

דפוס תמותה יומית בישראל לפי קבוצות גיל 2000-2019; בנית מודל לתחזית עתידית של תמותה ואמידת עודף תמותה בצל פנדמיית הקורונה

נובמבר 2020

תת קבוצת אקלים-קורונה

שותפים לדוח:

שם	מקום עבודה
דר' מיכל ביתן	החוג לסטטיסטיקה, בי"ס למדעי המתמטיקה, אוניברסיטת תל אביב
פרופ' מנפרד גרין	בי"ס לבריאות הצבור, אוניברסיטת חיפה
מר אבנר פורשפן	אגף אקלים, השרות המטאורולוגי
פרופ' חוה פרץ	החוג לאפידמיולוגיה, בי"ס לבריאות הצבור, אוניברסיטת תל אביב
פרופ' ליטל קינן-בוקר	המרכז לבקרת מחלות, משרד הבריאות; בי"ס לבריאות הצבור, אוניברסיטת חיפה
פרופ' דוד שטיינברג	החוג לסטטיסטיקה, בי"ס למדעי המתמטיקה, אוניברסיטת תל אביב
גב' נעמה רותם	תחום בריאות, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה

תוכן העניינים

<u>נושא</u>	<u>עמודים</u>
1. תקציר מנהלים בעברית	4-3
2. תקציר מנהלים באנגלית	7-5
3. מבוא	8
4. שיטות	10-9
5. תוצאות	24-11
6. סכום ומסקנות	26-25
7. ספרות	27
8. נספח 1 – שבועות 1-39	34-28
9. נספח 2- עדכון לשבועות 1-44	42-35

1. 1. תקציר מנהלים

מבוא: לאחר כחצי שנה של התמודדות עם נגיף הקורונה, מאמצע מרץ ועד סוף ספטמבר נרשמו כ-1500 נפטרים מנגיף הקורונה (הנפטר הראשון היה ב-20.3.2020), וחלקם היחסי מסך הנפטרים בישראל היה כ-4% על פני כל התקופה, וכ-13 בסוף התקופה (10% באוגוסט ו-16% בספטמבר).

נשאלת השאלה- האם לנגיף קורונה השפעה על הפטירות מעבר לפטירות המזוהות כתמותה מנגיף הקורונה? למשל, פטירות מנגיף קורונה שאינן מזוהות, פטירות ממחלות אחרות שלא טופלו בזמן או שהחמירו כתוצאה מהימנעות מפנייה לבתי חולים בשל החשש מהידבקות, או פטירות שדווקא נמנעו למשל בגלל נקיטת אמצעי הזהירות בשל נגיף קורונה, או בשל הסגר שגרם לפחות תנועה בכבישים וכד'. בחינה אמינה של תמותה עודפת בתקופת הקורונה הנוכחית והעתידיה, בהשוואה לשנים קודמות, בקבוצות גיל שונות, הינה גישה אפידמיולוגית המסייעת לענות על שאלה זאת, וזוהי מטרת עבודה זו.

הקורונה היא מחלת תליות גיל, שיעוריה שונים בקבוצות הגיל השונות, וכן פטירות באופן כללי הן תלויות גיל, וכ-80% מהפטירות הם בגילי 75 ויותר. לכן יש לבחון תמותה עודפת לפי קבוצות גיל. בנוסף, בהשוואה לשנים קודמות, יש להביא בחשבון שבישראל האוכלוסייה גדלה ושיעורי התמותה במגמת ירידה. האוכלוסייה מזדקנת משנה לשנה ותוחלת החיים במגמת עליה (ב-2019 הייתה 85 לנשים ו-81 לגברים, מהגבוהות בעולם). לכן, השוואה ישירה של מספר הנפטרים בתקופת הקורונה בשנת 2020 לממוצע מספר נפטרים בתקופה מקבילה בשנים קודמות, אינה משקפת את התמונה המלאה.

שיטות: בעבודה זו הובאו בחשבון הגורמים שצוינו לעיל וכן המחזוריות השנתית של תמותה, הגבוהה יותר בחורף בהשוואה לעונות אחרות, עם ההתקררות במזג האוויר והעליה בשיעורי השפעת, וכן ההבדלים במזג האוויר משנה לשנה. נבנו מודלים סטטיסטיים בהתאם (עקומות בסיס לשיעורי תמותה יומית), המתבססים על נתונים יומיים של פטירות, לתקופה 2000-2019, המאפשרים לחזות את מספר הפטירות הצפויות בישראל בכלל, ובפרט בשנת 2020 (במהלך ינואר-ספטמבר), אילו לא הייתה פנדמיה. נבנה מודל לכל קבוצת גיל, ועודף התמותה לגבי תת תקופות במהלך ינואר-ספטמבר 2020, חושב כהפרש בין מספר הפטירות בפועל למספר הפטירות שהמודל חזה.

תוצאות: מצאנו כי בחודשים ינואר עד אמצע מרץ, לפני תחילת התמותה מקורונה, בכלל האוכלוסייה הייתה פחות תמותה מהצפוי בהשוואה לשנים קודמות, כ-450 פטירות פחות מהצפוי. אך בתקופת הקורונה החל ממחצית מרץ עד סוף ספטמבר 2020, במהלך 26 שבועות, היה עודף תמותה מובהק של כ-1570 פטירות, כאשר מספר הנפטרים הידוע מקורונה במהלך אותה תקופה היה מעט נמוך יותר (1492 פטירות). אך העודף שנצפה שונה מאד בקבוצות הגיל השונות.

בקבוצת גיל 0-19 נמצאה פחות תמותה באופן מובהק במהלך החודשים ינואר-ספטמבר, הן בחודשים ינואר עד מחצית מרץ, לפני תקופת הקורונה, והן במהלכה. בגילי 20-69 התמותה בתקופה זו דומה לזו שבשנים

קודמות, עם חוסר קטן לפני תקופת הקורונה (כ-80) ועודף מסוים במהלכה (כ-190). בגילי 70+ נמצא עודף תמותה של כ-1500 נפטרים בתקופת הקורונה; אך יש להבחין בין שתי קבוצות גיל 70-89, ו-90+. בגילי 70-89 היה חוסר בתמותה בחודשים ינואר עד מחצית מרץ, לפני תקופת הקורונה (334) ואצלם נמצא עודף של 1109 נפטרים בתקופת הקורונה. עודף זה עלה על מספר הנפטרים ישירות מנגיף קורונה (879) ויתכן שהיה אצלם מצב של "דחית תמותה" מתחילת השנה לימי הפנדמיה, אולי בשל עיכוב בהגעה לשירותי בריאות. בגילי 90+ התמותה לפני הקורונה דומה לשנים קודמות אך קיים עודף תמותה של כ-380 מקרים החל מאמצע מרץ, מספר הדומה למספר הנפטרים מנגיף הקורונה בגיל זה (341). כלומר אצלם עודף התמותה כנראה קשור ישירות לקורונה.

בנוסף, עיקר עודף התמותה בגילי 70+ נמצא בחודשים אוגוסט ספטמבר, עם העלייה המשמעותית במספר החולים, ולא קודם לכן, בחודשים קרירים יותר.

דיון ומסקנות: כאשר אומדים את ההשפעה הבריאותית, הישירה והעקיפה, של פנדמיה שנמשכת לאורך זמן כמו הקורונה, יש חשיבות בבחינה אמינה של עודף תמותה לפי גיל. הערכת תחלואה לאורך זמן מושפעת משינויים תלויי זמן כמו שינוי במדיניות איתור החולים ובאפיונם, במספר הבדיקות לאורך זמן, בהתוויית לבדיקות ובהגדרת חומרת המחלה. במצב כזה חישוב עודף תמותה לפי גיל מלמד באופן אמין על נטל התחלואה הקשורה בקורונה. ניתוח הנתונים עד לסוף ספטמבר העלה כי עודף התמותה היה שונה בקבוצות הגיל, ובגילי 70-89 יש עודף של נפטרים מעבר למספר הנרשם של הנפטרים מנגיף קורונה, המרמז על תמותה עקיפה מקורונה.

התחלואה בקורונה נמשכת וכן התמותה. המודלים שנבנו מאפשרים לחזות תמותה אילו לא הייתה קורונה גם בעונות הבאות; ולעקוב בעתיד אחר עודף תמותה בכלל, ובפרט אחר עודף תמותה שאינו ישירות מקורונה, בכל קבוצת גיל.

2. Executive summary

Daily mortality pattern in Israel by age groups 2000-2019, building a model for forecast future mortality and estimation of excess mortality in the shadow of the corona pandemic

Introduction: After about half a year of coping with the corona virus, from mid-March (more precisely 20.3.2020) to the end of September, about 950 people died of the corona virus, and their relative share of total deaths in Israel was almost 5% over the entire period, and about 13% at the end (10% in August and 16% in September).

The question arises - does the corona virus have an effect on deaths beyond those deaths identified as mortality from the corona virus? For example, deaths from unidentified corona virus, deaths from other diseases that were not treated in time or worsened as a result of avoiding going to hospitals due to fear of infection, or deaths that were actually avoided due to taking precautions due to corona virus, or closure that reduced road traffic, etc.

A reliable examination of excess mortality in the present and future corona period, compared with previous years, in different age groups, is an epidemiological approach that helps to answer this question, and this is the aim of this work.

Corona is an age-dependent disease, disease rates vary by age groups, and deaths in general are age-dependent, with about 80% of the Israeli deaths are among people aged 75 and over. Therefore, excess mortality should be examined according to age groups. In addition, comparison with previous years must take into account that in Israel the population has increased and mortality rates are declining. The population is aging year by year and life expectancy is on the rise (in 2019 it was 85 for women and 81 for men, one of the highest in the world). Therefore, a direct comparison of the number of deaths in the corona period in

2020 to the average number of deaths in a corresponding period in previous years does not reflect the full picture.

Methods: This work took into account the factors mentioned above as well as the annual periodicity of mortality, which is higher in winter compared to other seasons, with the cooling of the weather and the increase in flu rates, as well as the differences in weather from year to year. Statistical models were constructed accordingly (base curves for daily mortality rates), based on daily data on deaths, for the period 2000-2019, which make it possible to predict the number of deaths expected in Israel in general, and in particular in 2020 (during January-September), if there were no pandemic. A model was built for each age group, and the excess mortality for sub-periods during January-September 2020 was calculated as the difference between the actual number of deaths and the number of deaths that the model predicted

Results: We found that in January to mid-March, before the onset of corona mortality, the general population had less mortality than expected compared to previous years, with about 450 fewer deaths than expected. But in the corona period from mid-March to the end of September 2020, during 23 weeks, there was a significant excess mortality of about 940 deaths, with the number of corona deaths during that period being similar. The excess observed is very different in the different age groups.

In the age group 0-19, significantly less mortality was found during the months of January-September, both in January to mid-March, before the corona period, and during it. For those aged of 20-69, mortality in this period is similar to that in previous years, with a small deficit before the corona period (about 80) and a small surplus during it (about 70).

At the age of 70+, an excess mortality rate about 1,500 deaths was observed during the corona period; But a distinction must be made between two age groups 70-89, and 90+. At the age of 89-70, there was less mortality in the months January to mid-March, before the corona period

(334) and there was 1109 deceased during the corona period. The excess deaths exceeded the number of deaths directly from the Corona virus (879) and they may have had a "mortality delay" condition from the beginning of the year to the days of the pandemic, perhaps due to a delay in accessing health services. At the age of 90+, the mortality before the corona was similar to previous years, but there was an excess mortality of about 380 deaths starting in mid-March, a number similar to the number of deaths from the corona virus at this age (341). For them the excess mortality was directly related to the corona.

In addition, the majority of the excess mortality was in September (aged 70+) with the significant increase in the number of patients, and not earlier, in cooler months.

Discussion and Conclusions: When assessing the health impact, direct and indirect, of a long-lasting pandemic such as the corona virus, a reliable examination of excess mortality by age is important. Long-term morbidity assessment is affected by time-dependent changes; e.g. over time, the indications for testing and the definition of the severity of the disease are varying. In such a situation calculating excess mortality by age reliably indicates the burden of morbidity associated with corona.

Analyzing data up to the end of September yielded that excess mortality was different in age groups, and at the age of 70-89 there is an excess of deaths beyond the registered number of corona virus deaths which implies an indirect mortality from corona.

Corona morbidity persists as well as mortality. The models built make it possible to predict mortality if Corona had not been present in the following seasons as well. This enable us to monitor future excess mortality in general, and in particular excess mortality that is not directly from Corona, in any age group.

