

צפי לעונתיות באופן ההתפשטות של נגיף הקורונה (SARS-Cov-2)
והתחלואה ב-COVID-19

Academia.IL

Collective Impact

COVID-19

[Academia IL Collective Impact: Covid19](#) היא תשתית אקדמית ייחודית המשותפת לכלל אוניברסיטאות המחקר בישראל. מטרתה להעניק לקובעי המדיניות תשתית מחקרית אמינה המאפשרת קבלת החלטות מושכלות לאור ערכים של שקיפות ואחריות ציבורית.

במסגרת זו, קבוצת רב תחומיות של חוקרים מפיקות ניירות עמדה בתחומים העוסקים בהיבטים של מגפת הקורונה ושל השלכותיה על החברה ועל הכלכלה בהווה ובעתיד.

המיזם כולל למעלה מאלף חברות וחברי סגל בישראל. הוא עובד בשיתוף פעולה עם גופים ציבוריים ועם העומדים בראשם ופועל תחת המטרייה של ועד ראשי האוניברסיטאות והאקדמיה הצעירה הישראלית.

Academia IL Collective Impact: Covid19 - ידע בשירות החברה

מסמך מעודכן לתאריך 5.7.2020

מסמך זה הוא פרי עבודתם של צוות מומחים בין-תחומי שהתאגד במסגרת המיזם

Academia.il Collective Impact COVID-19

ניר סתיו, מנהל השירות המטאורולוגי

פרופ' יורם אפשטיין, פיזיולוג סביבתי, מכון הלר למחקר רפואי, המרכז הרפואי שיבא, תל השומר; ביה"ס לבריאות הציבור, הפקולטה לרפואה, אוניברסיטת תל-אביב

ד"ר סיגלית ברקוביץ, חוקרת מטאורולוגיה וקלימטולוגיה, המכון הביולוגי

פרופ' אליצור בר-אשר סיגל, ראש המרכז לשפה, לוגיקה וקוגניציה, האוניברסיטה העברית בירושלים, חבר בוועדת ההיגוי של המיזם: Academia.il Collective Impact COVID-19

פרופ' מנפרד גרין, בריאות הציבור, מנהל רפואי ורפואה תעסוקתית, ראש בית הספר לבריאות הציבור, אוניברסיטת חיפה

פרופ' מיכה הופ, אפידמיולוג, מחלקה לגיאוגרפיה, אוניברסיטת תל-אביב

רחלי ורשבסקי, מנהלת המיזם: Academia.il Collective Impact COVID-19

ד"ר נועם חלפון, אגף אקלים, השירות המטאורולוגי

יצחק יוסף, מנהל תחום קלימטולוגיה סטטיסטית, השירות המטאורולוגי

ד"ר יואב לוי, מנהל אגף מחקר ופיתוח מערכות חיזוי, השירות המטאורולוגי

פרופ' הדס סערוני, קלימטולוגית, החוג לגיאוגרפיה וסביבת האדם, אוניברסיטת תל-אביב

אבנר פורשפן, מנהל אגף אקלים, השירות המטאורולוגי

ד"ר עמוס פורת, מנהל תחום שירותים אקלימיים, השירות המטאורולוגי

פרופ' שלומית פז, קלימטולוגית, ראש החוג לגיאוגרפיה ולימודי סביבה, אוניברסיטת חיפה

פרופ' מיכל פלדמן, מדעי המחשב, אוניברסיטת תל-אביב, חברה בוועדת ההיגוי של המיזם - Academia IL Collective Impact

פרופ' מיכאל פרינגר, ביו סטטיסטיקה, המחלקה לבריאות הציבור, אוניברסיטת בן גוריון

פרופ' חוה פרץ, אפידמיולוג וסטטיסטיקאית, החוג לאפידמיולוגיה, ביה"ס לבריאות הציבור, אוניברסיטת תל-אביב.

פרופ' ליטל קינן בוקר, מנהלת המרכז הלאומי לבקרת מחלות, משרד הבריאות

נעמה רותם, ראש תחום סטטיסטיקה של בריאות ותנועה, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה

פרופ' דוריטה רוסטקיי-אדלשטיין, המכון הביולוגי, ופרופ' עמית האוניברסיטה העברית בירושלים.

פרופ' דוד שטיינברג, סטטיסטיקה, אוניברסיטת תל אביב

תקציר המסמך ומסקנות ראשוניות

האם אפשר לצפות לעונתיות בתחלואה מנגיף הקורונה בישראל? מה ניתן ללמוד על התנהגות הנגיף (SARS-Cov-2) ועל התחלואה ב-COVID-19 מתוך השוואה למחלות נגיפתיות אחרות הפוגעות בדרכי הנשימה ומתוך ניתוח של התפשטות המגפה הנוכחית בעולם לאור נתוני אקלים?

הבנת העונתיות של זיהומים נשימתיים חשובה לבריאות הציבור לשם מיתון נטל התחלואה והתמותה. בימי שגרה ההבנה הזאת מאפשרת להאריך את הזמן העומד לייצור חיסונים. היא מסייעת בבחירת העיתוי המתאים לפעול לשיפור עמידות המארח בעזרת התערבות תרופתית או בעזרת אמצעים אחרים. כמו כן אפשר להבין מה העיתוי הנכון ליצירת שינויים בסביבה המביאים להפחתת שרידות הנגיף ועוד.

לאור חשיבות הנושא, צוות רב תחומי, הכולל חוקרים מהאקדמיה ומהמיגזר הציבורי, פעל בחודשיים האחרונים במסגרת Academia IL Collective Impact כדי לגבש תובנות שיסייעו לענות על השאלות האלה. בצוות פעלו יחד אפידימולוגים, מומחים לבריאות הציבור, סטטיסטיקאים, חוקרי אקלים, עובדי השירות הציבורי בלמ"ס, חוקרים ממשד הבריאות, מהמכון הביולוגי ומהשירות המטאורולוגי לצד מגוון חוקרים מצוות ההיגוי של המיזם. הצוות גיבש מתודולוגיה רב תחומית שהתמודדה עם הנושא בכמה תהליכים משלימים.

- יצירת בסיס מידע רלוונטי ומוסכם על הנגיף ודרכי התפשטותו, בדגש על ההשפעה של תנאי אקלים.
- מבט השוואתי אפידימולוגי – ניתוח ההגירה בעולם של מחלות נגיפתיות אחרות הפוגעות בדרכי הנשימה בשנים האחרונות כפי שמופיע בספרות המחקרית.
- שימוש בנתונים סטטיסטיים על אודות התחלואה הקשה בארץ ב-10 שנים האחרונות של מחלות נגיפתיות אחרות עם מאפיינים דומים.
- ניתוח של התפשטות מחלת ה-covid-19 בעולם לפי נתוני תחלואה ואזורי אקלים: על בסיס מידע מטאורולוגי ונתוני תחלואה שנאספו ממקורות שונים.
- סקירת הספרות על התפשטות המחלה עד כה.

המסמך שלפנינו נועד, אפוא, להעריך האם אפשר לצפות לעונתיות בתחלואה מנגיף הקורונה (SARS-Cov-2). במילים אחרות, האם יש תנאי מזג אוויר שקיים בהם סיכוי גבוה יותר להפצת הנגיף ולתחלואה ב-COVID-19, והאם יש תנאי אטמוספירה מסוימים שעשויים להחליש את התפשטותו ואת חומרת המחלות הבאות בעקבותיו. וכן האם תנאי מזג האוויר בישראל בחודשים הקרובים עשויים להשפיע על התפשטות התחלואה מנגיף הקורונה. לאור זאת, המסמך מרכז מידע על השאלות הללו:

- 1) כיצד מועבר הנגיף וכיצד תנאי מזג האוויר עשויים להשפיע על התפשטותו?
- 2) מהי ההתנהגות העונתית של מחלות נגיפיות אחרות הקרובות לקורונה הפוגעות בדרכי הנשימה?
- 3) באיזו מידה תנאי מזג האוויר בעולם ייתכן שהשפיעו על האופן שבו נגיף הקורונה התפשט?
- 4) באיזו מידה תנאי מזג האוויר בארץ בעונות השונות עשויים להיות קשורים להתפשטות מהירה או איטית של הנגיף?

המסמך מתבסס על סוגי המידע האלה:

- 1) מידע ישיר על הנגיף ועל התחלואה: מחקרים על נגיף הקורונה עצמו ועל התפשטות המגפה הנוכחית בעולם.
- 2) מידע אנאלוגי על תחלואה: מחקרים על התפשטות של תחלואה מנגיפים אחרים בעלי תסמינים נשימתיים.
- 3) מידע מטאורולוגי: נתוני אקלים בישראל אל מול תנאי האטמוספירה שבהם מתפשט הנגיף.

עם ניסוח השאלות ובמהלך תהליך איסוף הנתונים וגיבוש התובנות התבהרו גם גבולות המחקר, לצד המגבלות של המחקר לבסס תחזית מבוססת וחד משמעית. בנקודת הזמן הנוכחית המידע המדעי מוגבל ומאפשר רק להצביע על סיכונים אפשריים במצבי מזג אוויר שונים, אך הוא אינו מספק תשובות מוחלטות לשאלות שפורטו לעיל, בשל מספר סיבות:

- הגורמים האחראים להתפשטות של המגפה הם רבים. הם תלויים בדרכי ההתמודדות של המדינות השונות, והיחסים בין הגורמים האלה מורכבים מאוד. למדע אין תשובות מוחלטות אפילו על התפשטות של מגפות הנחקרות כבר עשרות שנים.
- אנחנו מצויים עדיין בשלבים הראשונים של מגפת הקורונה.
 - עוד לא היה סבב שלם של עונות.
 - המידע הנאסף בעולם על אודות מקרי ההדבקה אינו אחיד (רמת מהימנות הנתונים מהארצות אינה אחידה, ואף במדינות אמינות קיימים הבדלים בשיטות של איסוף הנתונים והצגתם).
 - חוקרים ממהירים להציג מחקרים ראשוניים; אין אפשרות לתקפם ולכן אמינותם עלולה להיות נמוכה.

לאור העובדה שהצוות שגובש פועל באופן בלתי תלוי ומחויב לשיטות המדעיות המתבססות על ניתוח של נתונים אמינים, המסמך הזה מציין גם ספקות וסימני שאלה, והוא מצביע על שאלות שבשלב הזה עדיין אין עליהן תשובות חד-משמעית, וממילא הצוות מתכוון להמשיך ולחקור אותן.

מסקנות ראשוניות:

על קובעי המדיניות להתכונן ברצינות לאפשרות שקיים קשר בין עונתיות לבין התפרצות מגפת הקורונה והתפשטותה. יש סיבות טובות לחשוש מהתפרצות נרחבת ומשמעותית של המגפה בישראל בחודשי הסתיו והחורף.

לאור העבודה שהתמותה בישראל עולה באופן ניכר בכל שנה במשך חודשי חורף, קיים חשש רציני מההשלכות של עלייה משמעותית בתמותה בחודשי החורף בגלל הקורונה.

לאור הדברים הללו חשוב שמדינת ישראל תיערך בהתאם, בין השאר בתחומים האלה:

- הכנת מערכת הבריאות לאפשרות של התמודדות עם מגפה חמורה יותר מזו שחווינו בחודשים הראשונים של המגפה העולמית.
- היערכות מראש להשלכות הכלכליות שתהיינה אם תתפרץ מגפה נוספת בסדר גודל משמעותי בחודש החורף.
- בנייה של מערך למנוע הדבקה בחודשי הסתיו והחורף, הואיל וייתכן שגם בהם התחלואה תהיה קשה יותר. לפיכך בחודשים אלה נידרש להקפיד עוד יותר על אמצעי הגנה.
- דאגה לאוכלוסיות בסיכון מוגבר, הואיל ואנחנו עשויים להתמודד בחורף עם המשך תחלואה, ואף עם ממדי תחלואה גבוהים יותר.

בעניין זה ראוי לציין שהחודשים העיקריים של התחלואה החורפית מנגיפים אחרים בעלי תסמינים נשימתיים הם בדרך כלל מדצמבר עד פברואר, אך לעיתים התחלואה המוגברת מתחילה קודם לכן.

לצד זה, למותר כבר לציין שתנאי האקלים בקיץ לא יעצרו את ההתפשטות של הנגיף והמחלה הכרוכה בו.

סיכום התובנות המרכזיות העולות מהמחקר המפורט להלן:

נכון להבחין בין השלב האנדמי לשלב הפנדמי. השלב האנדמי הוא השלב שמחלה נוכחת באזור מוגדר או בקרב אוכלוסייה מסוימת. השלב הפנדמי הוא השלב שבו המחלה מפושטת באופן גלובלי.

מתוך השוואה למחלות נגיפתיות אחרות הפוגעות בדרכי הנשימה אפשר להצביע על כך שבשלב האנדמי קיימת עונתיות הגורמת להופעת התחלואה. בניתוח סדרות עתיות נמצא שעיתוי שיא התחלואה בשפעת קשור בקו הרוחב של המיקום הגאוגרפי, בעיקר בחצי הכדור הצפוני. ככל שעולים בקו הרוחב שיא התחלואה מופיע מאוחר יותר.

בישראל עונתיות השפעת מושפעת בעיקר מתנאי הלחות המוחלטת (הקשורה בטמפרטורה ובלחות היחסית) המווסתים את יכולת ההדבקה של הנגיף, ולכן בחורף התחלואה גבוהה. על פי נתוני המרכז

הלאומי לבקרת מחלות, ניתן לראות כי שיא התחלואה בשפעת הוא בחודשי החורף ינואר-פברואר, וכי עיתוי השיא וגובהו שונים מעט בכל שנה. כמו כן, לא נמצא הבדל בדפוס העונתיות באותה שנה בין ערים שונות.

