

יערה צעירי

החוג ללימודי הסביבה, בית הספר לסביבה ולמדעי
כדור"א ע"ש פורטר, אוניברסיטת תל-אביב

אלון טל

יו"ר משותף, עמותת צפוף

תרומת צפיפות האוכלוסין בערים להידבקות בקורונה בישראל

4 יוני, 2020

גיליון אביב 2020 / כרך 11(1) / קורונה וסביבה

חזית המחקר

צפיפות אוכלוסין היא אחד הגורמים התורמים לתפוצת מגפות, לצד גורמים נוספים, כגון מעמד כלכלי-חברתי, דפוסי התנהגות ומאפיינים ביולוגיים של נגיפים עצמם. במחקר זה השתמשנו בנתוני משרד הבריאות והלמ"ס כדי לבחון את היחס בין צפיפות האוכלוסין בערים שונות בישראל לבין שיעור החולים המאומתים ב-COVID-19 (להלן: תחלואה בקורונה). רגרסיה ליניארית שנערכה על כלל היישובים שבהם 5,000 תושבים ומעלה הצביעה על קשר מובהק בין רמת צפיפות האוכלוסין ביישוב לבין תחלואה, לצד גורמים נוספים, כגון מעמד כלכלי-חברתי, סוג היישוב ושיעור הבדיקות שנערכו בו. בבדיקות נוספות שערכנו עבור שמונה יישובים חרדיים, המתאפיינים בדפוסים תרבותיים וכלכליים-חברתיים דומים – נמצא גם כן קשר חיובי מובהק וחזק בין צפיפות האוכלוסייה לסיכויי התחלואה בקורונה: כל עלייה בצפיפות של 1,000 תושבים לקמ"ר, מלווה בעלייה של 31 חולים ל-100,000 תושבים. ממצאי המחקר מעלים את הצורך לדון ביכולתה של ישראל להתמודד עם המגפה הבאה כאשר תהפוך בקרוב למדינה הצפופה במערב.

מבוא

לא מעט נכתב על ההשלכות הסביבתיות של צפיפות אוכלוסין גבוהה בישראל, לרבות פגיעה בשטחים הפתוחים ובמגוון הביולוגי, עלייה בפליטות מזהמים והתדלדלות משאבי הטבע^[1]. יחסית לכך, מעט ספרות מקצועית מציגה נתונים אמפיריים בדבר הסיכונים הבריאותיים הנובעים מצפיפות אוכלוסין בימים של פנדמיות ומגפות מידבקות. בכל זאת בעולם, ובייחוד בארה"ב, גוברת הסברה שצפיפות אוכלוסין היא גורם סיכון משמעותי לציבור בזמן מגפות^[19]. מאמר זה בוחן את היחס בין צפיפות האוכלוסין בערים שונות בישראל לבין שיעור התחלואה בקורונה. הוא מצביע על קשר מובהק בין רמת הצפיפות ביישוב בארץ לבין פגיעות התושבים המתגוררים בו, אולם ישנם גם גורמים נוספים שמשפיעים, כגון מעמד כלכלי-חברתי, סוג היישוב ושיעור הבדיקות שנערכו בו.



שוק מחנה יהודה בירושלים בשגרה (ימין) ובימי סגר הקורונה (שמאל). נמצא קשר מובהק בין רמת צפיפות האוכלוסין ביישובים לבין תחלואה, לצד גורמים נוספים, כגון מעמד כלכלי-חברתי. בבדיקות נוספות ביישובים חרדיים נמצא כי כל עלייה בצפיפות של 1,000 תושבים לקמ"ר מלווה בעלייה של 31 חולים ל-100,000 תושבים | צילום: מימין – עמנואל דיין, www.flickr.com. משמאל – Yoninah, Wikimedia Commons, the free media repository