3. מבוא

בניית עקומת תמותה בסיסית על פי נתוני ניטור תמותה יומית לאורך שנים מאפשרת לבחון תמותה עודפת הקשורה בפנדמיות כמו הקורונה או כל איום אחר לבריאות הצבור. כמו כן ניתוח נתוני תמותה מאפשר להעריך את הדינמיקה של התמותה (מגמות, שינויים וכד') (1) ואת הגורמים הקשורים בדינמיקה זו.

תמותה עודפת מנגיף כמו הקורונה, היא התמותה מעבר לצפוי בהשוואה לשנים קודמות. היא כוללת תמותה ישירה מהנגיף ותוספת של תמותה שיכולה להיגרם, למשל, ממקרי נגיף קורונה שאינם מזוהים, ממחלות אחרות שלא טופלו בזמן, מהימנעות מפנייה לבתי חולים וכד' (7-1)

במצב של פנדמיה הערכת תמותה עודפת בכלל האוכלוסייה היא אמצעי רובוסטי לניטור של התקדמות הפנדמיה וההשפעה שלה (הישירה והעקיפה), וזאת בשלבים השונים של הפנדמיה. כאשר הפנדמיה פוגעת באופן שונה בקבוצות גיל שונות, כמו הקורונה, יש צורך בניתוח לפי קבוצות גיל (1,3,4). הערכה כזו חשובה למקבלי החלטות לקביעת תעדוף בהתמודדות מערכת הבריאות עם הפנדמיה.

לפיכך במחקר זה מטרותינו :

1. לבנות עקומת תמותה יומית בסיסית בישראל, על פי מודל סטטיסטי המתבסס על נתוני 20

שנה, בקבוצות הגיל השונות:

א. לבחון מגמות לאורך זמן

ב. לבחון עונתיות-מחזוריות שנתית וקשר עם גורמי אקלים

2. על פי עקומת הבסיס, לנבא את מספר הפטירות הצפוי בשנת 2020 לפני הקורונה, ולאחר

מקרה התמותה הראשון מקורונה, ולבחון את ההבדל בין הנצפה לבין הצפוי ברמה שבועיות

ותקופתית; לפי קבוצות גיל.

4. שיטות

הנתונים ומקורם:

פטירות:

התקבלו נתונים על מספר פטירות ביום לתקופה 1.1.2000-31.12.2019 ונתונים שוטפים של 2020, אודות סך הפטירות ולפי קבוצות הגיל: 0-19, 20-59, 60-69, 70-79, 80-89, 90+. קבצי התמותה היומית של ישראל הוכנו בלשכה המרכזית לסטטיסטיקה והם מבוססים על נתוני מרשם האוכלוסין. הנתונים כוללים את הפטירות של תושבי ישראל, ללא פטירות ישראלים בחו"ל ואינם כוללים חללי מלחמה.

חושבו שעורי התמותה היומית, בכלל האוכלוסייה ובקבוצות הגיל שצוינו לעיל, כאשר המונה הוא מספר נפטרים ביום והמכנה הוא גודל האוכלוסייה שנאמד כדלקמן: גודל האוכלוסייה הממוצעת לפי אומדני הלמ"ס יוחס ל 2/7 בכל שנה, ונעשתה החלקה כדי לאמוד את הערך בכל יום בשנה.

הוחלט להתייחס לשיעור התמותה היומי ולא למספר האבסולוטי של הפטירות ביום מאחר וב־ישראל יש עליה גדולה בגודל האוכלוסייה לאורך זמן והיא שונה בקבוצות הגיל השונות (ראה תרשימים בנספח א).

גורמי אקלים :

התקבלו נתונים יומיים מהשרות המטאורולוגי. לצורך המחקר נעשה שימוש בנתוני תחנת בית דגן בלבד. השיקול להשתמש בנתוני תחנה אחת בלבד, למרות הבדלים אפשריים בתנאים המטאורולוגיים בין אזורי הארץ השונים, היה שלרוב מגמות בולטות של התחממות או התקררות באות לידי ביטוי בו זמנית ברוב האזורים. תחנת בית דגן מייצגת בקירוב טוב את התנאים המטאורולוגיים באזורים המאוכלסים של מישור החוף. היות וניתוח נתוני הפטירות נעשה ברמה כלל ארצית, ולא אזורית, היה מן ההיגיון להשתמש בנתוניה כדי לייצג את התנאים המטאורולוגיים הרלוונטיים.

הנתונים בהם נעשה שימוש היו: טמפרטורה - מקסימום ומינימום יומי, קרינה - ממוצע ומקסימום יומי. ערכים מחושבים של לחות מוחלטת ושל נקודת הטל (הטמפרטורה אליה מתקרר האוויר בלחץ קבוע ובתכולת אדי מים קבועה עד הגיעו לרוויה, כלומר למצב בו אדי המים חייבים לעבור עיבוי ולהפוך מגז לנוזל).

נעשה שימוש בערך של השעה ¹ UTC 3 (כלומר השעה 5 בחורף או 6 לפי שעון הקיץ) כיוון שאלה השעות בהן לרוב מתקבל מינימום הטמפרטורה וערכים נמוכים יותר של טמפרטורת טל ולחות

¹ Universal Time, Coordinated – זמן אוניברסלי מתואם.

מוחלטת. לגבי כל גורמי האקלים הייתה התייחסות לחלון זמן של 10 ימים קודם ליום הפטירה, וחושב ערך ממוצע בעשרת הימים הללו.

תחלואת ILI:

התקבל שיעור הפניות הגולמי בשבוע למרפאות "מכבי שירותי בריאות" בשל תחלואה דמוית שפעת מהמרכז הלאומי לבקרת מחלות, משרד הבריאות.

שיטות סטטיסטיות:

1. כדי לחקור את דפוסי התמותה היומית (עקומת תמותה יומית בסיסית) והקשר עם גורמים נוספים בנה מודל של רגרסיה פואסונית מסוג GAM (Generalized Additive Model). לכל אחת משש קבוצות הגיל הותאם מודל רגרסיה בנפרד. כאשר המשתנה התלוי היה שיעור תמותה.

א. כדי לבחון מגמות לאורך זמן בשיעורי התמותה הוכנסה השנה הכרונולוגית כמשתנה מסביר.

ב. כדי לבחון עונתיות (מחזוריות שנתית) וקשר עם גורמי אקלים יש להביא בחשבון שתמותה מתאפיינת על ידי מחזוריות שנתית הדומה לזו של מזג האוויר, עם תמותה גבוהה בחורף ונמוכה בקיץ. מחזוריות זו קשורה לשינויי מזג האוויר ולתופעות התחלואה המתלוות אליהם, למשל העלייה בשפעת ובמחלות נשימתיות בחורף. אמנם אין סנכרון מלא בין המחזוריות של מזג האוויר לבין תמותה. שיעורי התמותה המקסימליים הם בתחילת ינואר, בערך באותו זמן שהטמפרטורות יורדות למינימום שנתי, אבל שיעורי התמותה הנמוכים יותר הם בסוף מאי ובתחילת יוני, כחודש או חודשיים לפני שהטמפרטורה מגיעה לשיא שלה. לכן, למרות שהמחזוריות של התמותה קשורה לשינויי מזג האוויר, עדיף למדל אותה באופן עצמאי שאינו מערב בצורה ישירה את משתני האקלים. -מעבר למחזוריות, יתכנו גם קשרים ממוקדים עם מזג אוויר לא שגרתי, למשל גל חום קיצוני, במיוחד בעונות המעבר, הקשור לתוספת תמותה. לכן, המודל כולל גם אפשרות להשפעות מסוג זה. -המודל משקף גם תנודות שבועיות בשיעורי תמותה, עם ירידה ברורה בשבת וירידה מתונה יותר ביום שישי.

2. כדי לנבא את מספר הפטירות הצפוי בשנת 2020, במהלך 39 שבועות החל מה 30.12.2019 (שבוע אפידמיולוגי 1 של שנת 2020) או במהלך 26 שבועות החל ב-23.3.2020 (שבוע אפידמיולוגי 13 של שנת 2020, לאחר פטירת החולה הראשון מ-COVID-19) נעשה שימוש במודלים הפואסוניים הבסיסיים שנבנו. הניבוי חושב לכל יום ולכל קבוצת גיל. הניבויים היומיים סוכמו כדי לקבל ניבויים שבועיים וכן חושבו רווחי ניבוי של 95%. בכל שבוע חושב הפער בין הערך הצפוי לערך הנצפה וחושב סיכום תקופתי. ניבויים שבועיים לכלל האוכלוסייה חושבו מסכום הניבויים של כל קבוצות הגיל.

הסבר מפורט יותר על השיטות הסטטיסטיות עם משוואת המודל מופיע בנספח.

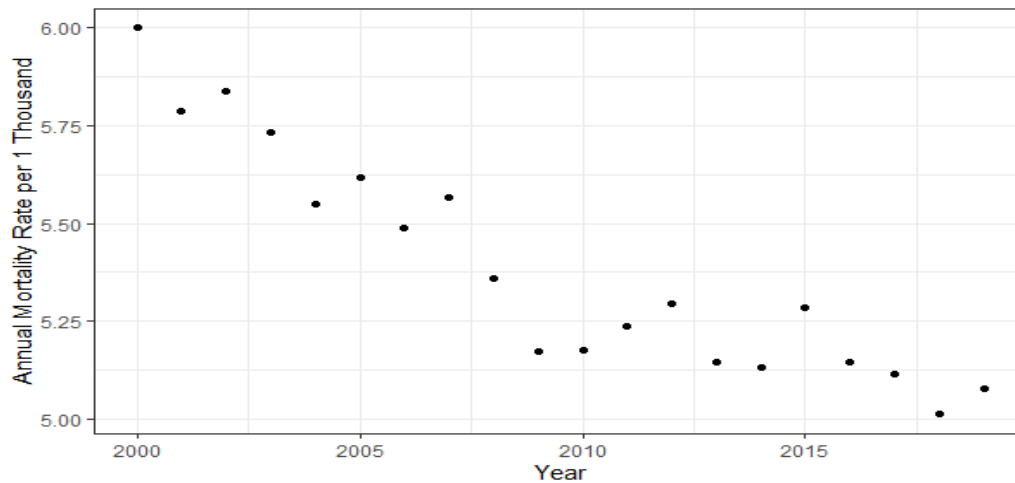
5. תוצאות

5.1 עקומת -שיעור תמותה יומי בסיסי בישראל, מגמות לאורך זמן, -עונתיות (מחזוריות שנתית) וקשר עם גורמי אקלים

תיאור שיעור התמותה עבור כלל האוכלוסייה

תרשים 1 מציג את שיעור התמותה השנתי לתקופה 2019-2000 (תרשים 1א בנספח מציג שיעור תמותה יומי בכל אחד מימי תקופת המחקר). ניתן להבחין במגמת ירידה בשיעור התמותה בשנים 2010-2000, ואחר כך נראית התמתנות של הירידה. תרשים 2 מציג את ממוצע שיעורי התמותה השבועיים וטמפרטורת המקסימום הממוצעת במשך שבוע (ממוצע לתקופה 2019-2000) וניתן לראות בברור ששיעורי התמותה השבועיים בחורף גבוהים מאשר בקיץ. ניתן גם לראות כי העלייה בתמותה בחורף קשורה בירידה בטמפרטורה (תרשים 2) ובעלייה בשיעור מקרי ILI (תרשים 3).