בשלב הפנדמי, לעומת זאת, אפשר לצפות לחוסר רגישות עד רגישות מתונה לגורמי האקלים. הגורם הדומיננטי בשלבי התפשטות המחלה ומועד חזרת התחלואה הוא מידת החיסון של התושבים. **ככלל, החוקרים מציינים שגורמי האקלים הם רק חלק קטן ממספר רב של משתנים הגורמים לתחלואה, וששינוי הטמפרטורה והלחות אינו מבטל את התחלואה אלא משנה את הסיכוי לתחלואה.**

על פי הנתונים בעת, כשאנחנו עדיין בעיצומו של השלב הפנדמי, האופן שבו התפשטה המגפה עד כה תואם לאפשרות שהסיכוי להתפרצות של מגפה גבוה יותר באקלים קר, אך לא ניתן לקבוע בוודאות שזה אכן גורם סיכון משמעותי.

עם זאת, על פי סקירת הספרות וההשוואה הבינלאומית של התפשטות הנגיף עד כה, לא ניתן לזהות הבדל מרחבי בדפוסי ההתפשטות של המגיפה ואף לא ניתן לזהות דפוס עונתי ברור. האופן שבו התפשטה המגפה בחודשים האחרונים, לצד ניסויי מעבדה על שרידות הנגיף בטמפרטורות גבוהות והתפשטות המגפה במדינות חמות בחודשים האחרונים מאפשרים לקבוע בוודאות גבוהה שמזג אוויר חם אינו מונע התפשטות של המגיפה. רצוי יהיה לשוב ולבחון את הנושא בחודש ספטמבר, לאחר תקופת חורף משמעותית בחצי הדרומי של כדור הארץ. כמו כן, למרות שעליה בקרינה העל-סגולה בתקופת הקיץ מקטינה את שרידות הנגיף על משטחים חשופים לשמש, ב-37 מעלות צלזיוס הנגיף עשוי לשרוד יום שלם, כך שאפילו מזג אוויר חם במיוחד אינו מונע הדבקה.

לפיכך, כל עוד אין חיסון, נכון גם בתקופת הקיץ לנקוט באמצעי מגן לצמצום התפשטות התחלואה. זיהום נגיפי בדרכי הנשימה יכול להתפשט באחת משלוש הדרכים האלה: העברה ממגע (contact) – מגע במשטחים שהנגיף נמצא עליהם. העברה טיפתית (droplets) – טיפות ממערכת הנשימה הנושאות את הנגיף מועברות דרך שיעול, עיטוש או דיבור ובאות במגע עם רירית חשופה כדוגמת עיניים, אף ופה; העברה מרסס (airborne) – כניסה של ארסס הנושא את הנגיף לדרכי הנשימה. **על פי המידע בעת, הקורונה מועברת בעיקר בהדבקה טיפתית, ולכן הגורם העיקרי ביעילות ההדבקה הוא הצטופפות חברתית ואמצעי הגנה משמעותי הוא מסכות הפנים.**

השערות לגבי המשך התפשטות ותחלואה בישראל המתבססות על המסקנות הראשוניות מהמידע שנאסף עד כה :

1. בהנחה שרמת החיסון באוכלוסייה בחורף הקרוב תישאר נמוכה, ושהתלות בטמפרטורה ובלחות תתאים לתלות שנמצאה בשלב הפנדמי הראשוני, שנצפתה בחודש אפריל, אזי, בהתבסס על נתוני האקלים, בחודשי החורף קיים סיכוי גבוה יותר לתחלואה משמעותית.
2. למרות שתנאי האקלים בחורף קיצוניים יותר במקומות הגבוהים ובאזור צפון הנגב, ולכן אולי מסוכנים יותר לתחלואה, סביר להניח כי כל עוד לא תהיה הגבלת תנועה בין הישובים, התפרצות מחודשת בתקופת החורף תתרחש בו זמנית בכל האזורים.
3. גם בקיץ צריך להמשיך ולהקפיד על ריחוק חברתי ועל אמצעי מיגון.

א. מנגנונים אפשריים להשפעת תנאי מזג האוויר על התפשטות הקורונה

דרכי ההתפשטות של הנגיף

זיהום נגיפי בדרכי הנשימה יכול להתפשט באחת משלוש הדרכים האלה (75):

- 1) העברה ממגע (contact) – מגע במשטחים שהנגיף נמצא עליהם.
- 2) העברה טיפתית (droplets) – טיפות ממערכת הנשימה הנושאות את הנגיף מועברות דרך שיעול, עיטוש או דיבור ובאות במגע עם רירית חשופה כדוגמת עיניים, אף ופה.
- 3) העברה מרסס (airborne) – כניסה של ארסס¹ הנושא את הנגיף לדרכי הנשימה.

הנגיף עשוי לשרוד על גבי משטח או ברסס במשך זמן רב, על משטחים מסוימים שעות רבות ואפילו ימים רבים. אבל ריכוזו יורד במידה ניכרת (אקספוננציאלית) עם הזמן כיוון שהוא תלוי בתכונות המשטח ובתנאי הסביבה. כל עוד הנגיף מתקיים (ויאבילי) הוא גם גורם למחלות (ויירולנטי)(49), אף שככל הנראה צריך עומס ויראלי מסוים כדי להידבק.

חשוב לזכור: ככל הנראה הקורונה מועברת בעיקר בהדבקה טיפתית,² ולכן הגורם העיקרי ביעילות ההדבקה הוא הצטופפות חברתית ואמצעי הגנה משמעותי הוא מסכות הפנים.

שרידות הנגיף בתנאי מזג אוויר שונים

באופן כללי שרידות של נגיף תלויה בגורמים המבניים של המעטפת שלו ובגורמי הסביבה המשפיעים על טיפת הנוזל הנושא את הנגיף. הבסיס המבני לעמידות הנגיף הוא בעל חשיבות מיוחדת מכיוון שנגיפים מגיבים באופן שונה לגורמי סביבה כמו טמפרטורה ולחות.³ טמפרטורה ולחות משפיעות על זמינות הנגיפים הואיל והם משנים את תכונות השומנים בממברנה ואת החלבונים הנמצאים על מעטפת הנגיף.

- הטמפרטורה והלחות משפיעות על תכונות המעטפת החיצונית של הנגיף ובכך משפיעות על שרידותו – אקלים קר ויבש (לחות מוחלטת נמוכה) תורם לשמירת המעטפת השומנית החיצונית של הנגיף לאורך זמן ומשמר את יכולת ההדבקה שלו (ויירולנטיות) ברסס. באקלים חם ולח (לחות מוחלטת גבוהה) נמנעת התייבשות מעטפת הנגיף (14, 28, 29).

¹ ארסס (אירוסול, Aerosol) הוא חלקיק זעיר (תת-מיקרוני) המרחף באוויר. טיפונות רסס קטנות ומזוהמות נפלטות בעת שיעול. הן מתאדות בחלל האוויר ועשויות להפוך לארסס המכיל את הנגיף ויכול לשהות בחלל החדר שעות רבות. אפשר להפחית הדבקה במגע בעזרת שימוש בכפפות ובחיתוי. הדבקה טיפתית ניתנת להפחתה בעזרת שימוש במסכות ושמירת מרחק. ואילו הדבקה באמצעות חלקיקים תת-מיקרוניים מרחפים קשה יותר לבלימה וטווח ההשפעה שלה גדול יותר.

² לגבי העברה באמצעות ארסס, אין תמימות דעים מדעית בנקודת זמן זו. מחד, ידוע כי נגיפים דומים ל SARS-Cov-2 מועברים בצורה זו, מאידך, עדיין לא נמצא "אקדח מעשן" המראה באופן מובהק כי הנגיף החדש מתפשט באופן אפקטיבי באמצעות מנגנון מסוג זה (75, 80, 81, 82).

³ מבחינים בין לחות מוחלטת (כמות אדי המים באוויר) לבין לחות יחסית (היחס בין כמות האדים שבאוויר לבין כמות האדים האפשרית בטמפרטורה זו במצב של רוויה).

- הלחות היחסית בסביבה משפיעה על ריכוז המומסים בטיפות הריר הנושאות את הנגיף. בלחות יחסית גבוהה (קרובה ל 100%~), ריכוז המומסים בטיפות הליחה היוצאת מדרכי הנשימה הוא פיזיולוגי ושרידות הנגיף, ככל הנראה, נשמרת. בלחות יחסית נמוכה יותר (מתחת ל- 50%~) נידוף הנוזל מהטיפה גורם לעליה בריכוז המומסים (בעיקר מלח) שעשוי לפגוע בנגיף. בתנאי לחות יחסית נמוכים (מתחת ל- 50%~) המלחים המומסים מתגבשים וכמעט כל המים בטיפה מתנדפים. לכן, ככל הנראה, שרידות הנגיף נשמרת עקב הריכוז הגבוה של חלבונים בטיפה (יש כאן מעין עקומת פעמון. בלחות גבוהה ובלחות נמוכה שרידות הנגיף נשמרת. בתנאי לחות בינוניים הוא יותר פגיע ולכן פחות מדבק).
- נגיפי החורף מתייצבים ב-20%-50% לחות יחסית, בעוד שנגיפי הקיץ מתייצבים בלחות יחסית גבוהה מ 80% (57).
- המדידות בתנאי מעבדה אינן קלות לביצוע ואינן חוזרות על עצמן בהכרח באותו האופן בתנאים אמיתיים ולכן יש צורך לאמת את פעילות הנגיף בתנאים אלה (58, 59).
- מדידות בתא אירוסולים מראות שהעלאת הטמפרטורה מקצרת את זמן החיים של נגיף הקורונה. הנגיף אינו שורד למעלה מיום בטמפרטורת אוויר של 37 מעלות צלזיוס. זמן הפעילות מתקצר ל-5 דקות ב-70 מעלות צלזיוס (59,49).
- קרינה על-סגולה (UV) מקטינה במהירות את זמן החיים של הנגיף מחוץ לגוף.

השפעת תנאי מזג האוויר על העברה ברסס (airborne)

- טיפות הליחה היוצאות מדרכי הנשימה נושאות את הנגיף והן גדולות יחסית. בבואן במגע עם הסביבה החיצונית הן מצטמצמות במהרה בהתאם ללחות.
- הלחות חשובה בהעברת המחלה משום השפעתה על גודל חלקיק הנשימה הנושא את הנגיף (60). ככל שהלחות גבוהה יותר, הטיפות הנפלטות מדרכי הנשימה מתנדפות לאט יותר, הן גדולות יותר ושוקעות מהר יותר.
- ללחות היחסית חשיבות גבוהה בהתפלגות גדלי טיפונות הרסס ובזמן הריחוף שלהם באוויר. נדרשות למעלה מ 100 שניות לטיפונת בקוטר 100 מקרון להתנדף בלחות יחסית גבוהה של 95%, בעוד שבלחות יחסית נמוכה, של 35%, הטיפונת מתנדפת תוך פחות מ- 2 שניות (26). כאשר יש התנדפות של הטיפה היא הופכת לרסס. לכן העברת הנגיף ברסס (airborne) עשויה להיות גדולה יותר בלחות נמוכה מאשר בלחות גבוהה. לעומת זאת, בלחות גבוהה דרכי ההפצה המרכזיות יהיו בהעברה במגע או בטיפות.⁴

מזג האוויר החיצוני ותנאי הסביבה בתוך מבנים

- הפעלת מערכות מיזוג (קירור או חימום) גורמת לכך שהלחות היחסית בתוך מבנה (indoors) אינה זהה ללחות היחסית השוררת בסביבה החיצונית. בפרט, בעונת החורף כאשר מופעל

⁴ העברת קורונה בארסס - ראו הע' 2.

חימום, הלחות היחסית בתוך מבנה נמוכה באופן ניכר מזו השוררת בחוץ.⁵ לעומת זאת, הלחות המוחלטת (כמות אדי המים בפועל באוויר) דומה לזו שבחוץ (61, 62). מערכות החימום והמיזוג דואגות לשמור את הטמפרטורה בתוך המבנה בטווח קבוע ונוח לאדם. לפיכך, **מחקרים מצביעים על כך שגורם הסביבה המשפיע על התפשטות נגיפים נשימתיים בתוך מבנה (indoors) הוא הלחות המוחלטת (76,77).**

- לחות מוחלטת נמוכה בסביבה החיצונית תגרום ללחות יחסית נמוכה בתוך המבנה המחומם, ולהיפך.
- החשיפה לטיפונות מושפעת מאופן ערבול האוויר במבנים: ספיקות ומבנה מערכת מיזוג האוויר. ערבוב מהיר וספיקה גבוהה יפזרו באופן יעיל את הטיפונות בחדר. ללא ערבוב מהיר עלול להתפתח מפל טמפרטורה אנכי אשר יצור שיכוב וכליאה של הטיפונות בשכבה (63).

השפעת תנאי מזג האוויר על הגוף המארח

במחלות נגיפתיות עונתיות, כגון השפעת, יש הסוברים שההתפרצות דווקא בתקופת החורף (ראו סעיף הבא) קשורה בגורמי אקלים המשפיעים על המערכת החיסונית:

- ירידה בחשיפה לקרינת UV בחורף, המתבטאת בירידה ברמת ויטמין D בגוף.
 - שינויים במחזור שעות אור-חושך המשפיעים על הפרשת הורמון המלטונין ועל מחזוריות היום (64, 65). ייתכן שאוכלוסיית הקשישים חשופה יותר לחלות בשפעת מאחר שהקשישים חשופים פחות לאור השמש ולכן רמת הויטמין D אצלם נמוכה. גורם נוסף הוא הירידה בפעילות בלוטת האצטרובל ובכמות הפרשה של המלטונין, המחלישה את המערכת החיסונית. תפקוד דרכי הנשימה מושפע באופן ניכר מהטמפרטורה ומהלחות. בעקבות כך משתנה יכולת הפעולה של הנגיפים.
- במצבים של לחות נמוכה יורדת יכולת ההתגוננות של דרכי הנשימה כתוצאה מהתייבשות הריריות. בנוסף, רדיוס החלקיקים הלחים הנפלט מפיו של האדם הנגוע קטן עם הירידה בלחות ולפיכך מעלה את הסיכוי להידבקות, מאחר שחלקיקים קטנים נישאים רחוק יותר הן במרחב הבין-אישי הן בדרכי הנשימה (26, 54).