המחקר המודרני הבוחן את המתאם בין צפיפות אוכלוסין לבין התפרצותן של מגפות החל למעשה במחקרו של רונלד רוס (Ross), הזוכה השני בהיסטוריה של פרסי נובל לרפואה, בעניין מלריה. רוס הוכיח כי אין צורך להדביר את כל אוכלוסיית היתושים כדי למגר מלריה [20]. כחצי מאה לאחר מכן, דווקא חוקרים בתחום האקולוגיה הוכיחו דרך מודלים מתמטיים שנתמכו במחקרי שדה את הקשר בין צפיפות אוכלוסיית המאכסן לבין רמת ההידבקות שלה בזמן מגפה. שורה של מאמרים של רוי אנדרסון (Anderson) ורוברט מיי (May) הובילו לצאתו של ספרם הקלאסי Infectious Diseases of Humans: Dynamics and Control [8]. במאמרם המשותף הראשון קבעו שני החוקרים הללו את המושג "מספר הריבוי" (ראו בהמשך R_0) ומצאו שצפיפות אוכלוסין היא גורם דומיננטי בהאצת הידבקות [9].

המודלים של אנדרסון ומיי עמדו במבחנים אמפיריים פעם אחר פעם. למשל, במאמר מקיף שפורסם בכתב העת *Nature* [14] בדקו החוקרים 335 מחלות מידבקות חדשות שהתפרצו בין השנים 1940 עד 2004. מסקנתם הייתה חד-משמעית: "מצאנו כי צפיפות האוכלוסייה האנושית הייתה באופן רווח מנבא עצמאי ומובהק לאירועים של מחלות זיהומיות בכל הקטגוריות, תוך בקרה של הטיות דיווח מרחיבות לפי מדינה" [14]. מאז נבדקה ההשערה במחקרים נוספים, והקשר הסיבתי בין צפיפות אוכלוסין לבין הסיכון להידבקות בזמן מגפות אושש [11, 13, 18].

המאפיינים המרכזיים בקביעת הפוטנציאל הזיהומי (infectiousness) של נגיף מסומנים בספרות האפידמיולוגית כך: R_0 (Reproduction number – "R naught") – מספר ההידבקות שאדם חולה גורם באוכלוסייה ללא המחלה, במהלך התקופה שבה הוא מידבק; R_{eff} (R effective) – המשקף את מספר האנשים שיידבקו בשלב מאוחר יותר. מכיוון שלאורך זמן חלק מהאנשים כבר נדבקו בנגיף, R_{eff} מתחיל ב- R_0 אך פוחת עם הזמן. כש- R_{eff} גדול מ-1, ניתן לצפות להתפשטות המחלה, ואילו כש- R_{eff} קטן מ-1, המחלה דועכת ולבסוף נעלמת. מספר זה חשוב למשל לקביעת הפוטנציאל להגיע ל"חסינות עדר" בקרב הציבור או לקביעת הצורך בפיתוח חיסון [17]. לדוגמה, חצבת נחשבת למחלה מידבקת מאוד עם R_0 שנע בטווח 12–18. על פי דיווחים שונים, SARS-CoV-2, הנגיף שגורם למחלת הקורונה, מידבק פחות, ומספר הריבוי שלו נע בין 1.4–3.8 [16].

מספר תכונות, שאינן בשליטתם של בני אדם, תורמות ל- R_0 של מחלה, ובהן רמת הפוטנציאל הזיהומי, משך זמן הדגירה של הנגיף ודרך העברתו (ראו איור של "המשולש האפידמיולוגי" אצל נגב ואחרים בגיליון זה). עם זאת, אחד המרכיבים שאינם קשור להרכב הביולוגי של הנגיף הוא צפיפות אוכלוסין. כאשר בני אדם פזורים באזורים כפריים, יש ביניהם פחות אינטראקציות, ועל כן גם פחות הדבקות [21]. הערך של מספר ריבוי אינו מוגדר כמספר נקוב, אלא כטווח בגלל אותם הבדלים סביבתיים, כגון צפיפות. קיימים פערים משמעותיים בין צפיפות האוכלוסין ביישובים שונים. מגפת הקורונה ממחישה אפוא את החשיבות הסביבתית של תנאי ההידבקות בפועל, שכן הנגיף מועבר באמצעות טיפות הנישאות באוויר. הפחתת צפיפות האוכלוסייה במרחב הציבורי ובבתי מגורים לאחר זיהוי המחלה עומדת מאחורי אסטרטגיית הבידוד והסגר של רוב המדינות הנלחמות נגד המגפה.