תרשים 1: שיעור תמותה שנתי (ל-1,000 תושבים) , בשנים 2019-2000

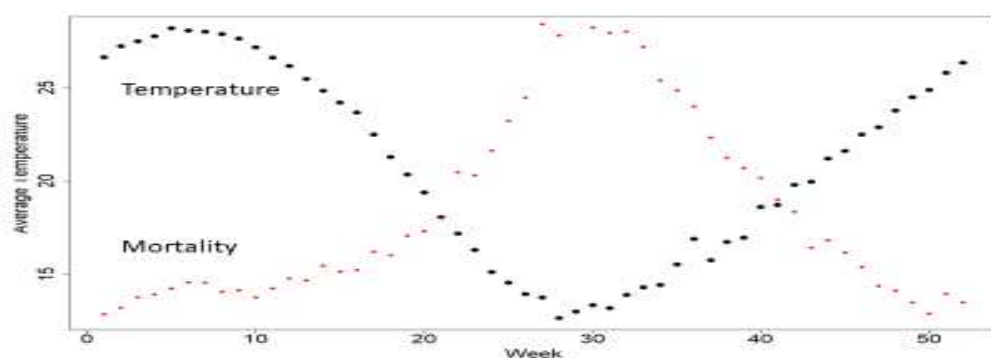


תרשים 2: ממוצע טמפרטורת המקסימום ושיעור התמותה בכל שבוע בשנה,

בתקופה 1.1.2000-31.12.2019

ציר X - 52 שבועות השנה, שבוע 1 מתחיל ב 2.7, שבוע 30 מתחיל ב 22.1

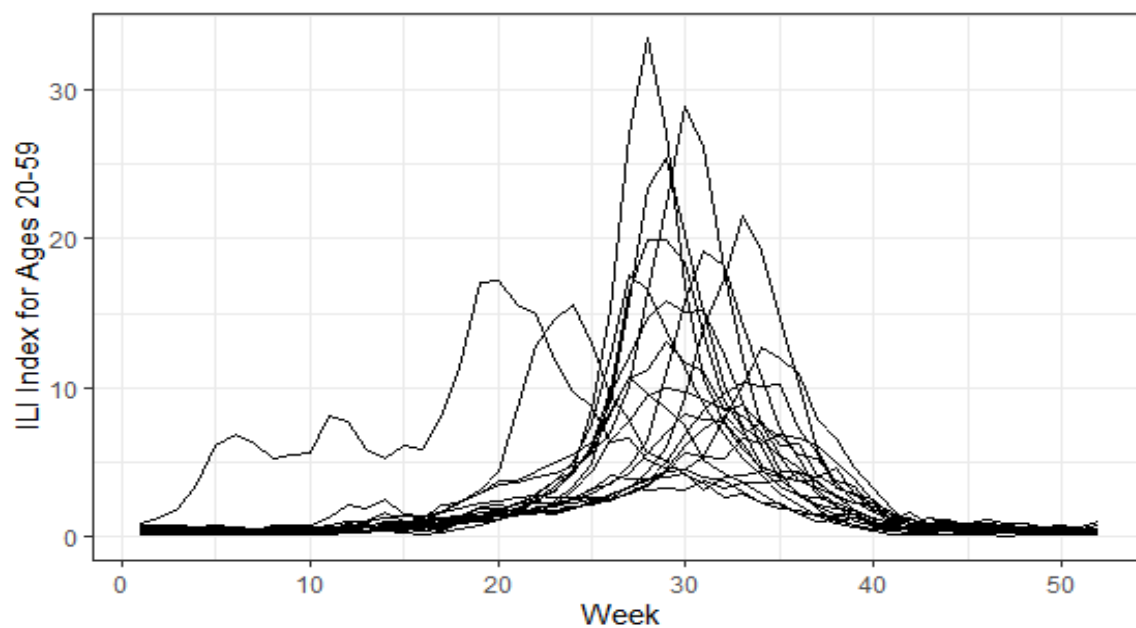
Mortality and Temperature, by Week



תרשים 3: שיעור מקרי ILI לשבוע במהלך שנה, בגילאי 20-59,

בטווח 1.1-31.12, לכל שנה, בתקופה 2000 עד 2019

ציר X - 52 שבועות השנה, שבוע 1 מתחיל ב 2.7, שבוע 30 מתחיל ב 22.1



מידול שיעור תמותה יומי; לפי קבוצת גיל

מגמות לאורך זמן

טבלה מספר 1 מציגה את ממצאי המודלים לגבי השינוי בשיעור התמותה, לכל קבוצת גיל. בכל אחת מקבוצות הגיל נמצאה ירידה מובהקת בשיעורי התמותה בשנים 2000-2019. בשתי קבוצות גיל: 0-19 ו-60-69 הירידה השנתית הייתה חדה יותר בשנים 2000-2010 (4.5%, 3.6% בהתאמה) ואחר כך התמתנה (2.7%, 1.0% בהתאמה). בקבוצות הגיל הקשישות 70-79, 80-89, +90 הירידה הייתה: 2.6%, 1.4% ו-1.1% בהתאמה (בגילי +90 הירידה נבחנה החל מ-2009 כי גודל אוכלוסייה זו, הנחוץ לחישוב שיעורי פטירה, הוערך באופן שונה לאחר מפקד האוכלוסין של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה ב-2008).

עונתיות ואקלים

תרשים 5 מציג את ממצאי המודלים לגבי עונתיות/מחזוריות שנתית של תמותה, בכל קבוצת גיל. ציר ה X בכל תרשים מציין את 365 ימי השנה החל מיולי, כאשר יום 1 מתייחס ל 2.7, יום 100 מתייחס ל 8.10, יום 200 מתייחס ל 17.1, ויום 300 מתייחס ל 27.4.

בכל קבוצות הגיל נמצאה מחזוריות שנתית עם תמותה גבוהה בחורף, בתחילת ינואר (סביבות יום 200) אך דפוס המחזוריות שונה. בפרט נבדלות שתי קבוצות הגיל הקיצוניות: הצעירים בגילאי 0-19 והקשישים בגילאי +90.

בקבוצת הגיל הצעירה, 0-19, יש שיא תמותה אחד והוא בספטמבר (תחילת הסתיו, סביבות יום 100) ובקבוצת הגיל +90, יש שיא תמותה אחד בינואר (חורף, סביבות יום 200). בקבוצות האחרות ישנם שני שיאי תמותה, אחד בסביבות ינואר (חורף) והשני באמצע אוגוסט (קיץ).

באביב, (סביבות יום 300) נמצאה תמותה נמוכה בכל קבוצות הגיל למעט בקבוצות הקשישות, 80-89 ו +90. ואילו בקיץ התמותה בינונית בכל קבוצות הגיל למעט בקבוצות הקשישות 80-89 ו +90. שם התמותה גבוהה יותר.

מעבר למחזוריות השנתית הכוללת את השינויים העונתיים במזג האוויר, כאשר יש שינויים בדפוס מזג האוויר בין שנה לשנה, יתכן קשר בין גורמים אילו לבין התמותה. נמצא אפקט לא גדול של גורמי אקלים כאלו על תמותה ברוב קבוצות הגיל (טבלה 1). בקבוצות הגיל המבוגרות 80-89 ו +90 נמצאו השפעות חזקות יותר. בפרט נמצאה אצלם השפעה של הקרינה בכיוונים שונים בעונות השונות (בגילי 80-89 עליה בקרינה באביב ובקיץ מפחיתה תמותה, ובגילי +90 עליה בקרינה בחורף מגדילה תמותה) והשפעה של טמפרטורת הטל בחורף ובעונות המעבר – ירידה בטמפרטורת הטל, כלומר תקופות יבשות יותר, קשורה לעליה בסיכון לתמותה.

תחלואה ב-ILI שכיחה יותר בחורף. בכל קבוצות הגיל נמצאה גם השפעה ייחודית של תחלואה זו על שיעור התמותה (יש להביא בחשבון שהשתמשנו באותו ערך אינדקס לכל קבוצות הגיל המבוגר, +60 כפי שמוסבר בפרק השיטות).

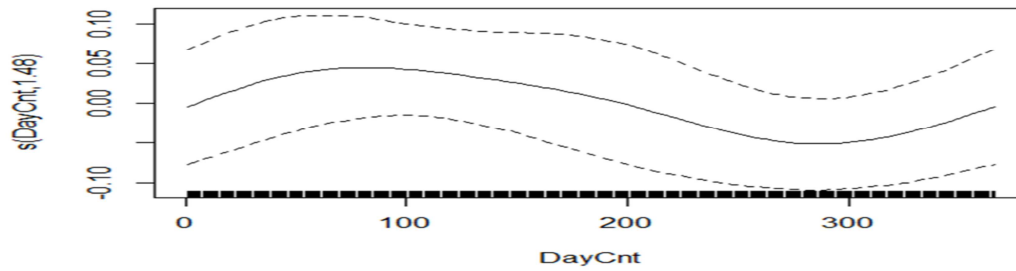
מחזוריות שבועית: בכל קבוצות הגיל נמצאה השפעה של היום בשבוע עם שיעור תמותה נמוך יותר בששי-שבת ובמיוחד בשבת, בהשוואה לשאר ימי השבוע.

תרשים 5: מחזוריות שנתית של שיעור תמותה יומי, על פי ממצאי מודל GAM לתקופה 1.1.2000-31.12.2019; לפי קבוצת גיל.

ציר Y - ערך שמייצג שינוי בשיעור תמותה
ציר X - ימים בשנה 1-365; יום 1-2.7, יום 100-8.10, יום 200-17.1, יום 300-27.4

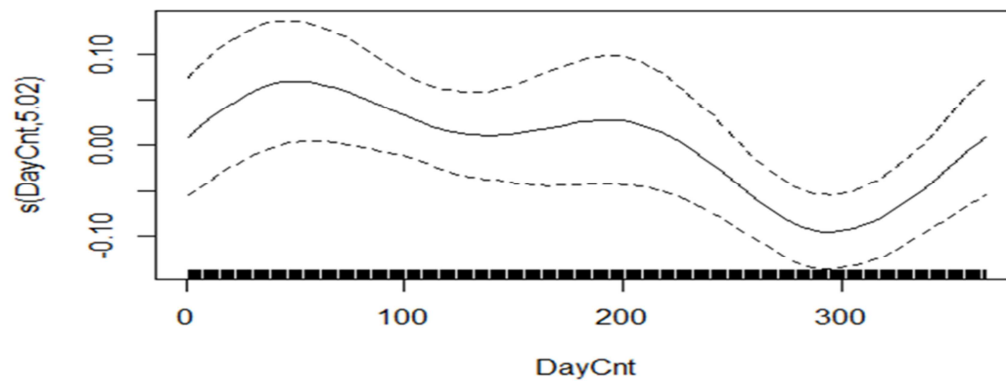
19-0 שנים

א.



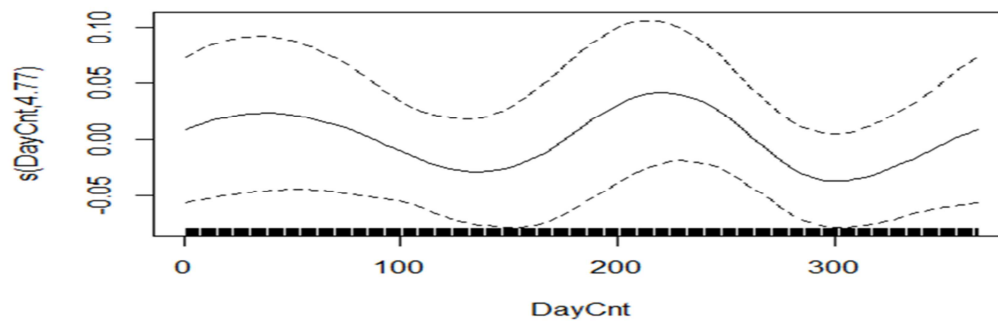
59-20 שנים

ב.



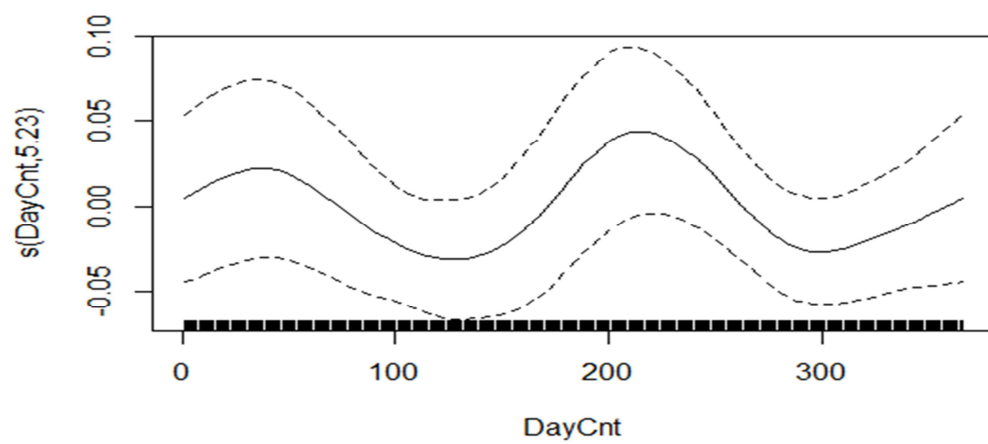
69-60 שנים

ג.



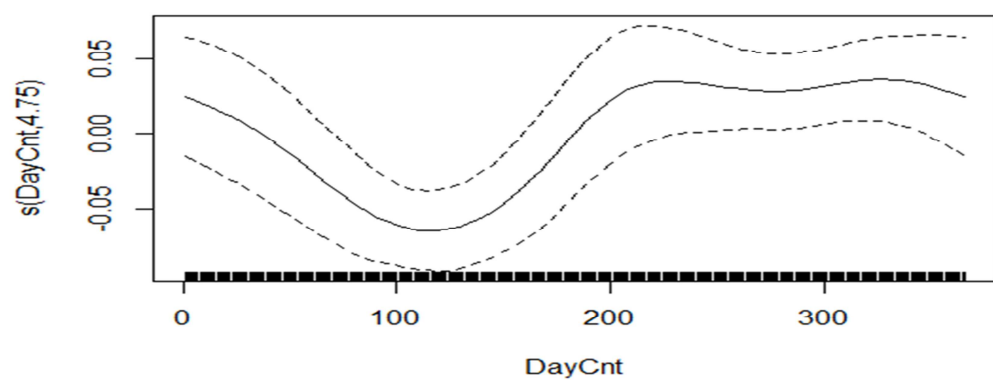
79-70 שנים

ד.