מסקנות:

- אקלים קר ויבש תורם לשמירת המעטפת השומנית החיצונית של הנגיף לאורך זמן ולשימור יכולת ההדבקה שלו (וירולנטיות) ברסס.
- ירידה בלחות המוחלטת האטמוספרית גורמת ללחות יחסית נמוכה בתוך מבנים. היא מגדילה את הסיכוי להעברה ברסס ואת היכולת של הנגיף לחדור לעומק מערכת הנשימה.

⁵ הלחות היחסית היא היחס בין הלחות בפועל באוויר (=הלחות המוחלטת) לבין הלחות המוחלטת המירבית שהאוויר יכול לשאת בטמפרטורה הנתונה. ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר, הלחות המוחלטת המירבית גבוהה יותר ולפיכך חימום האוויר גורם ליחס בין הלחות בפועל לבין הלחות המירבית לקטון (=הלחות היחסית קטנה ככל שהחימום גדול יותר).

- ייתכן שבתקופת החורף המערכת החיסונית נחלשת ודרכי הנשימה פגיעים יותר. כנראה בשל כך התפרצויות של תחלואה בנגיפים נשימתיים נוטות להתרחש בתקופה זו.
- עלייה בקרינה העל-סגולה בתקופת הקיץ מקטינה את שרידות הנגיף על משטחים חשופים לשמש.
- הנגיף עשוי לשרוד יום שלם ב 37 מעלות צלזיוס, כך שאפילו מזג אוויר חם במיוחד אינו מונע לחלוטין הדבקה.

ב. עונתיות של וירוסים נשימתיים

נגיף הקורונה (SARS-Cov-2) שגרם לפנדמיה האחרונה משתייך למשפחת נגיפים המכונה קורונהוירידיאה, שהם נגיפי RNA. שישה נגיפים נוספים (בשם הכולל HCoV) הקשורים במחלות ריאה מוכרים לנו מהמשפחה הזאת של הנגיפים. נגיף הקורונה עצמו הוא חדש, והידע עליו עודנו מצומצם ולוקה בחסר. לאור זאת, מרבית המידע על שרידות הנגיף ועל מנגנון ההתפשטות שלו מקורו בהשלכה ממידע על תחלואה מנגיפים אחרים ממשפחת ה-HCoV ועל תחלואה נגיפית נשימתית אחרת, ובעיקר מהידוע לנו על אודות נגיפי השפעת (המשתייכים למשפחת נגיפים אחרת אבל בעלת מאפיינים דומים). הואיל וטרם חלף אפילו מחזור שנתי אחד מאז התפרצות הקורונה, בחינה של ההתנהגות העונתית של נגיפים נשימתיים אחרים עשויה לסייע בהערכת ההתנהגות העונתית של הנגיף החדש.

חשוב להדגיש כי הבנת העונתיות של זיהומים נשימתיים חשובה לבריאות הציבור לשם מיתון נטל התחלואה והתמותה. בימי שגרה ההבנה הזאת מאפשרת להאריך את הזמן העומד לייצור חיסונים. היא מסייעת בבחירת העיתוי המתאים לפעול לשיפור עמידות המארח בעזרת התערבות תרופתית או בעזרת אמצעים אחרים. כמו כן אפשר להבין מה העיתוי הנכון ליצירת שינויים בסביבה המביאים להפחתת שרידות הנגיף ועוד (66).

עונתיות של וירוסים נשימתיים בעולם⁶

ידוע זה מכבר כי באזורים הממוזגים,⁷ האזורים שבהם מתרחשים השינויים העונתיים המשמעותיים ביותר, הסביבה החורפית מקדמת את ההתפשטות של מגוון זיהומים ויראליים בדרכי הנשימה. הן התפרצויות המגפות SARS-CoV שהופיעה ב-2002-2003, הן המגפה הנוכחית ו-SARS-CoV-2 התרחשו במהלך חודשי החורף (35).

עונתיות השפעת מתוארת בגרף 1. עיתוי שיא התחלואה באזורים ממוזגים הוא במהלך החורף – בחצי הכדור הצפוני לרוב סביב חודש ינואר, בחצי הכדור הדרומי לרוב סביב חודש יולי.⁸ בשני חצאי הכדור שיא התחלואה יכול לעיתים להיות מוקדם יותר, כבר בחודשי הסתיו או החורף הראשונים. בחצי הכדור הצפוני תחילת העונה היא בחודשים ספטמבר עד דצמבר ובחצי הכדור הדרומי בחודשים מרץ עד יוני (6, 39). לעומת זאת, באזורים הטרופיים התחלואה היא בטווח חודשים רחב יותר.

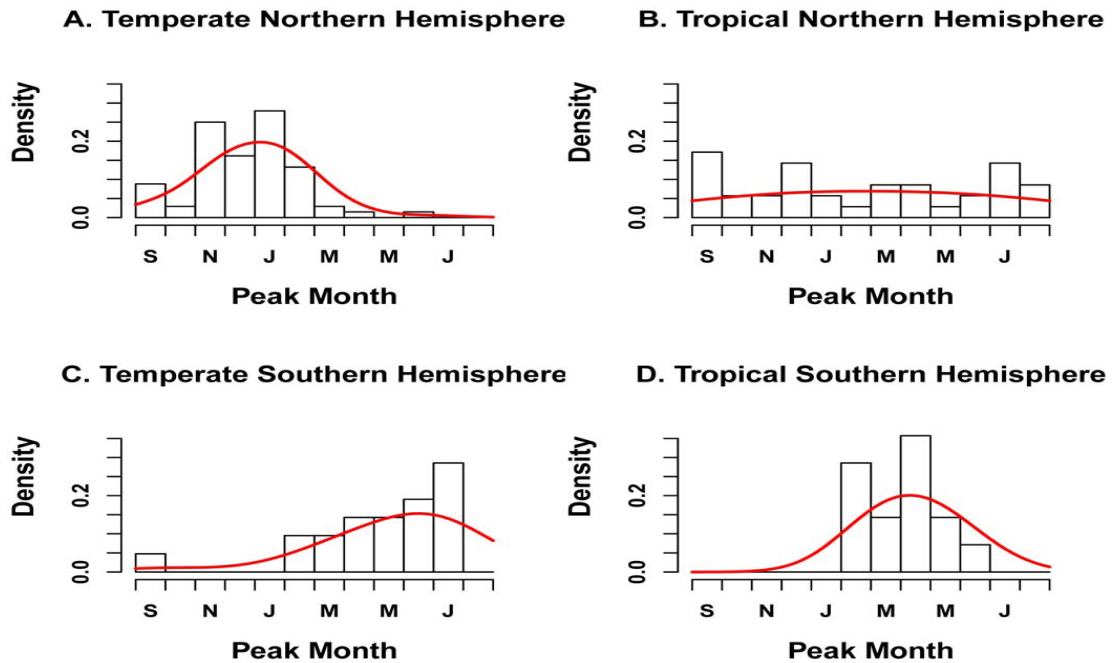
⁶ בבחינת עונתיות של וירוסים נשימתיים התבססנו על מאמרים שכללו סקירה שיטתית של ספרות שנכתבה על מגפות השפעת ו-RSV באזורים שונים ברחבי העולם (6, 7, 39) ועל מאמרים שכללו ניתוח של סדרות עיתיות של נתוני תחלואת שפעת שבועיים. הנתונים נאספים בעשרות מדינות בניטור שגרתי דרך FlueNet, רשת של ארגון הבריאות העולמי (6, 46).

⁷ האזורים הממוזגים (temperate climate zone) הוא כינוי לאזור שבין קו רוחב 23.5 לבין קו רוחב 66.5. אלו האזורים בטווח שבין האזור הטרופי לבין האזור הפולרי. התנודה העונתית בהם משמעותית (חורף קר, קיץ חם) לעומת האזור הטרופי שבו אין שינוי משמעותי בטמפרטורה לאורך השנה. אזורים אלו כוללים חלק ניכר מאוכלוסיית העולם (ובין השאר גם את ישראל).

⁸ בכמה מקומות בדרום מזרח אסיה מתרחש בנוסף שיא שני, חצי שנתי, בעונת המונסון הקיצי, יוני-אוגוסט.

בניתוח סדרות עתיות נמצא שעיתוי שיא התחלואה בשפעת קשור בקו הרוחב של המיקום הגאוגרפי, בעיקר בחצי הכדור הצפוני. ככל שעולים בקו הרוחב שיא התחלואה מופיע מאוחר יותר (דפוס תחלואה גרדיינטי, (latitudinal gradient) (6).

נהוג לחשוב כי גרסאות נגיף חדשות מופיעות מעת לעת ממקור שככל הנראה נמצא באזורים הטרופיים, ומשם הם מתפשטים ברחבי העולם. הגירות ויראליות גלובליות אלה יכולות להסביר את מגפות החורף המסונכרנות של שפעת שנמצאו בארה"ב ובין ארה"ב לאירופה.



גרף 1: התפלגות חודש שיא השפעת לפי אזורים גאוגרפיים ($n=7$ מיקומים) הסטוגרמה בשחור-תצפיות, עקומה באדום- התאמת מודל Gaussian density kernel

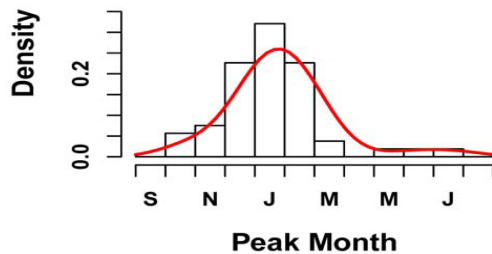
התחלואה בנגיף הנשימתי הנפוץ **RSV** (Respiratory syncytial virus) מתוארת בגרף 2. שיא התחלואה באזורים ממוזגים בחצי הכדור הצפוני הוא כמו בשפעת, לרוב בחודש ינואר, אך בדרך כלל לא בתחילת העונה. בקווי הרוחב הגבוהים יותר שיא התחלואה יכול להופיע אפילו בסוף החורף. לעתים שיא התחלואה בשפעת מקדים בכחודש את שיא התחלואה ב-RSV באותו המקום (6, 7).⁹ גם התחלואה בנגיף זה ממושכת יותר בארצות משוונות.

בשונה משפעת, בכמה מקומות נמצאה מחזוריות דו-שנתית בתחלואה הנובעת מנגיף ה-RSV. כל שנה שנייה שיא התחלואה הוא באביב (אפריל-מאי). בצפון אירופה תועדו שנים שבהן מגפות חורף גדולות ואחריהן התפרצויות קלות יותר באביב בשנה שלאחר מכן. מחזורים רב-שנתיים אלה עשויים להיות קשורים לתזוזות בפרה-דומיננטיות של RSV A ו-RSV B המסבירה את השונות בשיא השנתי

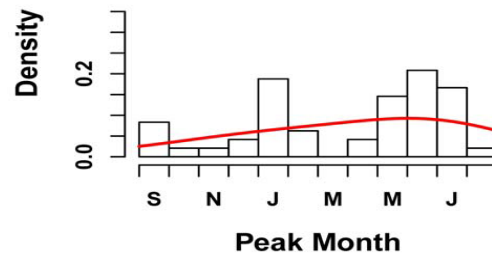
⁹ במזרח אסיה נמצא גם שיא חצי שנתי בתחלואת RSV

של התחלואה. בשונה משפעת, לגבי RSV נמצא גרדיאנט חלש יותר בעיתוי שיא התחלואה הקשור בקו הרוחב (6, 7). אך באירופה נמצא שמשך התחלואה ארוך יותר עם העלייה בקו הרוחב (7).

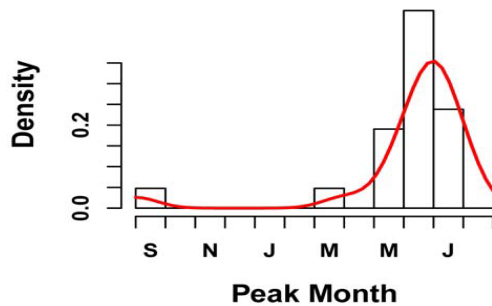
A. Temperate Northern Hemisphere



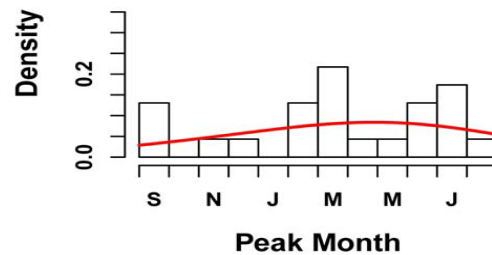
B. Tropical Northern Hemisphere



C. Temperate Southern Hemisphere



D. Tropical Southern Hemisphere



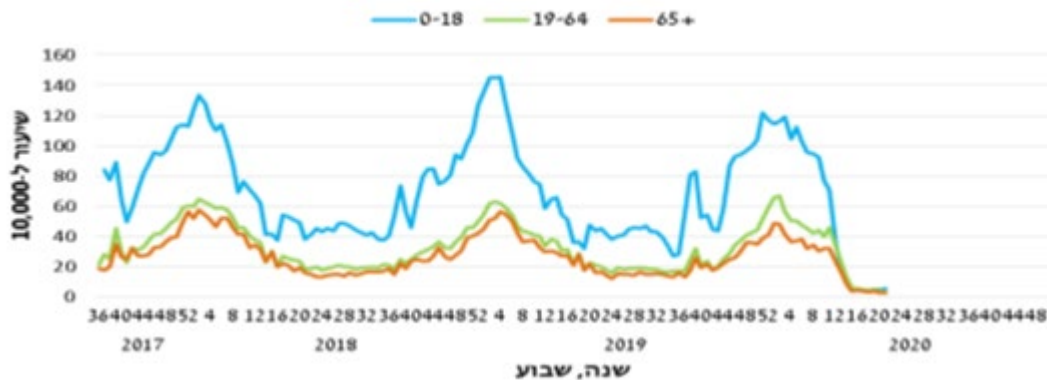
גרף 2: התפלגות חודש שיא RSV לפי אזורים גאוגרפיים (96 מיקומים $n=$) הסטוגרמה בשחור-תצפיות, עקומה באדום- התאמת מודל Gaussian density kernel

בעוד שבמערב ארה"ב העונתיות של שני הנגיפים דומה, בהולנד ובדרום ארה"ב מופע העונתיות של שני הווירוסים שונה. בנוסף נמצא כי בעוד עונתיות השפעת דומה בכל רחבי ארצות הברית (6), עונתיות RSV משתנה בין אזור לאזור (6, 39). ממצא זה מרמז על שוני בהעברה במרחב של שני הנגיפים. התבנית המרחבית המסונכרנת של השפעת לעומת הדינמיקה השונה של אפידמיית RSV באותו אזור גיאוגרפי מרמזת כי גורמי סביבה מקומיים משפיעים יותר על דינמיקת העברת ה-RSV (6).