ניתן לטעון שישנם גורמים אחרים, שאינם קשורים לצפיפות, המשפיעים על הפוטנציאל הזיהומי של נגיף כמו SARS-CoV-2, גורמים כגון המעמד הכלכלי-חברתי של התושבים [22], דפוסי התנהגות תרבותיים [6, 7] ועוד. במחקר זה אנו בוחנים את השפעתם של מספר גורמים על שיעור התחלואה ביישובים שונים בישראל, בהם יישובים חרדיים שסבלו משיעורי הדבקה גבוהים ביחס לאוכלוסייה הכללית. מן הניתוח עולה כי אכן יש מגוון של גורמים המעלים את הסיכון להידבקות מנגיפים מידבקים, אולם כאשר מבודדים את המשתנים התרבותיים והכלכליים, צפיפות האוכלוסין אכן מתגלה כגורם חשוב המסביר פערים בשיעורי הדבקה בין היישובים השונים.

כדי לענות על שאלת המחקר: באיזו מידה קיים קשר בין צפיפות אוכלוסין לבין הסיכון לחלות ב-COVID-19 בישראל, ריכזנו נתונים זמינים ממשרד הבריאות והלמ"ס. נבחרו להשתתף במחקר יישובים של 5,000 תושבים ומעלה, שמשרד הבריאות פרסם את נתוני התחלואה בהם. המשתנה התלוי הוגדר כסך חולי הקורונה ל-100,000 תושבים נכון לתאריך 20.4.20^[5]. כלומר, במקרה דנן לא מדדנו את התפתחות המחלה בציבור באמצעות מקרים של אשפוז במצב קשה, מספר מונשמים או מקרי מוות – אלא את מספר ההדבקות בלבד. הסיבה לכך קשורה לתמהיל הגילים השונה ביישובים שונים בארץ, כך שמספרים אלה אינם מצביעים על הימצאותה של המחלה. המשתנים הבלתי תלויים שנבחרו הם: דירוג חברתי-כלכלי^[2], צפיפות האוכלוסין ביישוב (מספר תושבים לקמ"ר)^[3], שיעור הנבדקים מתוך אוכלוסיית היישוב^[5] וכן משתני דמה לתיאור סוג היישוב: יישוב חרדי, יישוב יהודי ללא ערבים, יישוב עם יהודים וערבים ויישוב ערבי^[4]. שיטות המחקר המלאות מפורטות בנספח 1.



רחוב רבי עקיבא בבני ברק בתקופת סגר הקורונה. "יש מגוון של גורמים המעלים את הסיכון להידבקות מגניפים מידבקים, אולם כאשר מבודדים את המשתנים התרבותיים והכלכליים, צפיפות האוכלוסין מתגלה כגורם חשוב המסביר פערים בשיעורי הדבקה בין היישובים השונים" | צילום: שרה קוגן

ממצאים

גרסיה ליניארית שערכנו לבדיקת המשתנים המשפיעים על סיכויי תחלואה ב-COVID-19 (טבלה 1) ($Adjusted R^2=0.50$) מצאה כי צפיפות האוכלוסייה משפיעה באופן מובהק – ככל שעולה צפיפות האוכלוסייה לקמ"ר, כך עולים סיכויי התחלואה ב-COVID-19 ביישוב ($P<0.001$, $Beta=66.23$). גם לדירוג הכלכלי חברתי של היישוב השפעה מובהקת על שיעורי התחלואה – ככל שהיישוב בעל דירוג חברתי-כלכלי גבוה יותר, כך קטנים סיכויי התחלואה ב-COVID-19 ($P=0.03$, $Beta=-19.74$). כמו כן, לשיעור הנבדקים מאוכלוסיית היישוב גם כן השפעה על סיכויי התחלואה ($P<0.001$, $Beta=75.49$). ממצא זה אינו מפתיע בהתחשב בכך שהבדיקות לא נערכו באופן מדגמי, אלא על פי חשד לתחלואה.