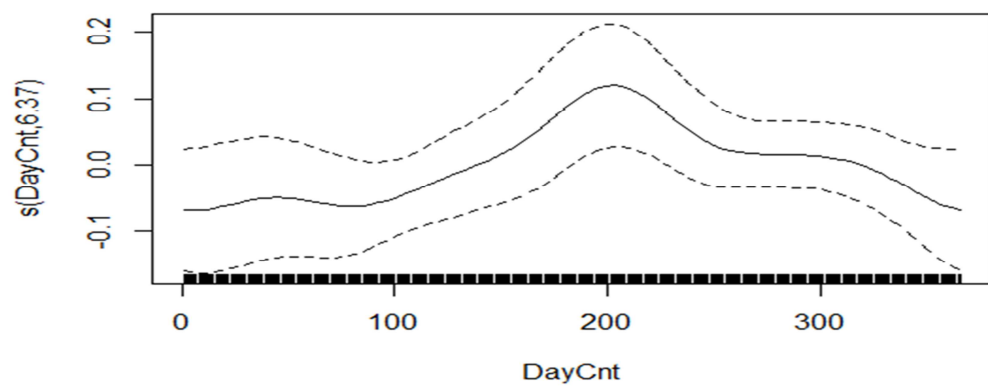
89-80 שנים

ה.



+90 שנים

ו.



טבלה 1: שיעורי תמותה יומיים - מגמה לאורך זמן, השפעת משתני אקלים בעונות השונות (בניכוי עונתיות); על פי ממצאי מודל GAM לתקופה 1.1.2000-31.12.2019 ; לפי קבוצת גיל

קבוצת גיל	מגמה לאורך זמן	השפעת משתני אקלים בעונה מעבר/בניכוי לעונתיות
19-0	2010-2000 ירידה ב 4.5% לשנה 2019-2011 ירידה ב 2.7% לשנה	עליה בטמפרטורת מקסימום בקיץ מפחיתה תמותה
59-20	ירידה ב 2.5% לשנה	עליה בטמפרטורת מינימום בחורף מפחיתה תמותה
69-60	2010-2000 ירידה ב 3.6% לשנה 2020-2011 ירידה ב 1% לשנה	עליה בטמפרטורת טל בסתיו מפחיתה תמותה
79-70	ירידה ב 2.6% לשנה	- עליה בטמפרטורת מינימום באביב מפחיתה תמותה - עליה בטמפרטורת מקסימום באביב מגדילה מעט תמותה (שילוב של מקסימום גבוה ומינימום נמוך קשור בעליה בתמותה)
89-80	ירידה ב 1.4% לשנה	יש השפעה מאד משמעותית: - עליה בטמפרטורת מקסימום בסתיו, מפחיתה תמותה - עליה בטמפרטורת מקסימום באביב, מגדילה תמותה - עליה בטמפרטורת טל בעונות למעט קיץ, מפחיתה תמותה - עליה בקרינה באביב ובקיץ מפחיתה תמותה
+90	2019-2009 ירידה ב 1.1% לשנה	יש השפעה מאד משמעותית: - עליה בטמפרטורת מקסימום בסתיו ובחורף מפחיתה תמותה - עליה בטמפרטורת טל בעונות למעט קיץ, מפחיתה תמותה - עליה בקרינה בחורף מגדילה תמותה

*עם תקנון ליום בשבוע, עונתיות, מדד ILI

5.2 ניבוי מספר הפטירות הצפוי בתקופת 2020 והערכת עודף תמותה בתת קבוצות גיל, ובכלל האוכלוסייה

מספר הפטירות הצפוי בתקופת הקורונה חושב באמצעות אומדן שיעור הפטירות ממודל GAM שהוכפל בגודל האוכלוסייה, החל מהשבוע האפידמיולוגי הראשון. זאת, עבור כל קבוצת גיל. תרשים 5 מציג את מספר הפטירות הצפוי והנצפה (על פי המודל הסטטיסטי, עם רווחי ניבוי, של 95% בכחול) בשש קבוצות הגיל, במהלך 39 שבועות בחודשים ינואר-ספטמבר (שבוע 1 מתחיל ב-30.12.19, שבוע 13 מתחיל ב-23.3.20, ושבוע 39 ב-21.9.20). ניתן לראות שוני מהותי בגרפים של קבוצות הגיל השונות. תרשים 6 מציג את מספר הפטירות, הנצפה והצפוי עבור כלל האוכלוסייה.

טבלה 2 מציגה את עודף התמותה המצטבר לאותם 39 שבועות בשנת 2020, בחודשים ינואר-ספטמבר (א2), לשבועות 1-12 לפני תחילת התמותה מקורונה (ב2) ולשבועות 13-39 בתקופת הקורונה (ג2). זאת, בכל קבוצת גיל, ולכלל האוכלוסייה.

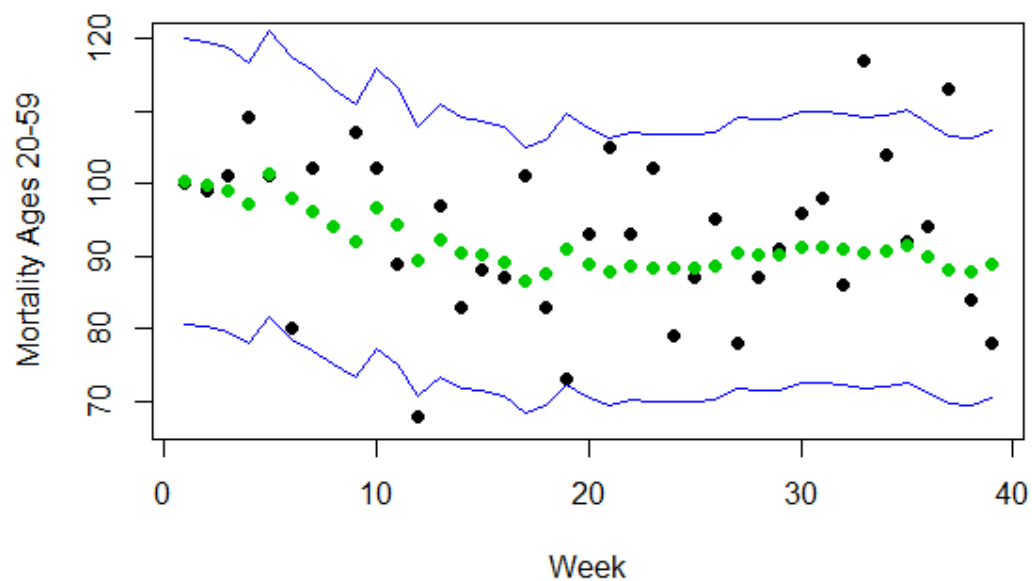
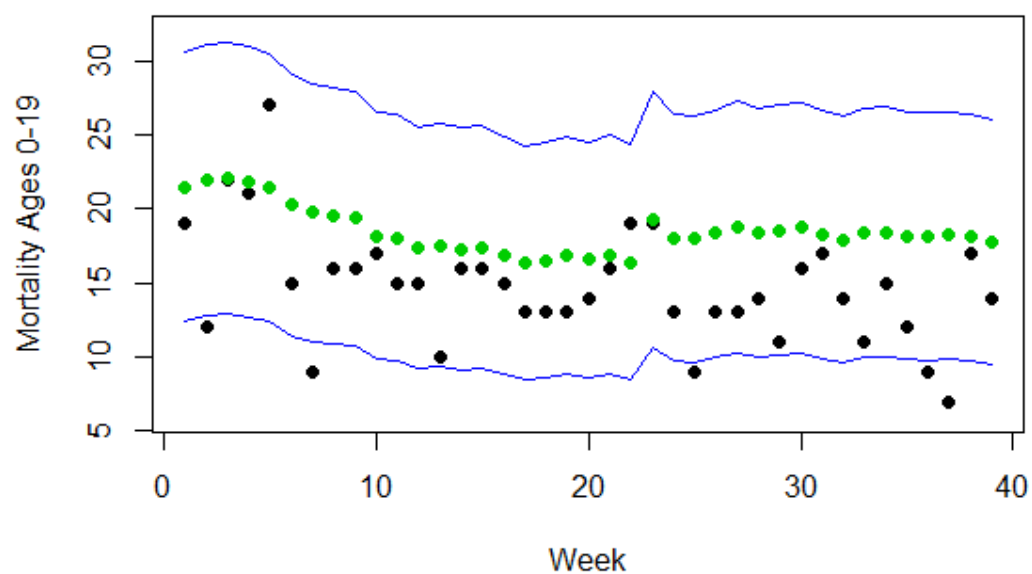
מטבלה 2 ניתן לראות שוני מהותי בדפוס עודף התמותה לפני ואחרי הקורונה, בקבוצות הגיל השונות.

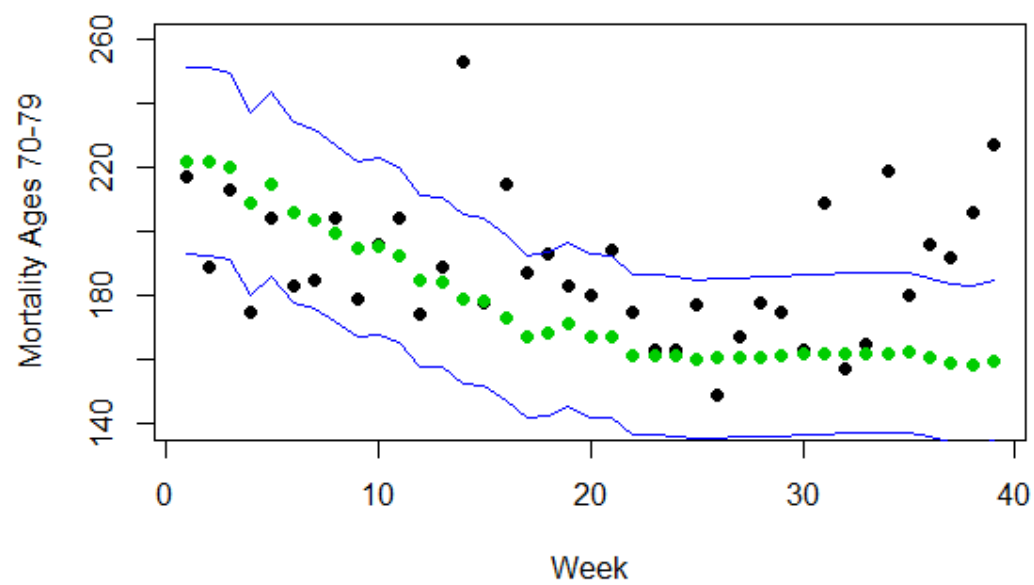
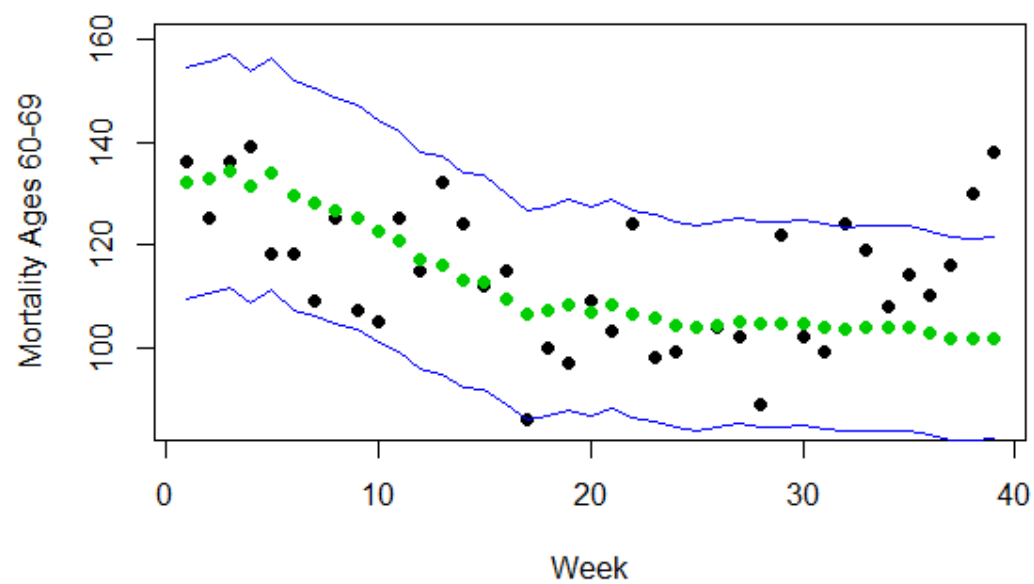
בקבוצת הגיל הצעירה ביותר, 0-19 שנה, לעומת השנים הקודמות, יש חוסר פטירות מובהק בכלל 39 השבועות ובפרט בכל אחת משתי התקופות - לפני הקורונה, ובמהלך הקורונה. בגילי 20-69 (שתי קבוצות גיל, 20-59, 60-69), לעומת שנים קודמות, אין הבדל במספר הפטירות בכלל 39 השבועות והן בשתי התקופות - לפני הקורונה, ובמהלך הקורונה. בגילי 70-89 (שתי קבוצות גיל 70-79, 80-89) לעומת שנים קודמות, יש עודף פטירות מובהק בכלל 39 השבועות. יש חוסר פטירות מובהק לפני הקורונה, ועודף מובהק במהלך הקורונה. בגילי 90+ לעומת השנים הקודמות, יש עודף פטירות מובהק בכלל 39 השבועות. מספר הפטירות לפני הקורונה דומה למספר בשנים קודמות, אך יש עודף מובהק במהלך הקורונה, שכנראה מרמז על פטירות הקשורות בקורונה בצורה ישירה.