כאמור לעיל, דפוסי התחלואה של מחלות אלו באזורים הטרופים שונים מאלו שבאזורים הממוזגים. ייתכן שגם חומרת המחלה שונה. כך למשל מחקרי תמותה עודפת הראו כי השפעת מגפת השפעת בשנת 2009 הייתה קטנה יותר בברזיל, באזורי קו המשווה, בהשוואה לאזורים הדרומיים, הממוזגים יותר (6). יחד עם זאת, מחקרי תמותה מספקים רק תשובה חלקית מכיוון ששיעורי התמותה הקשורים בשפעת מושפעים מהבדלים ברמת הרפואה ובמצב הכלכלי-חברתי, שאינם קשורים להעברת שפעת.

עונתיות של שפעת ותחלואה דמוית שפעת בישראל

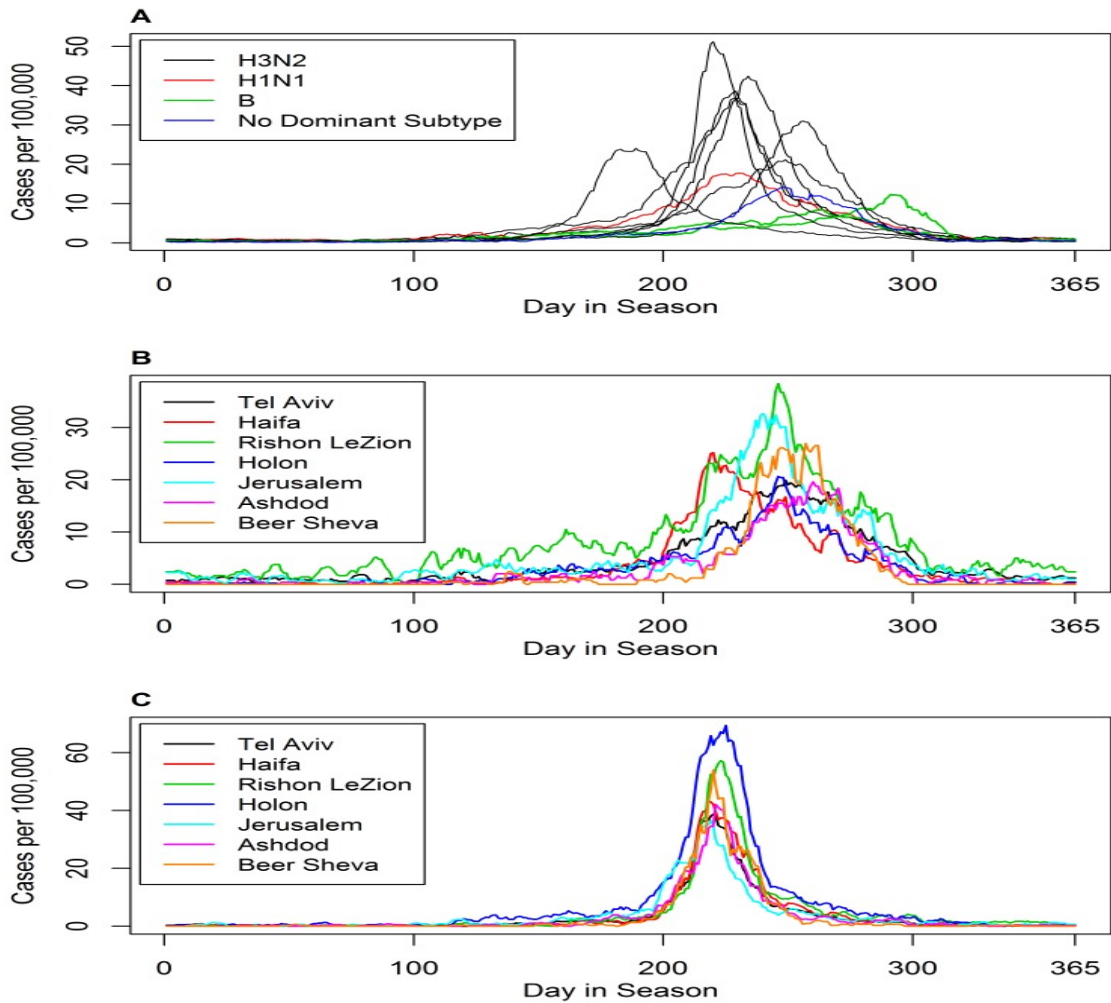
על פי הערכות, שפעת החורף תוקפת כל שנה בין חמישה לעשרים אחוזים מהאוכלוסייה בישראל. שפעת פנדמית מסוגלת להדביק שיעור גדול עוד יותר מהאוכלוסייה. בגרף 3 מתוארת עונתיות הפניות למרפאות מכבי שרותי בריאות בשל זיהומים בדרכי הנשימה העליונות בין השנים 2017-2020, על פי נתוני המרכז הלאומי לבקרת מחלות (ICDC). ניתן לראות כי הפניות בעיקרן הן בחודשי החורף, ינואר-פברואר. עיתוי השיא וגובהו שונים מעט בכל שנה. אך לפי דיווח המרכז הלאומי לבקרת מחלות, לא נמצא הבדל בדפוס העונתיות באותה שנה בין ערים שונות.



גרף 3 פניות למרפאות "מכבי שירותי בריאות בשל זיהומים בדרכי הנשימה העליונות במבוגרים לפי קבוצות גיל

גם במחקר קודם, אשר התבסס על נתוני המרכז לבקרת מחלות, עבור השנים 1998-2009 (גרף 4), נמצאו הבדלים בדפוס העונתי בין השנים. אך בתוך אותה שנה, העיתוי וחוזק ההתפרצות מסונכרנות בין ערי ישראל, למרות השוני בדמוגרפיה ובתנאי מזג האוויר ביניהן (74, 17). נמצא גם סנכרון גבוה בהתפרצויות התחלואה בין ישראל לצרפת (17).

במחקר אחר נמצא כי בישראל עונתיות השפעת מושפעת בעיקר מתנאי הלחות המוחלטת (הקשורה בטמפרטורה ובלחות היחסית) המווסתים את יכולת ההדבקה של הנגיף, ולכן בחורף התחלואה גבוהה (79). יחד עם זאת השינויים משנה לשנה בעוצמה ובתזמון של השפעת העונתית קשורים ככל הנראה לכך שנגיפי השפעת עוברים שינויים משנה לשנה. יעילות החיסון משתנה אפוא משנה לשנה, בהתאם להתאמת זני החיסון לזנים שמסתובבים באוכלוסייה, וכתוצאה מכך שיעור הלא מחוסנים לשפעת בתחילת כל עונה משתנה במידת מה. ריבוי מגעים בין אנשים בכלל ובפרט בקרב ילדים בבתי הספר מגדיל את הסיכון לתחלואה. שילוב של שינויים בלחות המוחלטת והחזרה מחופשות מבתי הספר (בקיץ, בחגי ראש השנה-סוכות ובחנוכה) נמצאו אחראים לשלושת גלי התחלואה בפנדמיה של השפעת בשנת 2009 בישראל (78).



גרף 4: סנכרון בהיארעות תחלואה דמוית שפעת בישראל, ביו עונות ובתוך עונות. עליון (א): היארעות יומית של תחלואה דמוית שפעת בישראל בשבע עונות, החל מהראשון ביוני. כל עקומה מייצגת עונה. מרכזי (ב): היארעות יומית של תחלואה דמוית שפעת בישראל בשבע ערים בעונות 1998-1999, כאשר מקדם ההדבקה היה נמוך, $Re=1.2$ והמתאם בין הערים השונות חלש יחסית. תחתון (ג): היארעות תחלואה דמוית שפעת באותן שבע ערים בעונות 2006-2007, כאשר מקדם ההדבקה היה גבוה, $Re=1.6$ והמתאם בין הערים השונות גבוה.

מסקנות

- שיא התחלואה בשפעת וב-RSV באזורים הממוזגים מתרחש במהלך החורף.
- בחצי הכדור הצפוני תחילת עונת השפעת היא בחדשים ספטמבר עד דצמבר. שיא התחלואה בשפעת מקדים לעיתים את שיא התחלואה ב-RSV באותו המקום.
- שיא התחלואה ב-RSV יכול להופיע אפילו בסוף החורף. בשונה משפעת, בכמה מקומות נמצאה מחזוריות דו-שנתית בתחלואה, כאשר כל שנה שנייה שיא התחלואה הוא באביב.
- ייתכן שההבדל בין ההתנהגות המרחבית-עתית של RSV לבין ההתנהגות של השפעת נובע משוני בדינמיקת העברת הנגיפים. משערים כי גורמי סביבה מקומיים הם העומדים מאחורי הדינמיקה השונה של אפידמיית RSV.

- דפוסים העונתיים העולמיים של שפעת ושל RSV נבדלים בין האזורים הממוזגים לבין הטרופיים. כמו כן נמצא כי באזורי קו רחב נמוך קיימת שונות רבה יותר בין השנים בתזמון המגפות ובמשך הזמן שלהם בהשוואה לאזורים הממוזגים.
- המחזוריות העונתית של ההתפרצויות בולטת בתזמון התחלואה אך לא בעוצמתה. חומרת ההתפרצות עשויה להיות שונה מאוד בין שנה לשנה.
- במחקר על תחלואה דמוית שפעת בישראל נמצאו הבדלים בדפוס העונתי בין השנים, אך בתוך אותה השנה העיתוי וחוזק ההתפרצות נמצאו מסונכרנים בין ערי ישראל, למרות השוני בדמוגרפיה ובתנאי מזג האוויר ביניהן (17).
- מחקרים על עונתיות השפעת בישראל הצביעו על הלחות המוחלטת כגורם סביבה חשוב בתזמון ההתפרצות (78,79).

בהקשר הנוכחי:

- הואיל וקיימת נטייה לתחלואה דמוית שפעת באזורים הממוזגים בעונת הסתיו והחורף, ראוי להיערך לקראת אפשרות של התפרצות רחבה של הקורונה לקראת חודשי החורף.
- גלי תחלואה של נגיפים נשימתיים אינם בהכרח מסונכרנים זה עם זה, כאשר בחלק מהנגיפים גל התחלואה נוטה להתפרץ בתחילת העונה ובחלק מהנגיפים גל התחלואה מתעכב ומתרחש בסוף העונה. לפיכך לא ניתן בשלב הנוכחי לקבוע את המועד המדויק של התפרצות החורף של הקורונה, ולא ניתן לקבוע האם הוא יחפוץ למועד גל שפעת החורף.
- ירידה בלחות המוחלטת עשויה להיות גורם תורם לתחילתו של גל תחלואה נוסף.
- למרות ההבדל באקלים ובדמוגרפיה בין אזורים שונים בארץ, גלי תחלואה בשפעת התרחשו בו-זמנית בכל הערים. לפיכך, ככל שלא יהיה סגר בעת ההתפרצות הבאה, סביר לצפות כי ההתפרצות לא תהיה מוגבלת רק לאזורים בהם תנאי הסביבה הם המתאימים ביותר.

ג. הדינמיקה הגלובלית של התפשטות נגיף הקורונה – הקשר האקלים

בחינת הקשר האקלים של התפשטות נגיף הקורונה בעולם נוגעת לשאלות הבאות:

1. האם אפשר לזהות הבדל מרחבי (בקווי הרוחב/באזור האקלימי) בדפוסי ההתפשטות?
2. האם אפשר לזהות דפוס עונתי המבטא ירידה בעונה החמה ועלייה בעונה הקרה?
3. האם אפשר להצביע על משתנים באטמוספירה העשויים להסביר את ההשתנות הבין-יומית/שבועית/עונתית?

דפוס ההתפשטות בעולם

ראשית ההתפרצות של מגפת הקורונה בסין, ובהמשך בצפון איטליה ומערבה, במהלך חורף 2019/20 הצביעה על התמקדותה בשלבים אלה ברצועה לאורך קווי הרוחב הבינוניים בהמיספירה הצפונית, על רקע מזג אוויר קר ויבש, אך לא קיצוני. תפרוסת התמותה מקורונה לחודש פברואר 2020 מוצגת על גבי מפות הטמפרטורה והלחות המוחלטת לחודש זה (איור 1).