בטבלה 2 הוספנו למשוואת הרגרסיה את משתני הדמה של סוג היישוב. נמצא ($Adjusted R^2=0.73$) כי לתושבי יישובים חרדיים באופן מובהק יותר סיכוי לחלות ב-COVID-19 מלתושבי יישובים יהודיים (ללא ערבים) ($P<0.001$, $Beta=358.30$), בעוד שלתושבים ביישובים ערביים סיכוי נמוך באופן מובהק לחלות ב-COVID-19 מלתושבי יישובים יהודיים (ללא ערבים) ($P=0.01$, $Beta=-58.20$). צפיפות האוכלוסייה אף היא נמצאה משפיעה על סיכויי התחלואה ($P<0.001$, $Beta=22.46$), ואילו המדד החברתי-כלכלי אינו משפיע ($P=0.19$, $Beta=-12.47$). זאת ככל הנראה בשל פערי התחלואה בתאריך דליית הנתונים (20.4.2020) בין יישובים חרדיים וערביים, המאופיינים שניהם במדד-חברתי כלכלי נמוך.

לנוכח מובהקות התחלואה ביישובים חרדיים, התבקש לבדוק אם קיים קשר ביישובים אלה בין צפיפות האוכלוסין ביישוב לבין הסיכוי לחלות ב-COVID-19. שאלה זאת מעניינת במיוחד, שכן ליישובים מאפיינים תרבותיים וכלכליים-חברתיים דומים. נוסף על כך, היות שהקהילות החרדיות החלו להישמע להנחיות הבידוד הממשלתיות בשלב מאוחר ביחס לאוכלוסייה הכללית^[7], סביר להניח כי הנגיף הופץ באופן נרחב בהשוואה ליישובים שאינם מוגדרים כחרדיים.

טבלה 3 מציגה רגרסיה ליניארית על היישובים החרדיים (ביתר עילית, בני ברק, כפר חב"ד, מודיעין עילית, רכסים, קריית יערים, אלעד ובית שמש) ($Adjusted R^2=0.50$). נמצא קשר חיובי מובהק בין צפיפות האוכלוסין ביישוב לבין התחלואה ($P=0.03$, $Beta=110.81$).

גם מבחן פירסון על יישובים אלה חשף קשר חיובי מובהק וחזק בין צפיפות האוכלוסייה לסיכויי התחלואה ב-COVID-19 ($r=0.80$, $P=0.01$). ניתן לראות קשר זה באיור 1, המתאר את התחלואה ל-100,000 תושבים ביישובים חרדיים בעלי צפיפות שונה. עם כל עלייה בצפיפות של 1,000 תושבים לקמ"ר אנו רואים עלייה של 31 חולים ל-100,000 תושבים.

טבלה 1. הקשר בין חלואה ב-COVID-19 (ל-100,000 חושבים) וצפיפות היישוב, מדד כלכלי-חברתי ושיעור הנבדקים מחוץ אוכלוסיית היישוב

ערך מובהקות (sig.)	ערכי t	אומדן מחוקנן (beta)	טעות תקן של אומדן בלתי מחוקנן (std. error)	אומדן בלתי מחוקנן (B)	
0.00	12.38		8.83	109.30	(קבוע)
0.00	7.65	0.43	8.66	66.23	צפיפות אוכלוסייה (מספר אנשים לקמ"ר)
0.03	-2.23	-0.13	8.85	-19.74	מדד חברתי-כלכלי
0.00	8.66	0.49	8.71	75.49	שיעור הנבדקים מאוכלוסיית היישוב