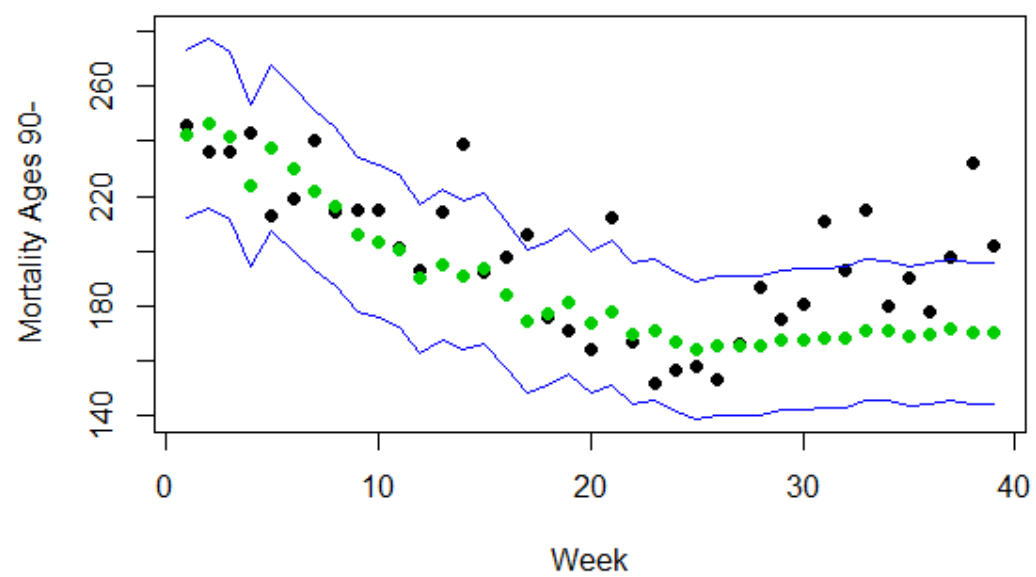
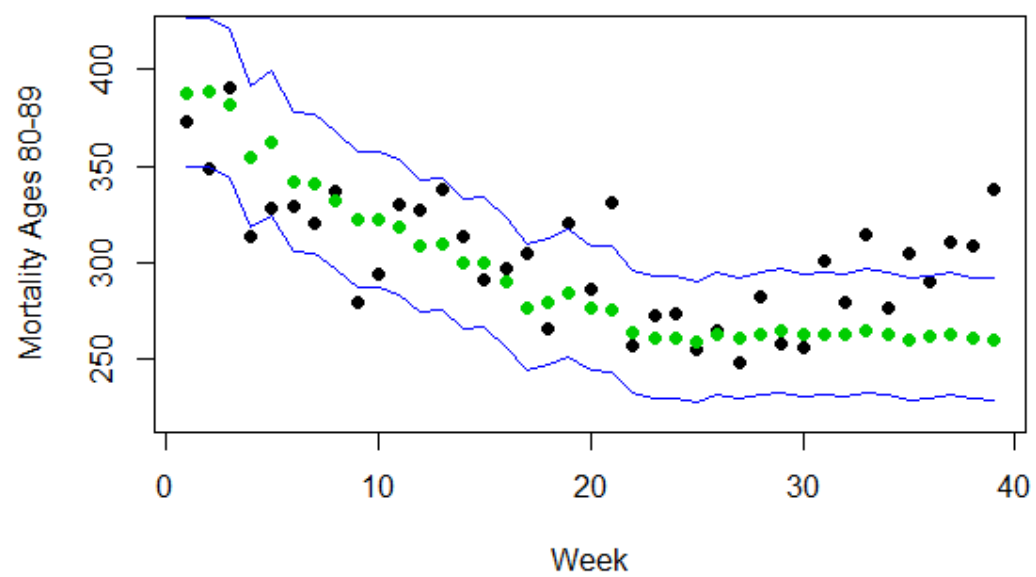
לגבי כלל האוכלוסייה, לעומת שנים קודמות, יש עודף פטירות מובהק בכלל 39 השבועות. יש חוסר במספר הפטירות לפני הקורונה, ויש עודף מובהק במהלך הקורונה, שכנראה מרמז על פטירות הקשורות בקורונה בצורה ישירה ועקיפה.

תרשים 6 : מספר פטירות, נצפה (שחור) וצפוי (ירוק) עם רווחי ניבוי של 95% (כחול), על פי ממצאי מודל GAM, ל 39 השבועות הראשונים בשנת 2020 (27.9.20 - 30.12.19), לפי קבוצת גיל

ציר X- שבועות 1-39; שבוע 1 מתחיל ב 30.12.19, שבוע 15 ב 6.4.20, שבוע 39 ב 21.9.20

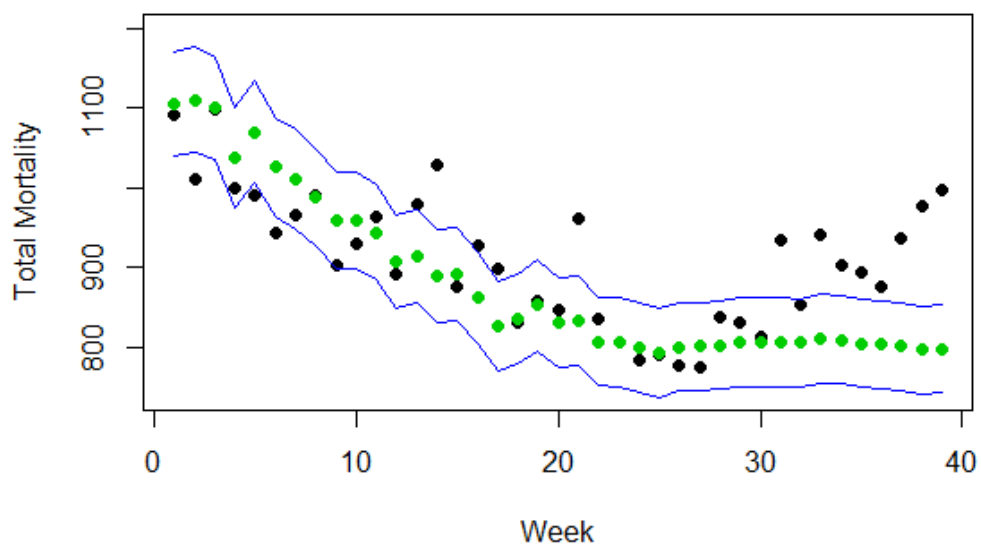






תרשים 7 : מספר פטירות, נצפה (שחור) וצפוי (ירוק) עם רווחי ניבוי של 95% (כחול) על פי ממצאי מודל GAM, ל 39 השבועות הראשונים בשנת 2020 (27.9.20-30.12.20) , לכלל האוכלוסייה

ציר X- שבועות 1-39; שבוע 1 מתחיל ב 30.12.19, שבוע 15 ב 6.4.20, שבוע 39 ב 21.9.20



טבלה 2: עודף תמותה ב-39 השבועות הראשונים בשנת 2020 (27.9.20-30.12.19), לפני תקופת הקורונה ובמהלכה; לפי קבוצות גיל, ובכלל האוכלוסייה עודף תמותה - פער בין מספר פטירות נצפה למספר פטירות צפוי על פי המודל הסטטיסטי

א. בכלל התקופה, שבועות 39-1
(שבוע 1 מתחיל ב-30.12.19, שבוע 39 מתחיל ב-21.9.20)

קבוצת גיל	מס פטירות צפוי (רווח ניבוי 95%)	מספר פטירות נצפה	עודף פטירות
19-0	721 668-775	573	*-148
59-20	3576 3458 – 3693	3636	60
69-60	4392 4262-4522	4438	46
79-70	6919 6755-7082	7356	*437
89-80	11464 11253-11674	11802	**338
+90	7344 7176-7513	7738	*394
כלל האוכלוסייה	34416 34052-34780	35543	*1127

*מובהקות סטטיסטית

ב. לפני תחילת התמונה מקורונה, שבועות 12-1
(שבוע 1 מתחיל ב-30.12.19, שבוע 12 מתחיל ב-16.3.20)

קבוצת גיל	מס פטירות צפוי (רווח ניבוי 95%)	מספר פטירות נצפה	עודף פטירות
19-0	241 210 – 272	204	*-37
59-20	1158 1091 – 1225	1152	-6
69-60	1534 1457 – 1611	1458	-76
79-70	2465 2367 – 2562	2323	*-142
89-80	4162 4035 – 4289	3970	*-192
+90	2660 2559 – 2762	2671	11
כלל האוכלוסייה	12,220 12,003 – 12,437	811,77	*-442

* מובהקות סטטיסטית

ג. בתקופת הקורונה, שבועות 13-39
(שבוע 13 מתחיל ב-23.3.20, שבוע 39 מתחיל ב-21.9.20)

קבוצת גיל	מס פטירות צפוי (רווח ניבוי 95%)	מספר פטירות נצפה (פטירות מקורונה)	עודף פטירות
19-0	480 437-524	369 (4)	*-111
59-20	2418 2321 – 2514	2484 (96)	66
69-60	2858 2753-2963	2980 (172)	122
79-70	4454 4323-4586	5033 (361)	*579
89-80	7302 7134-7470	7832 (518)	*530
+90	4684 4549-4819	5067 (341)	*383
כלל האוכלוסייה	22196 21904-22488	23765 (1492)	*1569

* מובהקות סטטיסטית

6. סיכום ומסקנות

- כאשר אומדים את ההשפעה של פנדמיה שנמשכת לאורך זמן כמו הקורונה יש חשיבות בבחינת התמותה. בהערכת תחלואה לאורך זמן יש קושי מתודולוגי, הקשור בשינוי במדיניות איתור החולים ובאפיונם, בשוני במספר הבדיקות לאורך זמן, באפיון האנשים המופנים לבדיקות ובהגדרת חומרת המחלה; במצב כזה חישוב עודף תמותה כאשר המוות הוא מכל סיבה שהיא, מלמד על נטל התחלואה הקשורה בקורונה- ישירות או בעקיפין, בכלל האוכלוסייה ובפרט בכל קבוצת גיל.
- מידע זה חיוני למקבלי החלטות, להתרעה מוקדמת והערכת השפעת הפנדמיה ולפעילות מותאמת גיל, לטובת בריאות הציבור.
- במחקר זה נבנו עקומות בסיס לתמותה בישראל ב-6 קבוצות גיל, שיאפשרו לבחון עודף תמותה אפשרי מקורונה לאורך זמן. ייחודן של עקומות אלו בכך שהן מתחשבות במגמות בתמותה, בגידול הטבעי באוכלוסייה הישראלית ובאפקט של גורמי אקלים במהלך שני עשורים.
- נמצא ששיעור התמותה בישראל ירד לאורך זמן בכל קבוצות הגיל, אך משנת 2010 יש התמתנות במגמה זו.
- נמצא שלעונת השנה ולגורמי האקלים בכל עונה יש אפקט הטרונגי בקבוצות הגיל השונות, אך בכלל האוכלוסייה שיא התמותה מתרחש בחורף, המאופיין במזג אויר קר וריבוי תחלואה בשפעת או דמוית שפעת.
- כאשר בוחנים את אפקט הקורונה על תמותה בכלל האוכלוסייה בתקופת המחקר, נמצא כי לפני תחילת התמותה מקורונה היה חוסר תמותה מובהק בהשוואה לשנים קודמות, אך בתקופת הקורונה בחודשים מרץ-ספטמבר 2020 (במהלך 26 שבועות), היה עודף תמותה מובהק של כ-1500 איש, כאשר מספר הנפטרים מקורונה היה דומה (1492).
- תמותת עודף וחוסר התמותה במהלך ינואר-ספטמבר שנת 2020, לפני (שבועות 12-1) ואחרי הקורונה (שבועות 13-39), בהשוואה לשנים קודמות, שונה מהותית בקבוצות הגיל השונות.
- בעוד שבגילאי 0-19 נמצא חוסר תמותה מובהק הן לפני והן אחרי הקורונה, בגילאי 20-69 אין שוני בפטירות לעומת שנים קודמות.
- בגילאי 70+ נמצא עודף תמותה בתקופת הקורונה.
- בתת קבוצת גיל 70-89 היה חוסר בתמותה לפני הקורונה ועודף התמותה בתקופת הקורונה (שעולה על מספר הפטירות מקורונה) מרמז על תמותה עקיפה מקורונה, למשל בשל אי הגעה לשירותי בריאות.