רצועה זו מתאפיינת גם בריכוזי אוכלוסייה עירונית גבוהה ואלו הם האזורים הנמצאים במרכזי התעבורה הבינלאומית. לאור זאת היה קשה לקבוע בשלבים הראשונים של התפרצות המגפה עד כמה התפרוסת המרחבית של התחלואה הייתה קשורה בתנועה ובמגע בין אנשים ועד כמה יש לתנאי האקלים תפקיד כלשהו בהתפרצות המחלה דווקא בקווי הרוחב הבינוניים של ההמיספירה הצפונית. במהלך חודש מרץ הופצה המחלה כמעט לכל מדינות העולם, וב-11 בחודש מרץ כבר הוגדרה כפנדמיה.

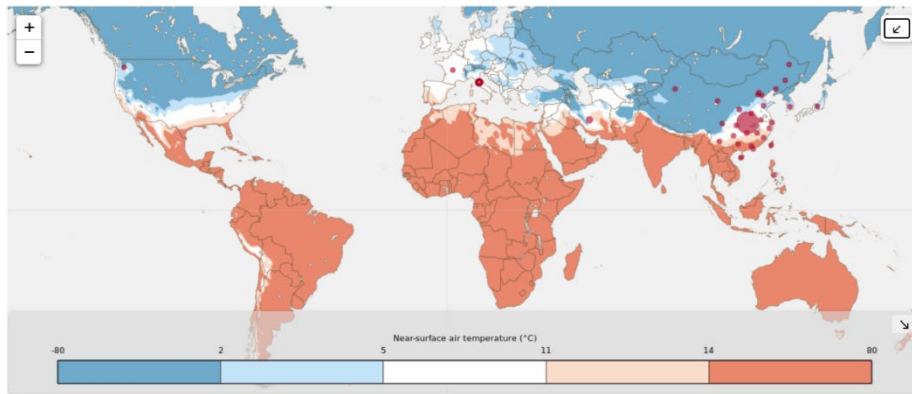
חרף זאת, התחלואה בהמיספירה הדרומית ובקווי הרוחב הנמוכים של ההמיספירה הצפונית נותרה נמוכה, בעוד שבקווי הרוחב הבינוניים של ההמיספירה הצפונית המחלה התפשטה במהירות והגיעה לשיא גל התחלואה בין שלהי מרץ לאמצע אפריל. זאת חרף מדיניות של ריחוק חברתי שהונהגה במרבית מדינות העולם באמצע חודש מרץ.

לקראת סוף חודש אפריל היה פער משמעותי בין שיעורי התמותה המצטברת הגבוהים בקווי הרוחב הבינוניים, לבין שיעוריה בקווי הרוחב הנמוכים של ההמיספירה הצפונית ובהמיספירה הדרומית.

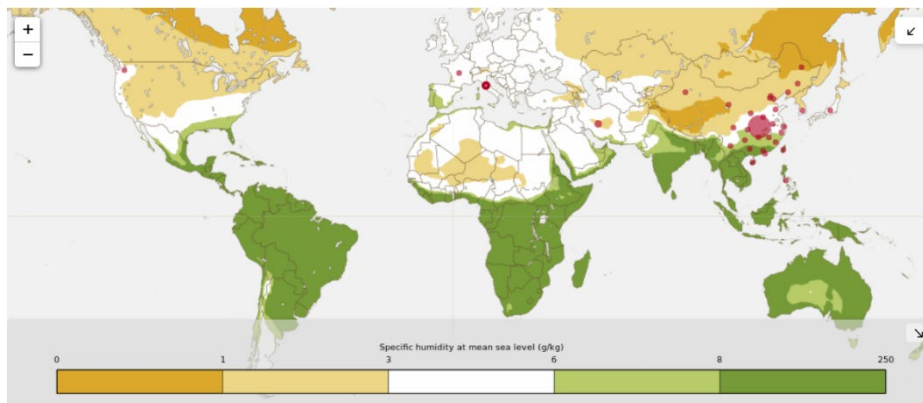
ייתכן שהאקלים החם שאפיין את השלב הזה מיתן את התפשטות המחלה בקווי הרוחב הנמוכים של ההמיספירה הצפונית ובהמיספירה הדרומית, שחווה את סוף הקיץ וראשית הסתיו. ברם, ייתכן שבמדינות הדרומיות, המורכבות בעיקר ממדינות עולם שלישי וממדינות לא דמוקרטיות, התחלואה הנמוכה יחסית על פי הדיווחים נבעה ממיעוט בדיקות או אפילו ממדיניות מכוונת של הסתרה. כמו כן, ייתכן שההתפשטות הראשונה של המגפה הייתה תלויה, במידה מסוימת, במסלולי תנועת המטוסים ובעומסים של הנוסעים.

איור 1- מוקדי התחלואה בקורונה בפברואר 2020, על רקע מפות הטמפרטורה (א') והלחות המוחלטת (ב') מקור: ECMWF Copernicus Climate Change Service

א'



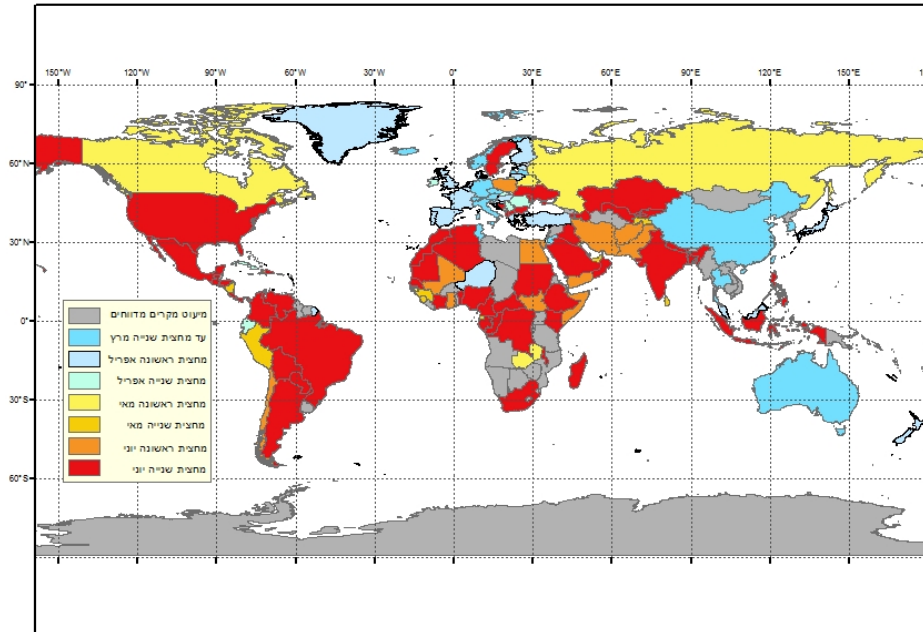
ב'



בסוף חודש אפריל וביתר שאת בחודש מאי החלה המחלה להתפשט במהירות בקווי הרוחב הנמוכים ובהמיספרה הדרומית (ראו איור 2 המציג את תאריך שיא גל ההדבקות במגפה במדינות העולם ובמרחב הסובב את ישראל), בעוד ששיעורי ההדבקה במדינות המערב פחתו דרמטית.

ראוי לציין שבחלק ממדינות ההמיספרה הדרומית, כברזיל וארגנטינה, הנמצאים במרכזי התעבורה הבינלאומית, היו מקרים רבים של הידבקות כבר בשלבים המוקדמים של המגפה, אך ההתפרצות המשמעותית חלה רק לאחר שהסתיו החל שם.

איור 2 – תאריך שיא גל ההדבקות במגפה במדינות העולם



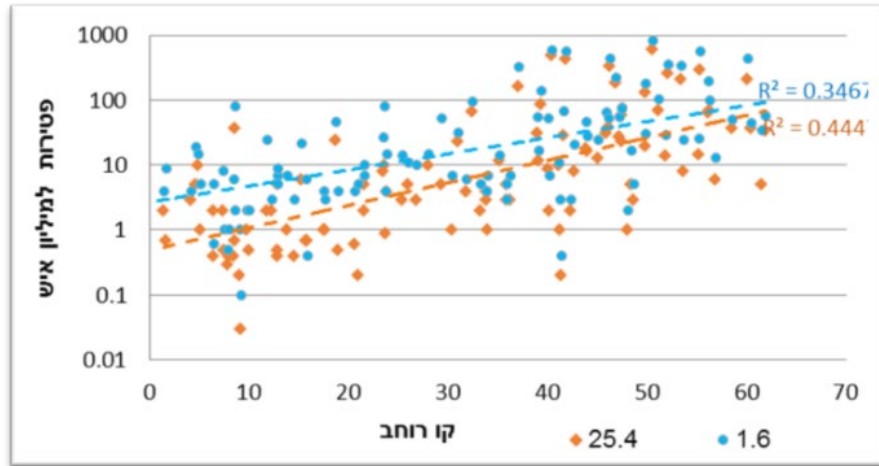
worldmeters.info מקור נתוני המפות

לא מופו מדינות עם פחות מ-1000 חולים מאומתים בעת המיפוי

נדידת גל התחלואה דרומה (בחצי הכדור הצפוני) באה לידי ביטוי גם בגרף מס' 4. הגרף מציג את הקשר בין התמותה מנגיף הקורונה בכל מדינה ובין קו הרוחב שהיא נמצאת בו, קשר שהולך ומתמתן ככל שחולף הזמן¹⁰. אם בוחנים רק את ההמיספרה הצפונית, מוצאים כי המתאם, שהיה גבוה ומובהק סטטיסטית ($R^2=0.44$) בתאריך 25.4.2020, הצטמצם עקב עלייה תלולה בתחלואה בחלק מהמדינות בקווי הרוחב הנמוכים, אך עדיין נותר מובהק סטטיסטית גם בתאריך 1.6.2020 ($R^2=0.35$).

לעומת חצי הכדור הצפוני, קשה לזהות מגמת עלייה בשיעורי התמותה עם העלייה בקו הרוחב בהמיספרה הדרומית.

¹⁰ יחד עם זאת, ראוי לציין שיש בעיה מובנית בהשוואת התמותה בין ארצות שונות הואיל ותמותה קשורה במידה רבה במאפייני גיל ותחלואת רקע, כמו גם בטיפול הרפואי בכל מדינה ומדינה.

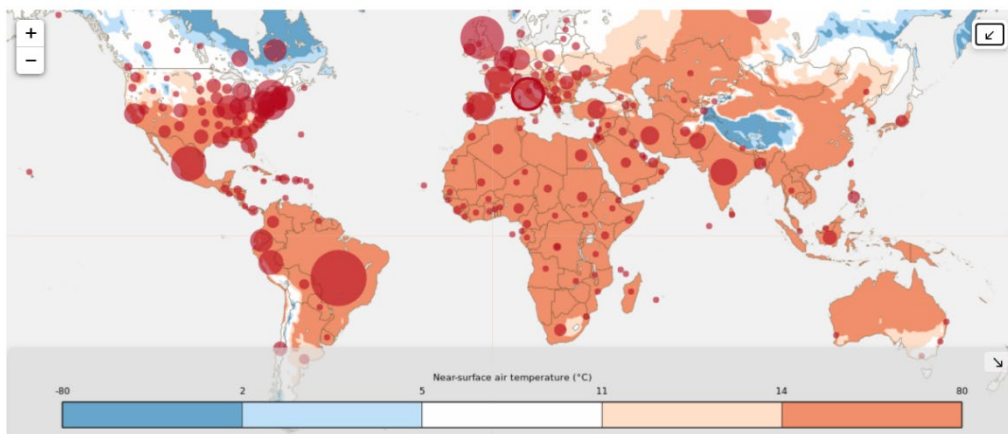


גרף 5 – תמותת קורונה למיליון איש במדינות שונות על פי קו הרוחב של מרכז המדינה בסוף אפריל ובראשית יוני (המיספרה צפונית בלבד)
מקור נתוני הגרפים worldmeters.info. נכון ל-1.6.2020.
לא הוכנסו לגרף מדינות עם פחות מ-600,000 אזרחים או פחות מ-5 נפטרים נכון לזמן הכנת הגרף

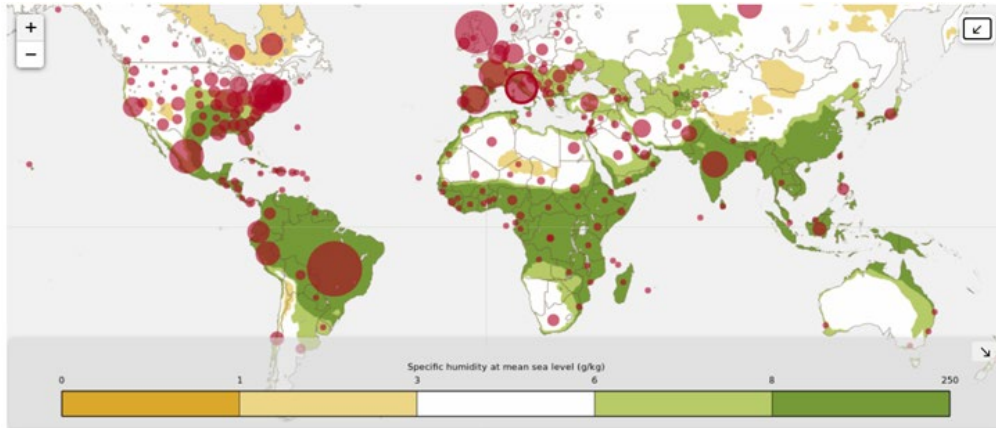
כאשר בוחנים את תפרוסת התמותה בחודש מאי 2020 על גבי מפות הטמפרטורה והלחות המוחלטת, ניכר כי התפרוסת מכסה גם את האזורים הטרופיים והסוב-טרופיים בשתי ההמיספרות, הצפונית והדרומית, ללא קשר לתנאי הטמפרטורה והלחות, ראה איור 3. מצב זה נמשך גם בתחילת יוני 2020. יחד עם זאת מעניין לציין כי במספר מדינות בהן התבסס הקיץ אך התחלואה נשארה גבוהה (או אף האיצה) חלה ירידה הדרגתית בתמותה, כך שמועד שיא "גל התמותה" (עד כה) המוצג באיור 4 אינו חופף למועד שיא התחלואה (איור 2).

