp. 49-80, 1980.

לפיכך פותחה שיטה חדשה של פולינום דו-שלבי¹, שעליה מתבססים לוחות תמותה שלמים לשנים 1996-2000. המודל מבוסס על שימוש בשיטת נראות מקסימלית מקומית (Local Maximum Likelihood)² ועל שימוש בשיטת אומדנים של נקודת שבר (change point)³.

לשיטה זו ארבעה יתרונות:

- ההבדלים בין תוחלת החיים לפני ההחלקה ולאחריה אינם מובהקים.
- ניתן לחשב מדדים סטטיסטיים של המודל, כמו שונות, רווח סמך ומובהקות.
- המודל מחליק בצורה טובה את ה- q_x (ההסתברות הספציפית למות בגיל מסוים) ומתחשב בייחודיות הנתונים הישראליים.
- השיטה קלה ונוחה לשימוש.

בשיטה החדשה חישוב תוחלת חיים מתבצע בארבעה שלבים:

שלב א: חישוב ערכי q_x על סמך שיעורי התמותה (m_x) לגיל בודד לכל קבוצת אוכלוסייה ולכל מין, בממוצע לתקופה של חמש שנים (2000-2004 או 2001-2005).

שלב ב: בדיקת ההשערה על קיום נקודת שבר במודל. אם ההשערה לא נדחית עוברים לשלב ג'.

שלב ג: החלקת q_x על פי אמידה של מודל אחד או שני מודלים של פונקציית ה- q_x , בהתאם לקיום/אי קיום של נקודת שבר, מודל אחד לגילים הצעירים (עד נקודת שבר) ושני לגילים מבוגרים יותר (אחרי נקודת השבר).

שלב ד: חישוב כל הפרמטרים של לוח תמותה בהתבסס על אומדני ה- q_x שהתקבלו מהמודלים.

מרכיבי לוח התמותה

לוח תמותה מבוסס על שיעורי הפטירה הסגוליים לפי גיל ומין, והוא מורכב מהפונקציות הבאות:

m_x - שיעורי התמותה הממוצעים בגיל x , כלומר מספר הנפטרים בגיל x מחולק באוכלוסייה הממוצעת בגיל x . לדוגמה: ערכי m_x לחישוב לוח התמותה לשנים 2000-2004 מבוססים על שיעורי תמותה ממוצעים לשנים 2000-2004.

q_x - ההסתברות למות בין גיל x לגיל $x+1$. הטור מציג את חלקם היחסי של אלה שנפטרו בין גיל x לגיל $x+1$ מתוך אלה שנשארו בחיים עד גיל x . ערכי q_x עבור הגילים משנה אחת ומעלה נגזרים מערכי m_x לפי הנוסחה:

$$q_x = \frac{m_x}{1 + \frac{1}{2}m_x}$$

¹ וקסלר אלברט, פלאקס נטלי ופולטיאל ארי. "שיטה להחלקת פונקציית התמותה באמצעות מודל רגרסיה בקטעים: יישום על נתונים ישראליים". סדרת ניירות עבודה מס' 15, 2005.

² Fan J., Farmen M. and Gijbels I., "Local Maximum Likelihood Estimation and Inference", *J.R. Statist. Soc., B.* vol. 60, Issue 3, pp. 591-608, 1998.

³ Koul H.L., Qian L. and Surgailis D., "Asymptotics of M-estimators in two-phase linear regression models". *Stochastic Processes and their Applications*, Vol. 103, No.1, pp. 123-154, 2003.

l_x - מספר הנשארים בחיים בגיל מדויק x מתוך 100,000 נולדים ($l_0 = 100,000$ = שורש הלוח). ערכי l_x מחושבים על סמך ערכי q_x המאפשרים את חישוב מספר הנשארים בחיים מגיל $x-1$.

$$l_x = l_{x-1} (1 - q_{x-1})$$

L_x - מספר שנות חיי אדם (person years) שחי כל הדור שהגיע לגיל x , בין גיל x לגיל $x+1$.

$$L_x = (l_x + l_{x+1})/2$$

L_0 (מספר שנות חיי אדם שחי כל הדור בין הלידה ליום ההולדת הראשון) ו- L_{100+} (מספר שנות אדם שחי כל הדור מגיל 100 ועד שהאחרון נפטר) מחושבים בצורה שונה משתי סיבות:

L_0 מושפע מהפיזור הבלתי ליניארי של התמותה לאורך השנה הראשונה לחיים.

L_{100+} מבטא את הצורך לאמוד את יתרת שנות החיים שיחיה הדור עד שימות האחרון ממנו. ולכן:

$$L_0 = 0.3 l_0 + 0.7 l_1$$

$$L_{100+} = 1000 (l_{100} / m_{100+})$$

T_x - סך כל שנות אדם שנותרו לשורדי הדור לחיות לאחר הגיעם לגיל x . T_x מתקבל כסכום של L_x עבור כל הגילים הגבוהים מ- x .

e_x^o - תוחלת חיים בגיל x , היא ממוצע שנות החיים שנותרו לאדם לחיות בגיל x , בהנחה שנשאר בחיים עד לגיל x , ובהנחה שדפוסי התמותה נשארים קבועים.

$$e_x^o = \frac{T_x}{l_x}$$

בלוחות התמותה השלמים המובאים להלן, מוצגות הפונקציות l_x , q_x ו- e_x^o מתוך לוח התמותה. הנתונים מוצגים עד גיל 100.