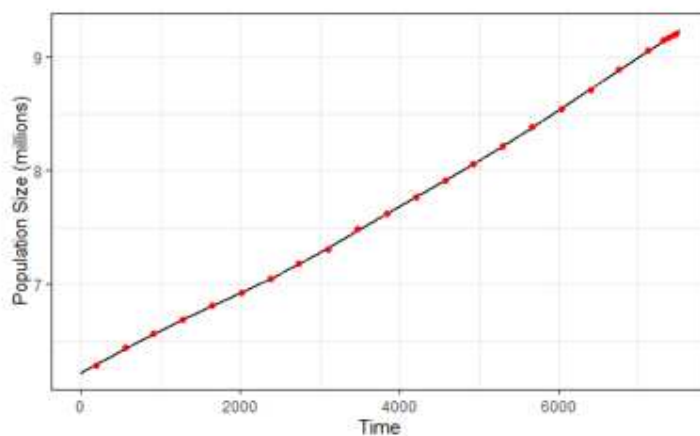
- בגילי 90+ לא היה חוסר פטירות לפני הקורונה ועודף הפטירות בתקופת הקורונה דומה למספר הפטירות מקורונה (תמותה ישירה מקורונה).
- עונתיות נמצאה כמרכיב דומיננטי בפטירות בשנים 2000-2019, אבל לא נמצאה קשורה בעודף התמותה בתקופת הקורונה, מרץ-ספטמבר 2020. עיקר עודף התמותה נמצא בקיץ ולא בחורף, עם העלייה המשמעותית במספר החולים, ולכן נראה כי ניתן לייחס את עודף הפטירות לתמותה מהגניף.
- הקורונה עדיין ממשיכה בישראל כמו במדינות אחרות, ולכן יש להמשיך ולנטר את עודף התמותה בישראל, לפי קבוצות גיל, תוך שימוש בעקומות הבסיס שהוצגו בדוח זה.

- 1 Giuliana Viglione.
The true toll of the Pandemic. Nature Vol 585 3 September 2020
- 2 <https://ourworldindata.org/excess-mortality-covid>
- 3 Andreas Stang,a,b,* Fabian Standl,a Bernd Kowall,a Bastian
Brune,c,d Juliane Böttcher,e Marcus Brinkmann,f Ulf Dittmer,g and Karl-
Heinz Jöckelaj Excess mortality due to COVID-19 in Germany Infect. 2020
Nov; 81(5): 797–801
- 4 Paola Michelozzi, Francesca de' Donato, Matteo Scortichini, Patrizio
Pezzotti, Massimo Stafoggia, Manuela De Sario, Giuseppe Costa, Fiammetta
Noccioli, Flavia Riccardo, Antonino Bella, Moreno Demaria, Pasqualino
Rossi, Silvio Brusaferro, Giovanni Rezza & Marina Davoli
Temporal dynamics in total excess mortality and COVID-19 deaths in Italian
cities. BMC Public Health volume 20, Article number: 1238 (2020)
- 5 Matteo Scortichini,1,2 Rochelle Schneider dos Santos,1,3 Francesca De'
Donato,2 Manuela De Sario,2 Paola Michelozzi,2 Marina Davoli,2 Pierre
Massetot,1 Francesco Sera,1 and Antonio Gasparrini 1,3,4*
Excess mortality during the COVID-19 outbreak in Italy: a two-stage
interrupted time-series analysis. International Journal of Epidemiology,
2020, 1–9
- 6 Daniel M Weinberger 1, Jenny Chen 2, Ted Cohen 1, Forrest W Crawford 3
4, Farzad Mostashari 5, Don Olson 6, Virginia E Pitzer 1, Nicholas G Reich 7,
Marcus Russi 1, Lone Simonsen 8, Anne Watkins 1, Cecile Viboud
Estimation of Excess Deaths Associated With the COVID-19 Pandemic in the
United States, March to May 2020. JAMA Intern Med, 2020 Oct
1;180(10):1336-1344.
- 7 OECD Health Working Papers No. 122. Excess mortality: measuring the
direct and indirect impact of COVID-19.
<https://www.oecd.org/health/excess-mortality-c5dc0c50-en.htm>

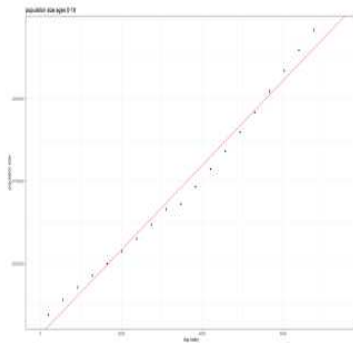
נספח 1- תוספת לניתוח עודף תמותה לשבועות 1-39, חודשים ינואר-ספטמבר, 2020

תרשים - גידול האוכלוסייה בתקופת המחקר, בכלל האוכלוסייה ולפי קבוצות גיל

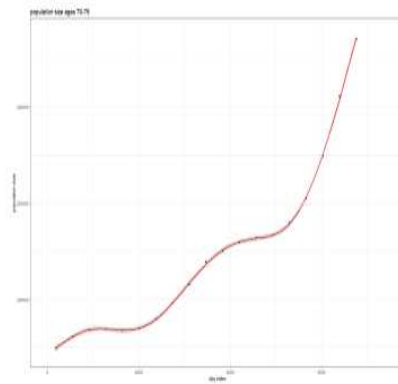
Population Size 2000-2020



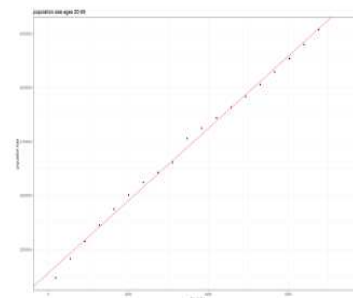
Population size
for age 0-19



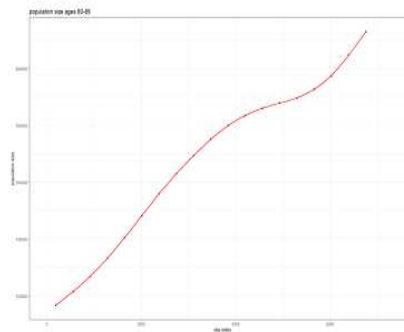
Population size
for age 70-79



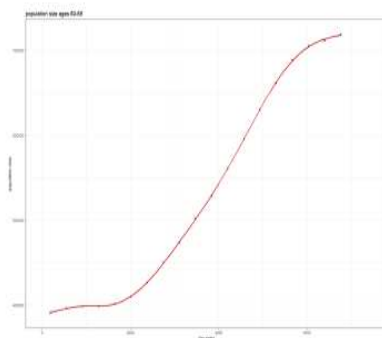
Population size
for age 20-59



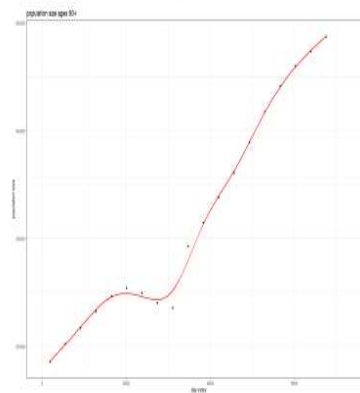
Population size
for age 80-89



Population size
for age 60-69



Population size
for age 90+



Technical Appendix

Modeling Daily Mortality Rates in Israel: 2000-2019

General

We used a Poisson regression model for establishing an Israeli baseline daily mortality rate curve, for the period 1.1.2000-31.12.2019 and for predicting mortality for 2020.

The Israel Central Bureau of Statistics (CBS) provided daily mortality data (dependent variable) for Israel from 1 January 2000 through 31 December 2019. The data were stratified by age group. The CBS also provided annual data (through 2018) on the size of the population (indicator for the offset parameter) by age group and monthly data on the total size of the population for 2019 and 2020. Data from 2000-2019 were used to model the mortality rates adjusted to several factors (predictor variables) from the pre-covid-19 period; the estimated rates were then used to predict mortality for 2020.

Modeling of the population data is described at the end of this document.

Predictor variables

- An annual trend, modeled by a cyclic B-spline. As this is a function of the day of the year, the symbol DY will be used later to indicate this variable.
- A long-term linear trend, with a possible change in slope in 2010. Placing the slope change at 2010 was based on prior graphical review of the daily mortality rates, which showed decreasing rates through 2010 and relatively little change thereafter. The variable Year will be used for the long-term trend.
- The index of influenza like illness (ILI) computed weekly by the Israel Center for Disease Control. The weekly summary value was taken to apply for all days of that week. Distinct measures were used for ages 0-19, 20-59 and 60+. The latter were used for modeling mortality rates in all age groups for the 60+ population. The reason for combining the ILI data from all these age groups is that the index is not so reliable for the oldest age groups, which have the heaviest mortality, and overall, there is high correlation across all these age groups. Thus we were convinced that the combined index was more stable and better reflected the state of the annual influenza infection than did the indices for any of the more specific age groups in the 60+ population.
- Weather variables recorded daily at Beit Dagan were provided by the Israel Meteorological Service (IMS): minimum and maximum temperature, dew point temperature at time 03:00 and average radiation. These will be denoted later by T_{max} , T_{min} , TD and AR. Each weather variable was used to generate separate predictors, one for each season of the year. This allows us to model, for example,

the fact that higher temperatures may be associated with decreased mortality in winter, but with increased mortality in summer.

Lagged weather variables: Several options were assessed for using these data as predictors of mortality, including “same day” values, the average of the 4 preceding days (but not including the same day) and the average of the 10 preceding days. Both lagged averages were also used jointly with the same day values. All of these options provided similar quality fits, with a slight preference for the two lagged options without same day values. We elected to use the 10-day lagged averages for all the weather variables.

- Season: The division into seasons followed the recommendations of the IMS, with Summer including June, July, August and September; Fall including October and November; Winter including December, January and February; and Spring including March, April and May. These separate variables are distinguished later by appropriate sub-scripts. Each season-specific variable is assigned the value of the corresponding variable on days that belong to that season and is equal to 0 on all days in other seasons.
- Day of the week: was also included, after noticing that there are distinctly fewer deaths on Saturdays, and to a lesser extent on Fridays, than during the rest of the week.

Equation

The model (for each age group) has the following structure.

Let $Y_{i,j}$ denote the number of deaths in age group i on day j and let $P_{i,j}$ denote the corresponding population size of the age group. (In this description, *day* refers to the entire length of the data set used for fitting the model, unlike the variable *Day* that appears below in the model equation.) We will explain later how we used the available data on population size to achieve daily numbers. Let $\theta_{i,j}$ denote the underlying mortality rate. The model assumes that $Y_{i,j}$ has a Poisson distribution with mean value equal to $P_{i,j}\theta_{i,j}$ and uses the standard logarithmic link function. We also assume that the death counts on successive days are statistically independent of one another. The model for $Y_{i,j}$ thus includes an offset of $\log(P_{i,j})$ to adjust for the population size.