איור 3 – תמותת קורונה למיליון איש במדינות שונות בחודש מאי 2020, על רקע מפות הטמפרטורה (א') והלחות המוחלטת (ב')
מקור: ECMWF Copernicus Climate Change Service

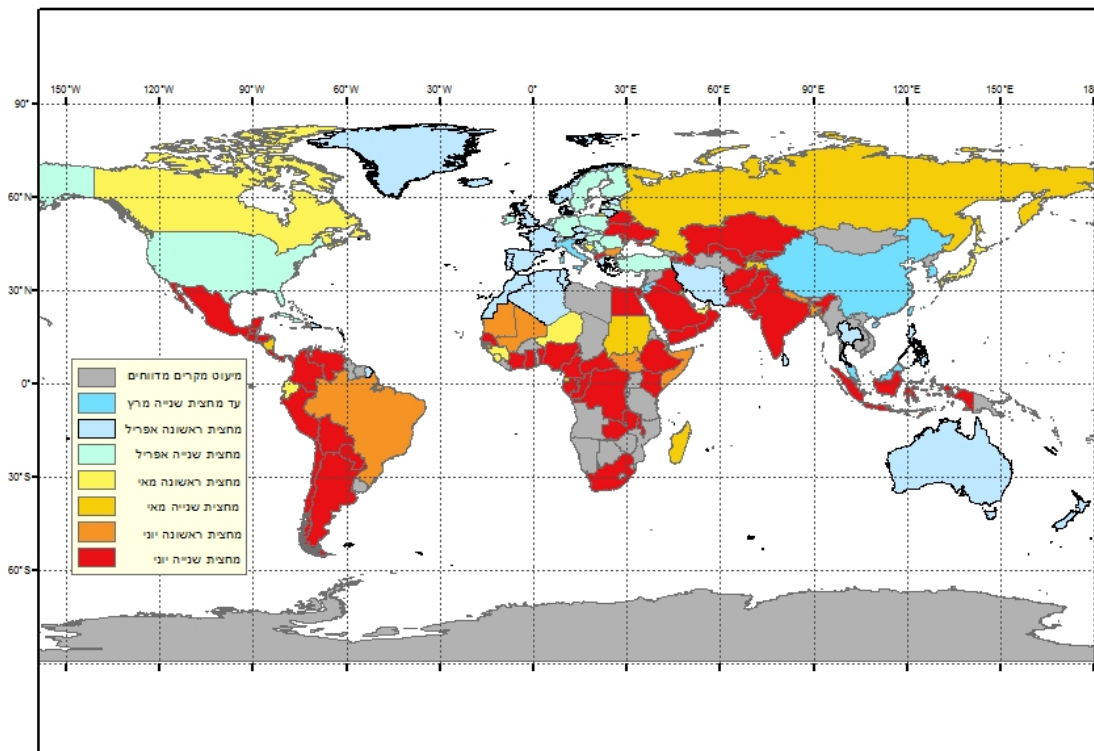
א'



ב



איור 4 – תאריך שיא גל התמותה בעולם



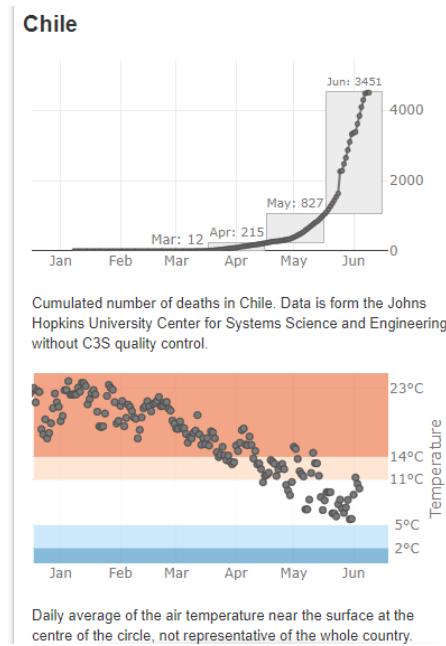
worldmeters.info מקור נתוני המפות
לא מופו מדינות עם פחות מ-1000 חולים מאומתים בעת המיפוי

רמזים להתנהגות עונתית

תבנית ההתפשטות העולמית המורכבת, אשר תוארה לעיל, מקשה לקבוע בצורה חותכת את מידת השפעת תנאי מזג האוויר על המגפה. כשאנחנו עדיין בעיצומו של השלב הפנדמי, ככל הנראה הקשר בין תחלואה לבין גורמים מטאורולוגיים הוא קשר חלש.

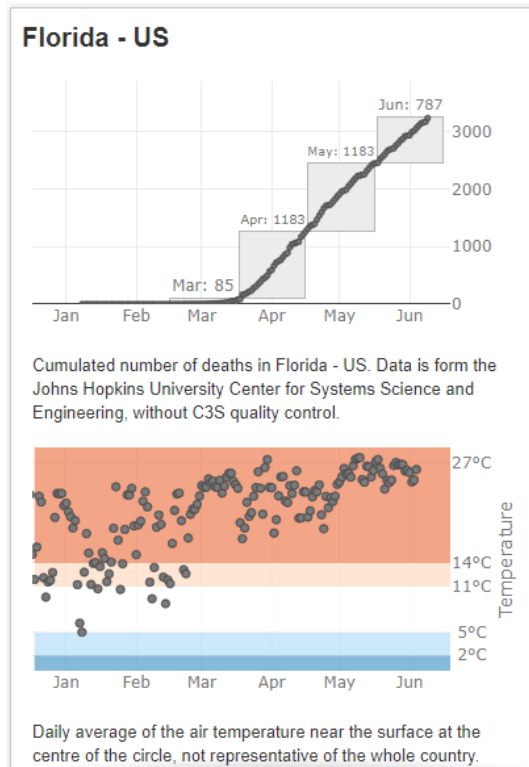
ההשערה כי למזג האוויר יש השפעה על התפשטות הקורונה נתמכת ברמזים האלה:

- ההתפרצות בסין ובהמשך בצפון איטליה ומערבה הייתה על רקע מזג אוויר קר ויבש.
- למרות גילוי המחלה במרבית המדינות בהפרשים של ימים בודדים סביב מועד הכרזתה כפנדמיה, גל התחלואה היה שונה. במערב ובמרכז אירופה וכן בארה"ב הייתה התפשטות מהירה של המחלה, ואילו במדינות החמות באסיה, אפריקה ואמריקה הלטינית המגפה התפתחה באיטיות ושיעורי התמותה לא הגיעו לאלה שצוינו לעיל.
- בקווי הרוחב הבינוניים של אמריקה הדרומית התפרצה המגפה בהיקף ניכר רק לאחרונה, כאשר מזג האוויר החורפי החל מתבסס.



גרף 6 – נתוני התמותה מנגיף הקורונה ונתוני האקלים ממדינת צ'ילה במהלך שנת 2020.
מקור: ECMWF Copernicus Climate Change Service

- ספקות לגבי ההשערה כי למזג האוויר יש השפעה על התפשטות הפנדמיה נמצאות בעדויות הללו:
- התפרצות המחלה הושתה גם במדינות קרות, דוגמת רוסיה ומדינות נוספות במזרח אירופה.
- המגפה התפשטה גם באזורים המשוונים, החמים והלחים.¹¹
- גם באזורים הממוזגים חלק ממוקדי ההתפרצות המאוחרים לא היו עוד בעונה הקרה. כך בארצות הברית,¹² כך גם גל התחלואה במהלך חודש מאי במדינות ערב.



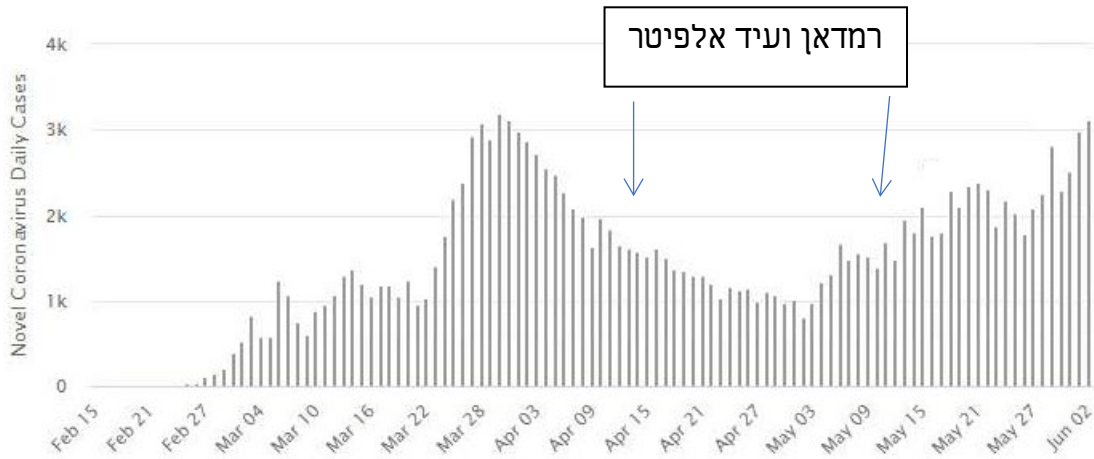
גרף 7 – נתוני התמותה מנגיף הקורונה ונתוני האקלים ממדינת פלורידה שבארה"ב במהלך שנת 2020. מקור: ECMWF Copernicus Climate Change Service

יחד עם זאת, גל התחלואה במדינות ערב התפתח בסמיכות לחודש הרמדאן. לפיכך, אי אפשר לדעת כמה ממנו התפתח באופן טבעי, כפי שנצפה במדינות לא מוסלמיות בקווי רחב דומים, וכמה הוא קשור להפרות הוראות הריחוק החברתי בארוחות פתיחת הצום מדי ערב. ייתכן שבאיראן, המדינה היחידה באזורנו שהמגפה התפרצה בה כבר בשלהי החורף, ניתן לזהות את טביעת האצבע הברורה של הרמדאן. איראן היא אחת המדינות הבודדות בעולם שהופיע בה גל תחלואה שני משמעותי בהפרש של כשבוע מתחילת הרמדאן (גרף 8).¹³

¹¹ יחד עם זאת, כמתואר קודם לכן, הדינמיקה של גלי תחלואה של מחלות דמויות שפעת באיזור הטרופיים שונה מזו שבאזורים הממוזגים, ויש הטוענים כי מנגוני ההפצה הדומיננטיים באזורים אלו שונים. לפיכך, ספק אם ניתן לגזור מסקנות ברורות מההתפרצות בטרופים על העונתיות באזורים הממוזגים.

¹² יחד עם זאת, ראוי לציין כי למרות ריבוי האבחונים בארה"ב גם בשבועות האחרונים, שיעור התמותה שם הלך וירד עם התבססות הקיץ.

¹³ אולם, ייתכן שהטמפרטורות החמות הן גורם שיכול להשהות מעט התפרצות נגיפית שכזו, אך מרגע שהיא כבר מתרחשת, הטמפרטורות הגבוהות אינן מדכאות אותה עוד.



גרף 8 כמות יומית של נדבקים מאומתים בנגיף הקורונה באיראן
מקור הגרפים worldmeters.info נכון ל-2.6.2020

מחקרים אפידמיולוגים מהחודשים האחרונים

מחקרים רבים שפורסמו לאחרונה טוענים שירידה בטמפרטורה ובלחות מעלים את ההסתברות לתחלואה גבוהה יותר של COVID-19. בין השאר, מחקר מקיף שנערך ב-310 אזורים גיאוגרפיים על פני 116 מדינות הצביע על קשר שלילי בין הטמפרטורה והלחות לבין שיעורי תחלואה בנגיף (37), כך גם מחקר מקיף שאסף מידע על 429 ערים בעולם הצביע על קשר שלילי בין הטמפרטורה לבין שיעורי תחלואה בנגיף (בטמפרטורה בין 3-17 מעלות צלזיוס) (50). כמו כן מחקר שכלל 50 ערים מרחבי העולם (42) מצא קשר שלילי בין לחות וטמפרטורה ועליה בתחלואה, זאת בדומה לממצאים הידועים על נגיפי נשימה עונתיים. כמו כן סקירה מקפת של 517 מאמרים שעסקו בקשר שבין משתני אקלים לקורונה (41) הצביעה על המסקנות האלה:

- יש זיקה מסוימת בין טמפרטורה נמוכה (אך לא קיצונית) ולחות מוחלטת נמוכה לבין עלייה בהתפשטות הקורונה (ברם הממצאים הללו הם ברמת ודאות נמוכה) (67).
- התקווה שאקלים חם ולח ימתן כשלעצמו את התפשטות הנגיף לא עומדת במבחן המציאות.
- אין בכוח המשתנים האטמוספריים כשלעצמם להסביר את עיקר ההשתנות (variability) בהתפשטות הנגיף.

יש לציין את השונות הרבה בין הממצאים. להלן מדגם המציג את השונות הזאת:

- יש המציינים מגמה של עלייה בתחלואה עם עלייה בטמפרטורה, כך שהאקלים מסביר 17% מהשונות בתחלואה. מגמה זו הפוכה מיתר הממצאים. ייתכן שהיא נובעת מהכללה של משתני הלחות והקרינה. כלומר הקרינה מכילה בתוכה אפקט של טמפרטורה, והיא הגיעה לשיאה בזמנים המאוחרים יותר של התפשטות המחלה, כאשר המחלה התפשטה במדינות אפריקה (32).
- במחקר אחר, באנליזה של משתנה בודד, לא נמצא קשר בין הטמפרטורה וקו הרוחב לבין התחלואה. לעומת זאת, נמצא קשר שלילי חלש בין הלחות לתחלואה. באנליזה רבת משתנים לא נמצא האפקט של הטמפרטורה או של הלחות. האפקט הדומיננטי שנמצא הוא חברתי בלבד (68).