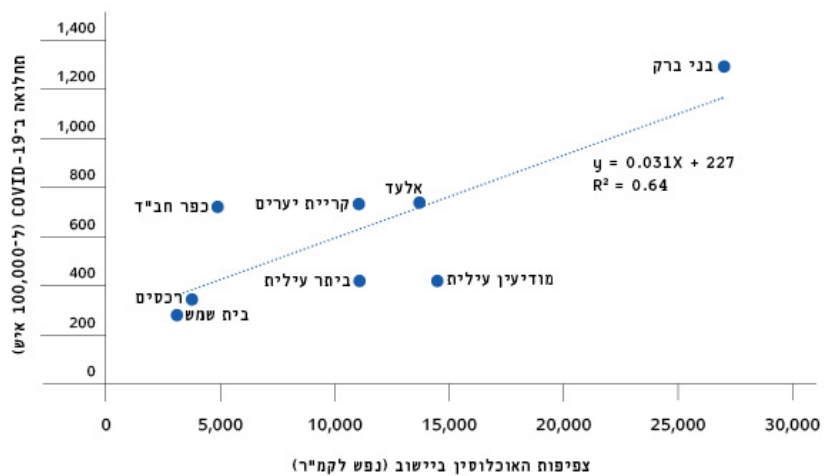
טבלה 2. הקשר בין חלואה ב-COVID-19 (ל-100,000 חושבים) לבין צפיפות האוכלוסין ביישוב, מדד כלכלי-חברתי, שיעור הנבדקים מחוץ אוכלוסיית היישוב וסוג היישוב

ערך מובהקות (sig.)	ערכי t	אומדן מחוקנן (beta)	טעות תקן של אומדן בלתי מחוקנן (std. error)	אומדן בלתי מחוקנן (B)	
0.00	8.06		13.87	111.84	(קבוע)
0.00	2.95	0.15	7.61	22.46	צפיפות אוכלוסייה (מספר אנשים לקמ"ר)
0.00	11.72	0.50	6.50	76.14	שיעור הנבדקים מאוכלוסיית היישוב
0.00	9.20	0.50	38.94	358.30	יישוב חרדי
0.01	-2.63	-0.18	22.14	-58.20	יישוב ערבי
0.63	0.48	0.02	18.22	8.73	יישוב עם יהודים וערבים
0.19	-1.31	-0.08	9.54	-12.47	מדד חברתי-כלכלי

טבלה 3. הקשר בין חלואה ב-COVID-19 (ל-100,000 חושבים) לבין צפיפות היישוב ומדד כלכלי-חברתי ביישובים חרדיים

ערך מובהקות (sig.)	ערכי t	אומדן מחוקנן (beta)	טעות תקן של אומדן בלתי מחוקנן (std. error)	אומדן בלתי מחוקנן (B)	
0.55	0.64		745.61	479.63	(קבוע)
0.03	2.96	0.80	37.42	110.81	צפיפות אוכלוסייה (מספר אנשים לקמ"ר)
0.86	0.19	0.05	605.07	116.06	מדד חברתי-כלכלי

איור 1. הקשר בין צפיפות האוכלוסין ביישוב (מספר נפשות לקמ"ר) לממוצע מספר חולי COVID-19 (ל-100,000 חושבים) ביישובים חרדיים ב-20.4.2020



דיון

במחקר זה הצגנו נתונים אמפיריים בדבר הקשר בין מגפת הקורונה לצפיפות האוכלוסין ביישוב המגורים. מן הניתוח של נתוני הלמ"ס ומשרד הבריאות עולה מסקנה ברורה: צפיפות אוכלוסין היא גורם משמעותי בדינמיקה של הדבקה מנגיף COVID-19 בישראל. התחלואה הגבוהה יחסית בקהילות החרדיות קשורה ככל הנראה לעיכוב בציות להנחיות הקשורות לסגר, למה שמכונה הסתגרות במקום

(shelter in place)), ולצעדים אחרים שנדרשו כדי להנמיך את קצב ההדבקה (כגון שמירת מרחק, חבישת מסכות ושטיפת ידיים תכופה). עם זאת, התבוננות בנתוני היישובים החרדיים עצמם, המתאפיינים בדפוסים תרבותיים, כלכליים-חברתיים דומים – מלמדת כי צפיפות האוכלוסין ביישוב מוסיפה גורם סיכון נוסף להידבקות.

יצוין כי מחקר זה מציג באופן כללי את חלקה של הצפיפות בהסבר הבדלי התחלואה בין יישובים שונים, אולם אנו ערים לכך שישנם משתנים נוספים המשפיעים על תחלואה ב-COVID-19. לכן, ולנוכח המגבלות הטבעיות של מחקר מסוג זה שבוצע במהלך המגפה, מחקר עתידי יכול לבחון את הקשר שבין צפיפות האוכלוסייה לשטח בנוי או לפי מאפייני שכונה ואזור סטטיסטי, לבין הדבקה ב-COVID-19, כמו גם להכניס משתנים בלתי תלויים נוספים, דוגמת צפיפות בניין המגורים וכדומה.