We take the population size as given and model how the mortality rate depends on the predictor variables:

$$\begin{aligned} \log(\theta_{i,j}) = & \beta_0 + \beta_{1,i}Sun_j + \beta_{2,i}Mon_j + \beta_{3,i}Tues + \beta_{4,i}Wed + \beta_{5,i}Thur + \beta_{6,i}Fri + s_i(Day_j) \\ & + \beta_{7,i}(Year - 2000)_j + \beta_{8,i}(Year_j - 2010)^+ + \beta_{9,i}ILI_{i,j} + \beta_{10,i}T_{max,Sm,j} + \beta_{11,i}T_{max,F,j} \\ & + \beta_{12,i}T_{max,W,j} + \beta_{13,i}T_{max,Sp,j} + \beta_{14,i}T_{min,Sm,j} + \beta_{15,i}T_{min,F,j} + \beta_{16,i}T_{min,W,j} + \beta_{17,i}T_{min,Sp,j} \\ & + \beta_{18,i}TD_{Sm,j} + \beta_{19,i}TD_{F,j} + \beta_{20,i}TD_{W,j} + \beta_{21,i}TD_{Sp,j} + \beta_{22,i}AR_{Sm,j} + \beta_{23,i}AR_{F,j} \\ & + \beta_{24,i}AR_{W,j} + \beta_{25,i}AR_{Sp,j} \end{aligned}$$

The predictor variables are identical for all age groups with the exception of ILI, as noted earlier. However, the effect of each variable is taken to be age-group specific. The first predictors are indicators for day of the week, with Saturday taken as the “reference” day

and represented by the intercept β_0 . The function $s_i(\text{Day}_j)$ represents the annual trend as a smooth, periodic function of Day, which runs from 1 through 365 (366 for leap years). This is fitted by assuming a periodic B-spline basis and using automatic methods to choose the necessary level of smoothing. We subtracted 2000 from the Year to obtain a variable that runs from 0 through 19 in our data. The function $(\text{Year}_j - 2010)^+$ is equal to 0 for all years from 2000 until 2010, then takes on values 1, 2, ..., 9 for 2011 through 2019. The combination of the two functions of Year generates a linear spline with a knot at 2010 to represent the long-term trend in mortality rate.

The model was fitted to the data using the gam (Generalized Additive Model) function in the R package mgcv, with default settings for the degree of smoothing.

All coefficients were left in the models regardless of results on their statistical significance. Leaving in coefficients that are, perhaps, not needed has the benefits of reducing bias and of eliminating the need for possibly arbitrary decisions about model selection. It has the drawback of increasing the variance of the estimated mortality rates. However, examination of the results showed that the variance in the estimates was quite small even with all terms retained. Therefore there was no reason to consider dropping predictors.

Data from 2000-2019 were used to fit all models except that for ages 90+. Initial inspection of the data showed a large difference in the raw mortality rates through 2008 and after 2008. The CBS confirmed that population size data for this age group were unreliable for the earlier period, but were reliable thereafter, following the national census in 2009. Therefore, for the 90+ group, only data from 2009-2019 were used to fit the model.

Examination of the models showed very good fits to the data. The only daily observation that stands out as a clear outlier is the mortality in the 20-59 age group on 2 December 2010, resulting from the high mortality caused by the Carmel fire.

Predicting Mortality in 2020

The model produces an estimate $\hat{\theta}_{i,j}$ of the logarithm of the mortality rate in age group i for any day j on which all the predictor variables are available. That estimate is transformed back to an estimate $\hat{\theta}_{i,j}$ of the mortality rate. These estimates are computed for each day in 2020 throughout the period where we had all predictors and could compare to actual mortality. The predicted mortality is then computed as $\hat{Y}_{i,j} = P_{i,j} \hat{\theta}_{i,j}$. Predicted mortality for the entire population, or for broader age groups, is computed by summing the predictions over all relevant age groups.

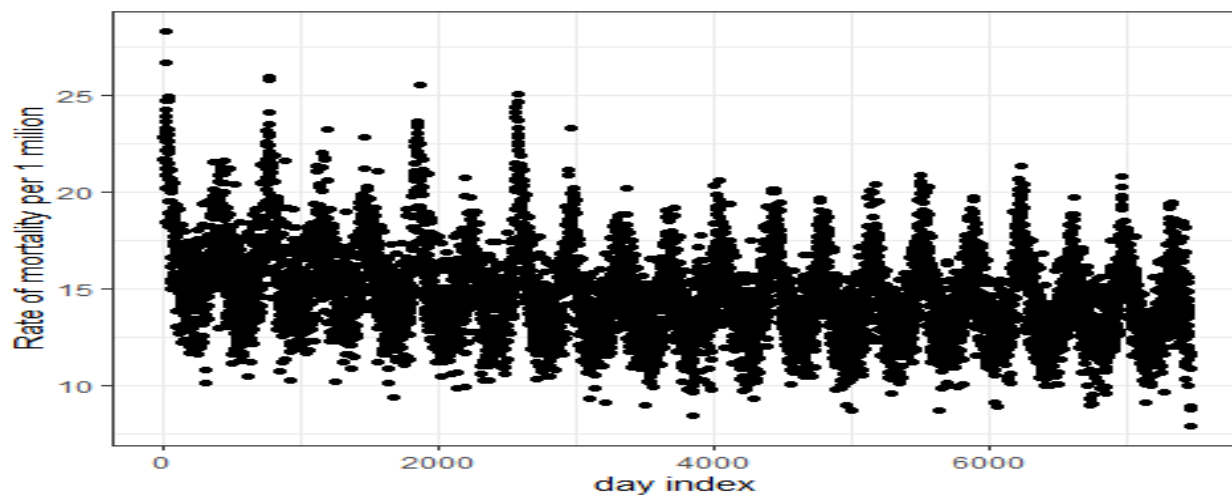
Modeling Population Size

For 2000-2018, annual data were available for population size by age group. Using these numbers as the population size for each day in that year would result in an “artificial” drop in daily mortality rate on 1 January each year due to the jump in population size. We preferred to “smooth” the population data so as to reflect the gradual increase in the population sizes over time.

The annual data are an average of the population size across the entire year. Thus we took them as representative of the size of the population on 2 July of each year (day 182 if no leap year). For 2019 and 2020, monthly data were available but without the breakdown by age groups. As the population of Israel has grown considerably over this period, we desired to use the most recent data possible. So we computed age specific population estimates for 2019 and 2020 by assuming the relative fraction of the population in each age group remained the same as it had been in 2018.

The population size data for each age group were then modeled by a smooth regression function using the `gam` routine in the `mgcv` package in R. All of these fits reproduce the observed data almost perfectly. Predicted values from the fits at the daily level give the gradual increase in the population size. These predicted values served as the $P_{i,j}$ in our models and our predictions.

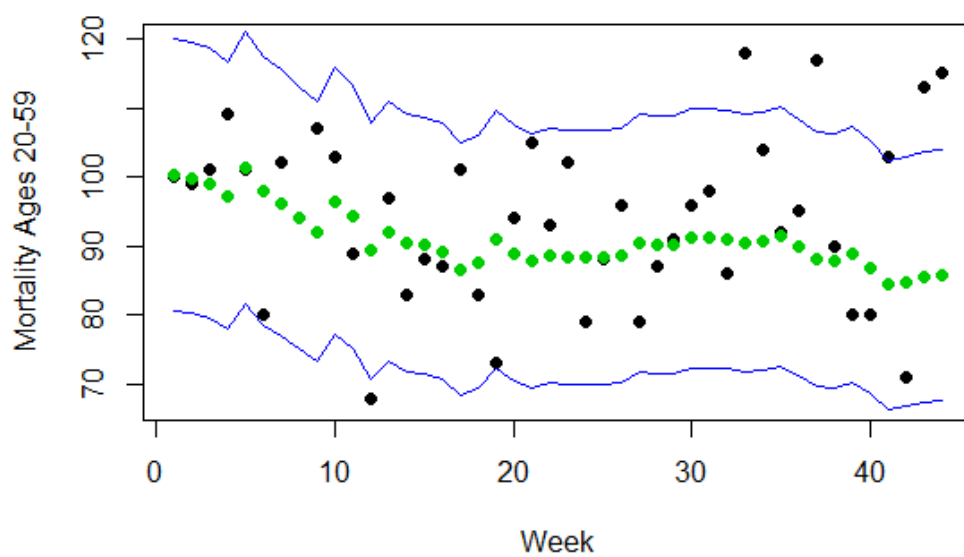
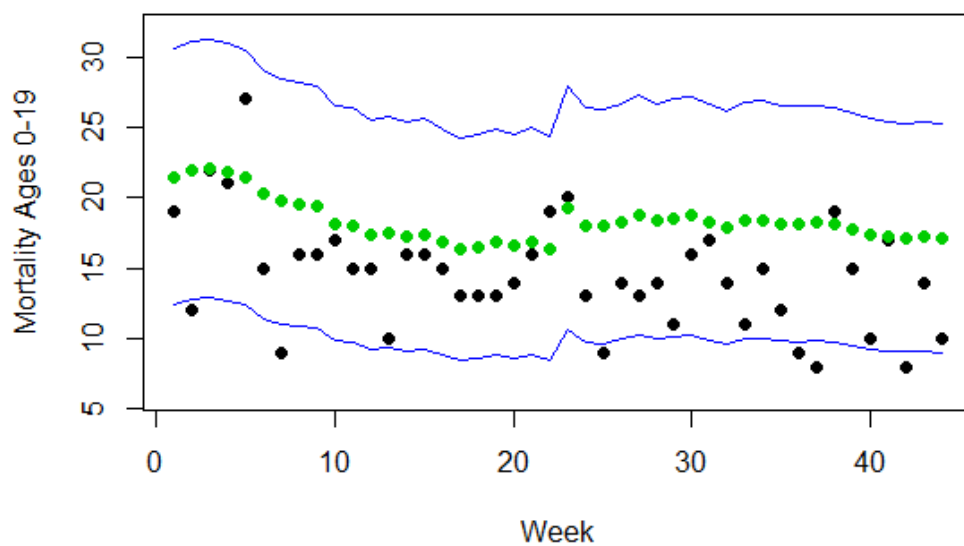
תרשים 1א: שיעור תמותה יומית (למיליון איש) לתקופה 1.1.2000-31.6.2020 *
 ציר X- מספר סידורי של היום במשך כל התקופה (1-365 שנת 2000, 366-730 שנת 2001, וכן הלאה)

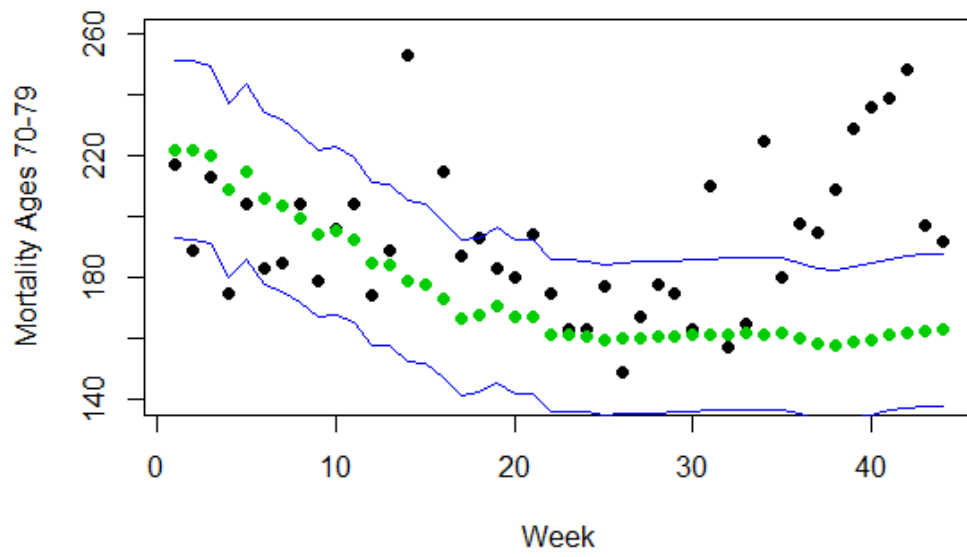
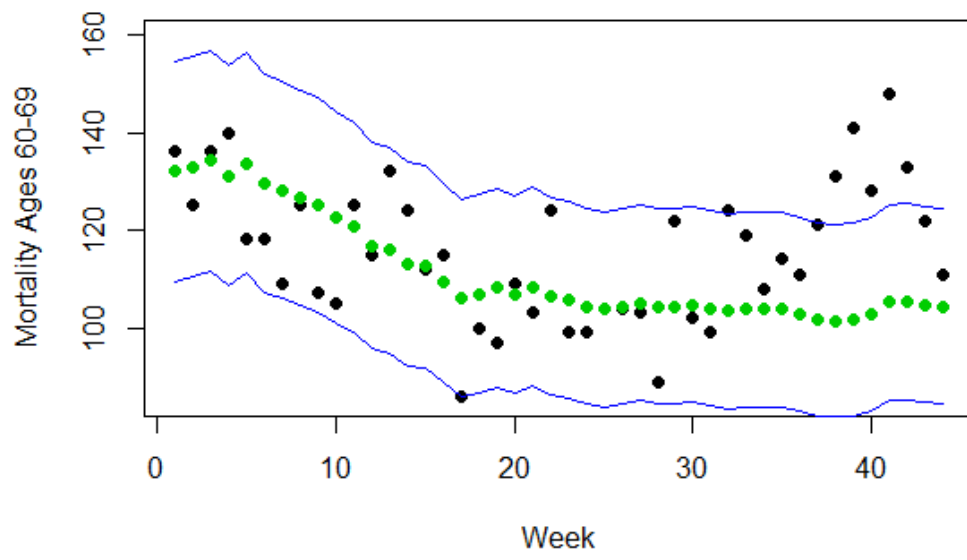