- אחרים הצביעו דווקא על עלייה בתחלואה עם עלייה בלחות היחסית (פחות מ-1% בתחלואה עם עלייה של 1% בלחות היחסית). ממצא זה נמצא במודל רגרסיה שהכיל חמישה פרמטרים, כולל זרימת רוח, ומצב האוכלוסייה, והתייחס ל-166 מדינות (51).
- מחקר בסין הצביע על עלייה בתחלואה במקומות הקרובים לקו המשווה (הונג קונג) כאשר הלחות המוחלטת גבוהה במיוחד (מעל 15 גר/מ³) (67).
- אחרים מציגים טווח רחב מאוד של הטמפרטורה ושל הלחות במקומות שקיימת בהם תחלואה, ואף טוענים שלא ניתן לציין טווח צר של טמפרטורה ולחות המצביע על סיכוי גבוה יותר לתחלואה (1).
- יש המדגישים שהקרינה היא בעלת המשקל הגבוה יותר בהפחתת התחלואה, וכי המשקל של הטמפרטורה והלחות קטן יותר (1, 32).
- חלק מהמודלים מצביעים על היתכנות גבוהה יותר של תחלואה באזורים מצפון לקו רחב 30N (ומדרום לקו רחב 30°S) בהתאם לטווח טמפרטורות של 4-11 מעלות צלזיוס ולחות מוחלטת של 3-6 גר/ק"ג (42, 50).
- ראוי לציין כי מחקרים מסוימים הצביעו על רמות זיהום אוויר גבוהות, בתחמוצות חנקן בעיקר, במוקדי התמותה הבולטים מקורונה בסין ובצפון איטליה. רמות הזיהום גבוהות בעיקר במהלך החורף והן נובעות מהשילוב של המיקום הגיאוגרפי ושל היציבות האטמוספירית הגבוהה ששררה בהם. אמנם מחקרים רבים קושרים בין רמות זיהום אוויר גבוהות לבין מחלות דרכי נשימה, אך אין בכך כל הוכחה כי גורם זה השפיע על ההתפשטות, על התחלואה או על התמותה מקורונה (69, 70, 73).

הסתייגויות

הבדל בין שלב אנדמי לשלב פנדמי: נכון להבחין בין השלב האנדמי לשלב הפנדמי. השלב האנדמי הוא השלב שמחלה נוכחת באזור מוגדר או בקרב אוכלוסייה מסוימת. השלב הפנדמי הוא השלב שבו המחלה מפושטת באופן גלובלי. על סמך ידע קודם בנוגע למחלות זיהומיות הגורמות לסיבוכי נשימה (51), רק בשלב האנדמי קיימת עונתיות הגורמת להופעת התחלואה. בשלב הפנדמי, לעומת זאת, אפשר לצפות לחוסר רגישות עד רגישות מתונה לגורמי האקלים (3). הגורם הדומיננטי בשלבי התפשטות המחלה ומועד חזרת התחלואה הוא מידת החיסון של התושבים.

ריבוי משתנים: ככלל, החוקרים מציינים שגורמי האקלים הם רק חלק קטן ממספר רב של משתנים הגורמים לתחלואה, וששינוי הטמפרטורה והלחות אינו מבטל את התחלואה אלא משנה את הסיכוי לתחלואה, כך שהתחלואה באזורים הצחיחים והמשוונים צפויה להיות נמוכה יותר (1).

ההיסטוריה של המגפה: המסקנה המתקבלת מרוב המחקרים על הירידה בתחלואה לצד העלייה בטמפרטורה עלולה להיות תוצר עקיף של ניתוח מוקדם של נתוני התחלואה. זאת בעקבות נדידת המחלה לארצות אירופה וצפון אמריקה במהלך החורף, עוד לפני שהמגפה התפשטה לאזורים חמים יותר.

מגבלות בספרות: המודלים המדווחים בספרות אינם מסונכרנים ביניהם. זאת מאחר שכל מודל תלוי בסט המשתנים שבחרו החוקרים לשלב בו.

מסקנות:

בשלב הנוכחי של הפנדמיה לא ניתן לזהות הבדל מרחבי בדפוסי ההתפשטות של המגפה ואף לא ניתן לזהות דפוס עונתי ברור.

- אפשר לקבוע בוודאות שמזג אוויר חם אינו מונע התפשטות של המגפה.
- האופן שבו התפשטה המגפה הוא קונסיסטנטי עם האפשרות שהסיכוי להתפרצות באקלים קר ויבש גבוה יותר, אך לא ניתן לקבוע בוודאות שזהו גורם מרכזי המשפיע על הדינמיקה של המגפה.

תנאי מזג אוויר רלוונטיים להתפשטות המחלה בישראל

תנאים מטאורולוגיים לתחלואה מוגברת

כמפורט לעיל, מחקרים רבים על נגיפים הגורמים למחלות בנשימה וגם חלק מהממצאים לגבי COVID-19 טוענים שירידה בטמפרטורה ובלחות באזורים הממוזגים מצביעה על הסתברות לתחלואה גבוהה יותר (1, 18, 43, 42, 48, 37, 71)

על בסיס סקירת מחקרים מסוג זה, אפשר להניח שהקריטריונים המציינים סיכוי גדול יותר לתחלואה בישראל (להלן "תנאי תחלואה מוגברת") הם:

- טמפרטורת מקסימום נמוכה מ-22 מעלות צלזיוס, או טמפרטורה ממוצעת יומית/חציון בטווח של 4-11 מעלות צלזיוס (48, 50).
- לחות מוחלטת בטווח שהוא מחוץ לטווח הנוחות לאדם. כלומר, לחות נמוכה מאוד מחד גיסא, המוגדרת מתחת ל-6 גר/ק"ג או, מאידך גיסא, לחות גבוהה מאוד ("לחות טרופית") - מעל 12 גר/מ"ק (31).

כמתואר לעיל, המנגנונים שייתכן שבאים לידי ביטוי במתאם שבין תנאי אטמוספירה לבין מידת התחלואה, כוללים מנגנונים אשר השפעתם איטית ומצטברת. לדוגמה, הירידה במערכת החיסון כתוצאה מצמצום שעות האור. בו זמנית הם כוללים מנגנונים אשר השפעתם עשויה להיות מהירה, כמו קרינת שמש חזקה הגורמת במהירות לעיקור משטחים נגועים. כמו כן יש לזכור כי קיים פער זמנים של מספר ימים בין זמן ההדבקה בנגיף והופעת התסמינים הקליניים לבין אבחון המחלה. שתי סיבות אלו מובילות, קרוב לוודאי, להפרש מופע, שנע בין מספר ימים לבין מספר שבועות, בין התנאים האטמוספריים לבין ביטויים בנתוני התחלואה.

חשוב גם לזכור כי יכולת החיזוי של התחלואה על פי המודלים והשיטות הסטטיסטיות בתחום זה מוגבלת, ככל הנראה בשל גורמים רבים נוספים אשר השפעתם על התפשטות המחלה משמעותית יותר מאשר תנאי מזג האוויר. הנתונים מראים כי תחלואה משמעותית תיתכן גם במצבים של טמפרטורות/לחות מחוץ לתחום התחלואה המוגברת.

מתוך התחשבות בהסתייגות חשובה זו, בחנו את האקלים בישראל ואת תנאי מזג האוויר ששררו בארץ לאורך תקופת המגפה אל מול תנאי התחלואה המוגברת שנצפו ונסקרו בספרות.

תנאי מזג האוויר אשר שררו בישראל בחודשים האחרונים

תחילת ההתפשטות המהירה של המחלה בישראל, באמצע חודש מרץ, באה לאחר תקופת חורף משמעותית שבה הטמפרטורות הממוצעות בארץ היו בטווח 11-14 מעלות צלזיוס והלחות המוחלטת בטווח 5-7 גר/ק"ג – כלומר, תנאים הקרובים לאלו המקובלים כתנאים לתחלואה מוגברת שהוגדרו לעיל. בתקופה של התגברות התחלואה והתמותה בסוף חודש מרץ ובתחילת אפריל, מזג האוויר כבר החל להתחמם והתרחק מתנאי האקלים לתחלואה המוגברת. הטמפרטורות הממוצעות היו בטווח 15-20 מעלות צלזיוס, והלחות המוחלטת בטווח 6-8 גר/ק"ג.

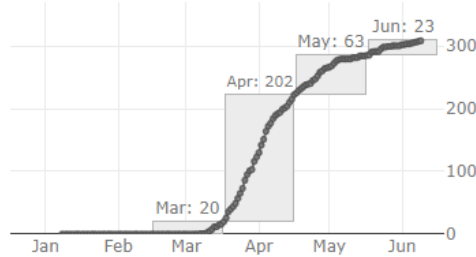
בשל העלייה ההדרגתית בטמפרטורות, במהלך חודש אפריל כמעט כל שטח המדינה היה מחוץ לתנאי הטמפרטורה המוגדרים לתחלואה מוגברת. לעומת זאת, הלחות המוחלטת בהרים ובפנים הארץ נשארה קרובה לזו של תנאי תחלואה מוגברת. באילת, בצפת ובירושלים נמדדה לחות של 5-6 גר"/ק"ג. בעוד שירושלים הייתה מוקד תחלואה בשלב זה, באילת התחלואה הייתה דווקא נמוכה מאוד. קרוב לוודאי שההבדל הדמוגרפי בין הערים, ההבדל בצפיפות האוכלוסייה והבדלים בהקפדה על הנחיות הריחוק החברתי, היו הדומיננטיים למידת התפשטות המגפה ולא תנאי מזג האוויר. הירידה המשמעותית בתחלואה במהלך חודש אפריל נגרמה, קרוב לוודאי, בעיקר כתוצר של הסגר הממושך שהיה בתוקף מאמצע חודש מרץ ועד לסוף חודש אפריל ולא ממגמת ההתחממות ההדרגתית.

בחודש מאי המשיכה התחממות מואצת, אשר הגיעה לשיאה בגל חום נדיר באמצע החודש, שבו שררו טמפרטורות מרביות של כ-40 מעלות צלזיוס במשך כשבוע. **אלא שגל חום קיצוני זה לווה בתנאי יובש ממושכים והלחות המוחלטת בימים אלה ירדה לערכים ממוצעים של 4-5 גר"/ק"ג (כלומר: מחוץ לטווח הנוחות של האדם ובתוך טווח תנאי הלחות לתחלואה מוגברת).** גל חום זה שינה את דפוסי ההתנהגות של האוכלוסייה – הוא הוביל לשימוש נרחב במיזוג אוויר ולהתרופפות השימוש במסכות פנים. בנוסף, הוא החל ימים ספורים לאחר שורה של הקלות בכללי הסגר והריחוק החברתי, וחפף לחזרת התלמידים לבתי הספר. שבועיים לאחר מכן החלה עלייה במספר הנדבקים.

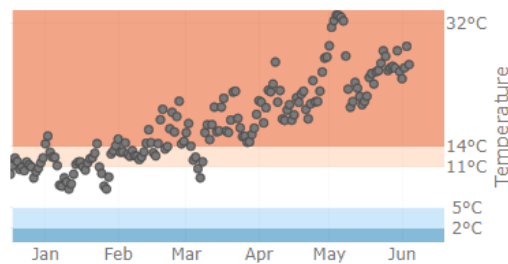
קצב ההדבקה האיץ בחודש יוני, בעת שההתחממות המשיכה ותנאים לתחלואה מוגברת בהיבט של טמפרטורה ולחות היו גבוהים מאלה שנחשבים אידאליים להתפשטות הנגיף. למרות מספר האבחונים הרב, בעוד קצב ההדבקה בעלייה, מספר החולים קשה עלה בצורה מתונה בלבד ומספר החולים המונשמים כמעט שלא עלה. אף כי יש לציין שגישת הטיפול השתנתה וכיום מטפלים בחמצן וממעטים לטפל בעזרת הנשמה. ההערכות הן כי התחלואה בתחילתו של הגל הנוכחי קלה יותר בעיקר משום שבשלב זה עיקר התחלואה הייתה באוכלוסייה צעירה, ולא בשל מזג האוויר.¹⁴

¹⁴ ראוי לציין גם שמספר הבדיקות גדל, ואף הקריטריונים לעריכת בדיקות השתנו. משלב מסוים נבדקו לא רק חולים עם תסמינים אלא גם מי שנחשף לחולה, אפילו בהיעדר תסמינים.

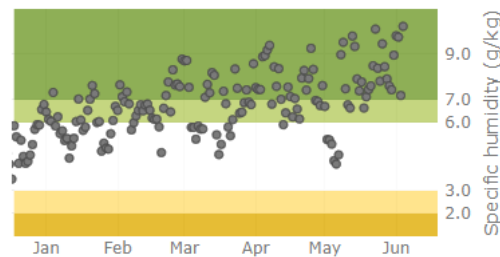
Israel



Cumulated number of deaths in Israel. Data is from the Johns Hopkins University Center for Systems Science and Engineering, without C3S quality control.



Daily average of the air temperature near the surface at the centre of the circle, not representative of the whole country.



Daily average of the specific humidity at mean sea level at the centre of the circle, not representative of the whole country.