נשאלת השאלה: אם צפיפות היא גורם כה חשוב בדינמיקה של הידבקות, מדוע קצב ההדבקה במדינות צפופות מסוימות במהלך מגפת הקורונה בינתיים איננו גבוה? מדינות כגון מלטה או טאיוואן צפופות אפילו יותר מישראל, אך מספר החולים למיליון תושבים המדווח בהן נמוך בהרבה. הסברים רבים קיימים לפשר ההבדלים הבולטים בין מדינות שונות^[10]. ברור כי ערכה של השוואה תלוי לגמרי באיכות הנתונים ובמספר הבדיקות המתבצעות בפועל.

יש להניח כי במדינות רבות שכיחות COVID-19 בפועל גבוהה בהרבה מן השיעור הרשמי המדווח. כמו כן, ייתכן כי 'מדינות' אינן יחידה מדויקת להשוואות לנוכח ההבדלים העצומים הקיימים בתוכן מבחינת אורח חיים, תרבות וצפיפות מגורים וכדומה. זאת ועוד, מהירות התגובה בקביעת נוהלי "ריחוק חברתי", סגירת הגבולות וצעדי הסגר היו שונים עד מאוד, אפילו במדינות בעלי מאפיינים דומים. צעדים אלה, המפחיתים בפועל את הצפיפות במרחב הציבורי, הם בעלי השפעה מכרעת בדבר הפצתן של מחלות מידבקות. היות שכך, מדינת ישראל היא דווקא שדה מחקר טוב יחסית לאור קיומן של מערכת אסדרה אחידה, מערכת בריאות משולבת, נטייה מרשימה לאיסוף נתונים ושקיפות גבוהה בהפצתם.

מגפת הקורונה מעלה אפוא שאלות באשר ליכולת של ישראל להתמודד עם המגפה הבאה במציאות צפופה עוד יותר. למרבה המזל, בהתמודדות עם COVID-19 שיעור התמותה בישראל היה נמוך בקנה מידה בין-לאומי, בין היתר הודות לאחוז הגבוה של ילדים באוכלוסייה, התורם לגיל הממוצע הנמוך בארץ. עם זאת, ניתן להניח כי במגפה אחרת שאינה פוסחת על ילדים, או כזו עם R_0 גבוה יותר, יידרשו צעדים משקיים נוקשים ומומושכים מאלה שננקטו במגפה זו כדי להבטיח את בריאות הציבור ואת תפקודם של בתי החולים בעקבות עומסי חולים. המחיר של סחר החליפין בין בריאות הציבור וכלכלה עלול להיות גבוה עוד יותר, ולעלות עוד ככל שקצב המגפות המידבקות יעלה.

בין הלקחים הרבים שצריך להפיק מההתמודדות עם מגפת הקורונה בישראל נמצאות ההשלכות על אסטרטגיית הדיור אם ישראל תמשיך במגמת הילודה הגבוהה, ותהפוך למדינה הצפופה במערב. האידיאולוגיה המקובלת בתכנון סביבתי ובקרב חסידי העירוניות היא לעודד אנשים להתגורר בערים צפופות לאור היתרונות הסביבתיים הרבים, בין היתר בשל הפחתת הלחצים על משאבי כדור הארץ והשטחים הפתוחים. דומה שיש בתפיסה זו היגיון רב. עם זאת, אחת ההשלכות של הממצאים במחקר זה היא שבכדור הארץ שהולך ומצטופף, ייתכן שאין זה מספיק שבני אדם ישנו את דפוס הדיור. הפחתת מספר האנשים החולקים את אותה סביבה עירונית כדי לצמצם את צפיפות האוכלוסין צריכה להיכלל כנושא שאפשר לדון בו במסגרת הפקת לקחי המגפה ויישומם בעולם ובישראל.