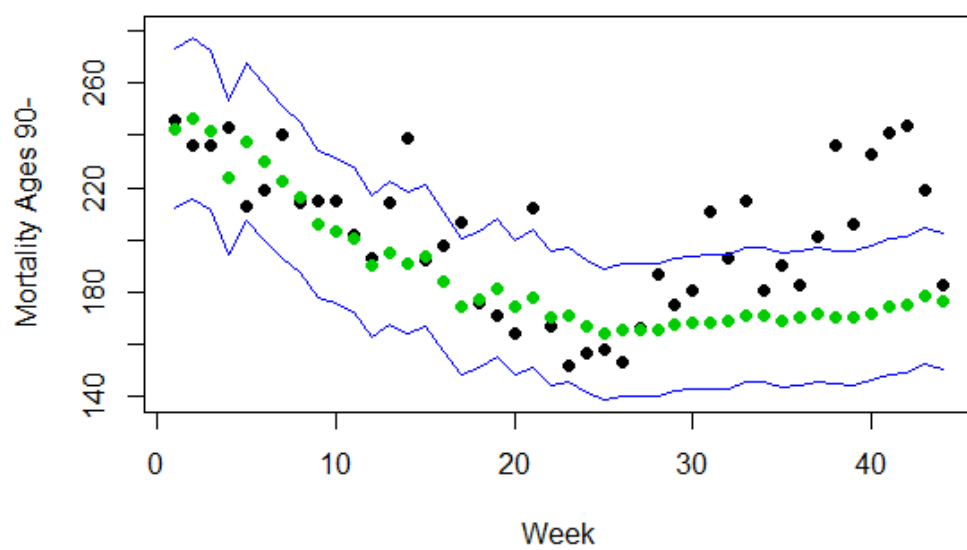
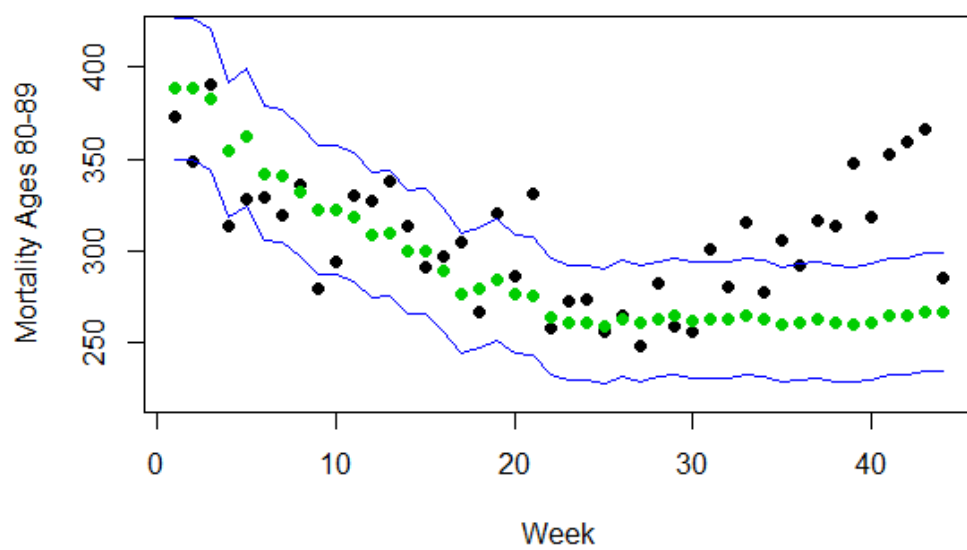
*ניתן לראות מחזוריות דומה בכל שנה, עם מגמת ירידה כללית בשיעור התמותה היומית לאורך כל התקופה

נספח 2: עדכון עודף תמותה לשבועות 1-44, חודשים ינואר-אוקטובר, 2020

תרשים 6 : מספר פטירות, נצפה (שחור) וצפוי (ירוק) עם רווחי ניבוי של 95% (כחול), על פי ממצאי מודל GAM, ל 44 השבועות הראשונים בשנת 2020 (30.12.19-1.11.20), לפי קב גיל .

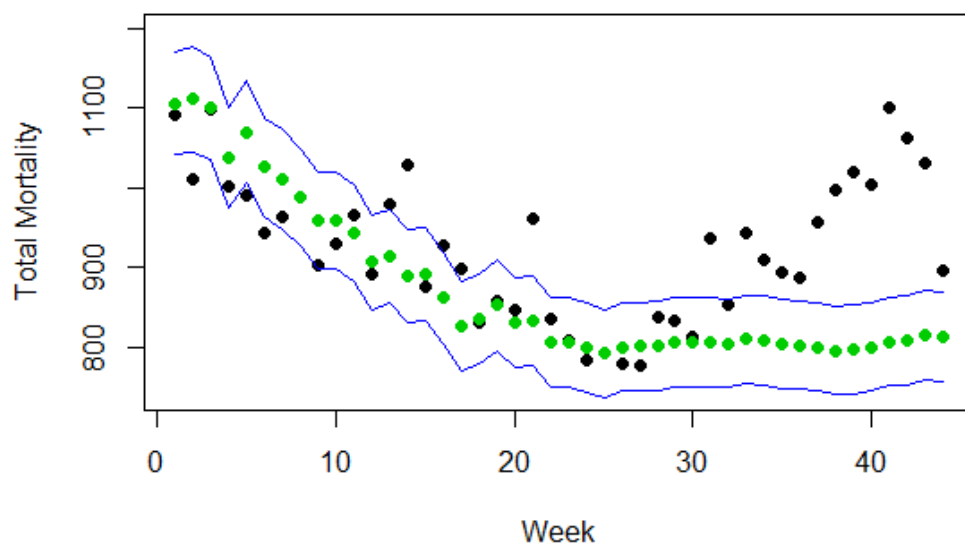






תרשים 7 : מספר פטירות, נצפה (שחור) וצפוי (ירוק) עם רווחי ניבוי של 95% (כחול) על פי ממצאי מודל GAM, ל 44 השבועות הראשונים בשנת 2020 (30.12.19-1.11.20) , לכלל האוכלוסייה

ציר X- שבועות 1-44; שבוע 1 מתחיל ב 30.12.19, שבוע 15 ב-6.4.20, שבוע 44 ב 26.10.20



טבלה 2: עודף תמותה ב 44 השבועות הראשונים בשנת 2020 (30.12.19-1.11.20) , לפני תקופת הקורונה ובמהלכה; לפי קבוצות גיל, ובכלל האוכלוסייה עודף תמותה- פער בין מספר פטירות נצפה למספר פטירות צפוי על פי המודל הסטטיסטי

א. בכלל התקופה, שבועות 44-1
(שבוע 1 מתחיל ב 30.12.19, שבוע 44 מתחיל ב 26.10.20)

עודף פטירות			מספר פטירות נצפה (פטירות מקורונה)	מספר פטירות צפוי (רווח נבוי 95%)	קבוצת גיל
מספר	%	% שמיוחס לקורונה			
**169	-20.9	-3.0	638 (5)	807 751-864	0-19
**134	3.3	129.1	4137 (173)	4003 3878-4127	20-59
**181	3.7	174.0	5093 (315)	4912 4774-5050	60-69
**768	10.0	81.5	8485 (626)	7717 7544-7890	70-79
**730	5.7	121.8	13511 (889)	12781 12559-13003	80-89
**653	7.9	85.1	8877 (556)	8224 8046-8402	+90
**2297	6.0	111.6	40741 (2564)	38444 38060-38829	כלל האוכלוסייה

*% עודף פטירות= מספר עודף פטירות חלקי מספר פטירות צפוי, כפול 100

**מובהקות סטטיסטית

ב. לפני תחילת התמותה מקורונה, שבועות 12-1
(שבוע 1 מתחיל ב 30.12.19, שבוע 12 מתחיל ב 16.3.20)

קבוצת גיל	מספר פטירות צפוי (רווח ניבוי 95%)	מספר פטירות נצפה	עודף פטירות מספר %	
0-19	241 210 – 272	204	-15.4	*-37
20-59	1158 1091 – 1225	1153	-0.4	-5
60-69	1533 1456-1610	1459	-4.8	-74
70-79	2464 2366-2561	2323	-5.7	**141
80-89	4162 4035 – 4289	3968	-4.7	**194
+90	2661 2559 – 2762	2672	0.4	11
כלל האוכלוסייה	12,219 12,002-12,436	11,779	-3.6	**440

ג. בתקופת הקורונה, שבועות 13-44
(שבוע 13 מתחיל ב 23.3.20, שבוע 44 מתחיל ב 26.10.20)

קבוצת גיל	מס פטירות צפוי (רווח ניבוי 95%)	מספר פטירות נצפה (פטירות מקורונה)	עודף פטירות מספר לקורונה % מיוחס		
0-19	566 519-614	434 (5)	-23.3	-3.8	*132
20-59	2845 2740-2950	2984 (173)	4.7	124.5	**139
60-69	3379 3265-3494	3634 (315)	7.5	123.5	*255
70-79	5253 5111-5396	6162 (626)	17.3	68.9	**909
80-89	8619 8436-8801	9543 (889)	10.7	96.2	**924
+90	5564 5417-5710	6205 (556)	11.5	86.7	**641
כלל האוכלוסייה	26225 25908-26543	28962 (2564)	10.4	93.7	2737

* % עודף פטירות = עודף פטירות חלקי מספר פטירות צפוי, כפול 100;

% עודף פטירות שמיוחס לקורונה = פטירות מקורונה חלקי עודף פטירות, כפול 100

** מובהקות סטטיסטית

סכום ממצאי 44 שבועות

בכל 44 השבועות :

לעומת שנים קודמות, בגילי 0-19 שנה, יש חוסר מובהק במספר הפטירות (-21%) ובגילי +20, עודף מובהק במספר הפטירות (20-59 3%, 60-69 4%, 70-79 10%, 80-89 6%, 90+ 8%) בהשוואה למספר הצפוי על פי המודל. **בכלל האוכלוסייה עודף מובהק במספר הפטירות של 6%.**

לפני תקופת הקורונה (שבועות 1-12):

לעומת שנים קודמות נצפה חוסר בפטירות בכל קבוצות הגיל, למעט בגילי +90. **בכלל האוכלוסייה חסר מובהק במספר הפטירות של 4%**

בתקופת הקורונה (שבועות 13-44):

בגילי 0-19: חוסר מובהק במספר הפטירות 23%-, ממנו מיוחס לקורונה 4%- בגילי 20-59: עודף מובהק במספר הפטירות 5%, ממנו מיוחס לקורונה 124%. בגילי 60-69: עודף מובהק במספר הפטירות 8%, ממנו מיוחס לקורונה 124%. בגילי 70-79: עודף מובהק במספר הפטירות 17%, ממנו מיוחס לקורונה 69%. בגילי 80-90: עודף מובהק במספר הפטירות 11%, ממנו מיוחס לקורונה 96%. בגילי +90: עודף מובהק במספר הפטירות 12%, ממנו מיוחס לקורונה 87%.

בכלל האוכלוסייה עודף מובהק במספר הפטירות של 10%, ממנו מיוחס לקורונה 94%

מסקנות:

- בכלל האוכלוסייה, נמצא עודף פטירות (10%) שכמעט כולו מיוחס לקורונה, אך יש שוני בין קבוצות הגיל
- בעוד שבגילי 0-19 היה חוסר פטירות מובהק בתקופת הקורונה, בגילי +20 היה עודף מובהק של פטירות.
- בגילי 20-69 מספר הנפטרים מקורונה עולה על עודף הפטירות ומרמז על כך שתמותה מסיבה אחרת נמנעה.
- בגילי +70 מספר הנפטרים מקורונה קטן מעודף הפטירות בפרט בגילי 70-79. וזה מרמז על פטירה מהשפעה עקיפה של המגיפה על החמרת תחלואה מסיבות אחרות או על פטירות מקורונה שאינן ידועות.