תודות

המחברים מבקשים להודות לפרופ' יואל שוורץ, מן החוג לאפידמיולוגיה באוניברסיטת הארוורד על הערותיו המועילות לגרסה מוקדמת של המאמר. הצעות מצוינות התקבלו במהלך הכנת המאמר מד"ר דורית קרת, ד"ר נורית כרמי, ד"ר דורית אדלר, שירה בוצ'קין, נח מוריס, רותם רוח, אליעד צעירי, מיטל פלג-מזרחי ומיקה טל. תודה נוספת לשופטים האנונימיים על המשוב המפורט ועל העצות המצוינות לשדרוג הניתוחים הסטטיסטיים.

נספח

נספח 1

מקורות

1. טל א. 2017. והארץ מלאה: התמודדות עם פיצוץ אוכלוסין בישראל. בני ברק: הקיבוץ המאוחד.

2. הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2019א. רשויות מקומיות, לפי סדר אלף-ביתי: ערך מדד חברתי-כלכלי 2015, דירוג ואשכול, והמשתנים המשמשים לחישוב המדד.
3. הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2019ב. לוח 2.24: אוכלוסייה וצפיפות לקמ"ר (1) ביישובים שהיו בהם 5,000 תושבים ויותר ב-31.12.2018.
4. הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2019ג. אוכלוסייה ביישובים 2018: לא כולל מקומות (יישובים המונים מתחת ל-40 בוגרים), מוקדי תעסוקה, סמלים קיבוציים ושבטי בדווים.
5. משרד הבריאות – מנהל תכנון אסטרטגי וכללי. 2020. נתוני וירוס קורונה על פי יישוב ביישובים מעל 5,000 תושבים נכון ל-20/4/20 שעה 8:00: מספר נבדקים, חולים מאומתים ומחלימים.
6. רבינוביץ א. 2020. תחלואה בערים חרדיות: שלישי מתושבי בני ברק שנבדקו אובחנו כחולים. הארץ. 31 במרץ.
7. 12N. התפרצות הקורונה והמגזר החרדי: ההנחיות הסותרות, ההפרות והאזהרות. 2020. 1 באפריל.
8. Anderson RM and May RM. 1991. Infectious diseases of humans: Dynamics and control. Oxford (UK): Oxford University Press
9. Anderson RM and May RM. 1981. The population dynamics of microparasites and their invertebrate hosts. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences* **291**(1054): 451-524
10. Beech H, Rubin AJ, Kurmanaev A, and MacLean R. 2020. The Covid-19 riddle: Why does the virus wallop some places and spare others? *New York Times*. May 3
11. Dunn RR, Davies TJ, Harris NC, and Gavin MC. 2010. Global drivers of human pathogen richness and prevalence. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **277**(1694): 2587-2595
12. Frazier PA, Tix AP, and Barron KE. 2004. Testing moderator and mediator effects in counseling psychology research. *Journal of Counseling Psychology* **51**(1): 115
13. Gholipour B. 2013. What 11 billion people mean for disease outbreaks. *Scientific American*. November 26
14. Jones K, Patel N, Levy M, et al. 2008. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* **451**: 990-993
15. Larsen RJ and Marx ML. 2005. An introduction to mathematical statistics. Prentice Hall
16. Li Q, Guan X, Wu P, et al. 2020. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel Coronavirus-infected pneumonia. *New England Journal of Medicine* **382**: 1199-1207
17. McGuerra FM, Bolotin S, Lim G, et al. 2017. The basic reproduction number R_0 of Measles: A systematic review. *The Lancet, Infectious Diseases* **17**(12): E420-E428
18. Neiderud CJ. 2015. How urbanization affects the epidemiology of emerging infectious diseases. *Infection, Ecology and Epidemiology* **5**(1): 1-9
19. Rubin D and Offit PA. 2020. We know crowding affects the spread. It may affect the death rate. *New York Times*. April 27
20. Ross R. 1911. The prevention of malaria, 2nd ed. London (UK): John Murray
21. Tarwater PM. 1999. The effects of population density on the spread of disease. *Texas Medical Center Dissertations (via ProQuest)* AAI9929469. <https://digitalcommons.library.tmc.edu/dissertations/AAI9929469>
22. Vesoulis A. 2020. Coronavirus may disproportionately hurt the poor – and that's bad for everyone. *Time*. March 11