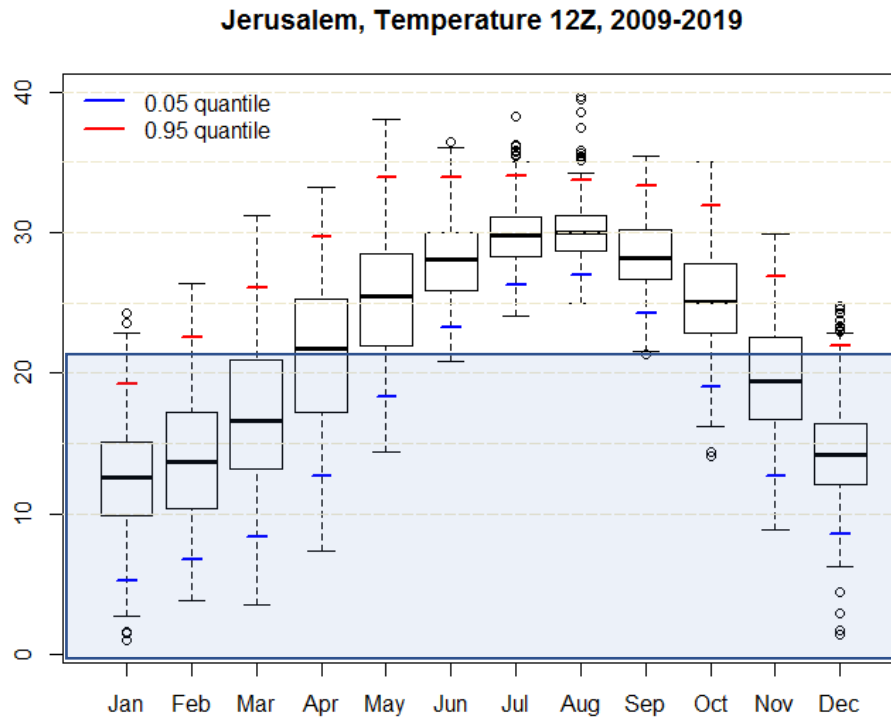
גרף 9 – נתוני התמותה מנגיף הקורונה ונתוני האקלים ממדינת ישראל במהלך שנת 2020. מקור: ECMWF Copernicus Climate Change Service

האקלים הצפוי בחודשים הקרובים

במטרה לתחום את התקופה שבה תנאי מזג האוויר נמצאים בטווח המוגדר כפוטנציאל לתחלואה מוגברת, אופיין משטר הטמפרטורה והלחות מוחלטת בשבע תחנות מדידה בישראל – צמח, חיפה, חוף ת"א, בית דגן, ירושלים, באר שבע ואילת – בין השנים 2009-2019. אלו מייצגות את האזורים הגיאואקלימיים בישראל: החוף, השפלה, הכרמל, הרי ירושלים, צפון הנגב, עמק הירדן והערבה (56). ההנחה היא כי ערכים ממוצעים לעשור האחרון מייצגים בצורה סבירה את תנאי האקלים בישראל ויכולים לשמש הערכה ראשונית לתנאים הצפויים בחודשים הקרובים.¹⁵

¹⁵ עשינו שימוש בממוצע בין הטמפרטורה בתצפיות 00z ובתצפיות 12z (00:00, 12:00 על פי שעון UTC) להערכת הטמפרטורה הממוצעת היומית. תצפיות 12z (12:00 על פי שעון UTC) שימשו להערכת טמפרטורת המקסימום. על פי רוב לא נמצאו הבדלים גדולים בין הלחות המוחלטת לפנות בוקר לזו שבשעות אחר הצהרים.

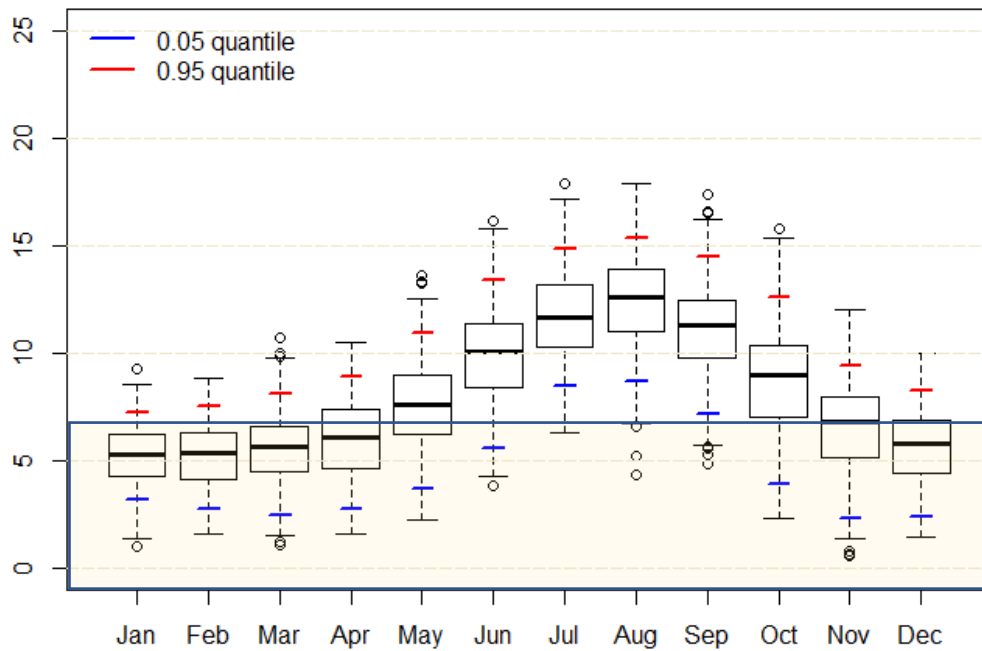
גרף 10 מציג את הטמפרטורה בירושלים בשעות הצהריים אל מול טווח תנאי הטמפרטורה לתחלואה מוגברת, וגרף 11 מציג את ממוצעי הלחות המוחלטת בירושלים אל מול טווח תנאי הלחות המוחלטת לתחלואה מוגברת:



גרף 10: הטמפרטורה בירושלים בשעות הצהריים אל מול טווח תנאי הטמפרטורה לתחלואה מוגברת¹⁶.

¹⁶ עיבוד השירות המטאורולוגי לתחנת מרכז ירושלים.

Jerusalem, Specific humidity 12Z, 2009-2019 (gr/Kg)



גרף 11: ממוצעי הלחות המוחלטת בירושלים בשעות הצהריים אל מול טווח תנאי הלחות המוחלטת לתחלואה מוגברת.¹⁷

הן תנאי הטמפרטורה הן תנאי הלחות המוחלטת בירושלים נמצאים בטווח המסוכן החל מחודש נובמבר ובמשך כל החורף, עד לתחילת האביב (דהיינו, בין החודשים נובמבר ואפריל). באופן דומה בדקנו את תקפות תנאי התחלואה המוגברת גם בתחנות המדידה האחרות. בטבלה 1 מרכזים הממצאים:

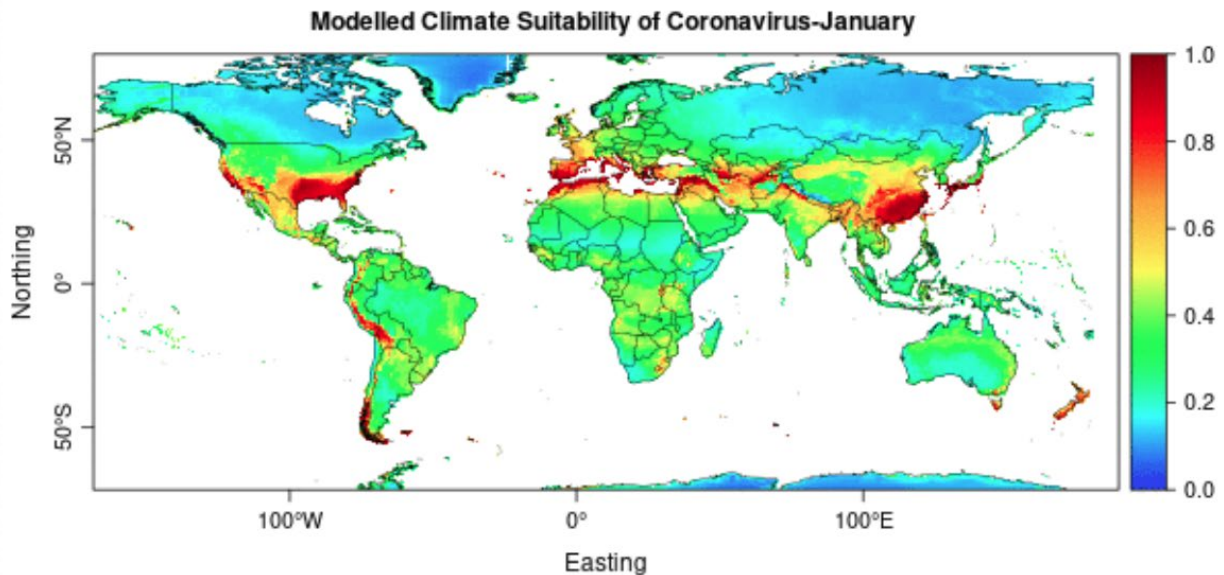
ישוב	טמפ' מקסימום מעל 22.5 מ"צ	טמפ' ממוצעת 4-15 מ"צ	לחות מוחלטת 3-6 גר"/ק"ג
ירושלים	+	+	+
צפת	+	+	+
ב"ש	+	+	~
בית דגן	+	+	~
חיפה טכניון	+	+	~
חיפה מפרץ	+	+	~
אילת			+
צמח		+	

טבלה 1: תקפות תנאי תחלואה מוגברת לפחות באחד מחודשי החורף. סומן + כאשר התנאי מתקיים עבור הממוצע באחד מחודשי מרכז החורף, דצמ'-פבר'. סומן ~ כאשר הממוצע מתאים לקצה התחום.

¹⁷ עיבוד השירות המטאורולוגי לנתוני תחנת מרכז ירושלים

נמצא כי המקומות הגבוהים – צפת, ירושלים, חיפה (טכניון), וכן באר שבע (המייצגת את צפון הנגב) – נמצאים בחורף (ובפרט בחודש ינואר) בתנאי התחלואה המוגברת. בית-דגן ומפרץ חיפה נמצאות על הגבול העליון של חסם הלחות (~ 6 גר/ק"ג), אילת וצמח נמצאות תחת קריטריון בודד (לחות וטמפ', בהתאמה). בינואר אילת נמצאת בטווח גבוה יותר של טמפרטורות (טמפרטורה ממוצעת 22, 12 מעלות צלזיוס ב-0Z, 12Z, בהתאמה) בהשוואה לשאר היישובים. צמח נמצאת בטווח גבוה יותר של לחות ספציפית (6-7 גר/ק"ג).

ממצאים אלו מתאימים למחקרם של Araújo and Naimi (1) ¹⁸ שממנו ניתן להסיק כי דרגת הסיכון המקסימלית לתחלואה בישראל מתקבלת בחודשי החורף דצמבר, ינואר, פברואר (1 בסקלה שבין 0 ל 1). בקיץ דרגת הסיכון מינימלי: ~ 0.1 , ובעונות המעבר ~ 0.3 . איור 5 מציג את הסיכוי לתחלואה בינואר.



איור 5: הסיכוי לתחלואה בינואר על פי: Araújo and Naimi (1) על פי תחזית זו הסיכוי לתחלואה נמוך יותר בנגב ובסיני במהלך כל השנה (לא מוצג).

יחד עם זאת, כפי שנסקר לעיל, בחינה של התפרצויות אחרות של מחלות נגיפים נשימתיים לא הצביעה על הבדל של ממש בין הערים השונות. למרות ההבדלים הדמוגרפיים, ההבדלים בצפיפות האוכלוסייה וההבדלים בתנאי האקלים, התפרצויות השפעת העונתיות היו מסונכרנות בכל רחבי הארץ. לפיכך, יש לשער שכל עוד לא תוטל הגבלת מעבר בין היישובים, גם התפרצות נוספת של COVID-19 לא תהיה מוגבלת רק לאזורים בהם תנאי מזג האוויר המתאימים ביותר אלא תתפשט בו זמנית בכל האזורים. שכן, על פי תוצאות המחקרים, נראה שהאפקט החברתי ומידת החיסון

<http://www.maraujolab.com/sars-cov-2-updated-climate-suitability-maps/> ¹⁸

באוכלוסיה הם הגורמים הדומיננטיים בהתפשטות המחלה. השפעת האקלים נותרה משנית, ולכן היא לא אמור לבוא לידי ביטוי בטווח המרחק הקצר בין הערים המצוי במדינת ישראל.

מסקנות:

- בהנחה שרמת החיסון באוכלוסייה בחורף הקרוב תישאר נמוכה, ושהתלות בטמפרטורה ובלחות תתאים לתלות שנמצאה בשלב הפנדמי הראשוני, שנצפתה בחודש אפריל, אזי, **בהתבסס על נתוני האקלים, בחודשי החורף קיים סיכוי גבוה יותר לתחלואה משמעותית.**
- למרות שתנאי האקלים בחורף קיצוניים יותר במקומות הגבוהים ובאזור צפון הנגב, ולכן אולי מסוכנים יותר לתחלואה, סביר להניח כי כל עוד לא תהיה הגבלת תנועה בין הישובים, התפרצות מחודשת בתקופת החורף תתרחש בו זמנית בכל האזורים.

1. Araújo, M. B., Naimi B. Spread of SARS-CoV-2 Coronavirus likely constrained by climate doi. <https://doi.org/10.1101/2020.03.12.20034728>
2. Bahnfleth, W.P. Managing HVAC systems to reduce infectious disease transmission. <https://betterbuildingsolutioncenter.energy.gov/sites/default/files/slides/Managing%20HVAC%20Systems%20to%20Reduce%20Infectious%20Disease%20Transmission%20-%20Slide%20Deck.pdf>
3. Baker, R. E. et al. *Science* 10.1126/science.abc2535 (2020).
4. Bere, J. Recirculated air falls foul of anti-Covid-19 drive <https://www.ribaj.com/intelligence/recirculation-of-air-in-buildings-passivhaus-fresh-air-heat-recovery-beats-covid-19-justin-bere>
5. Binti Hamzah, FA., Lau, C., Nazri H., Ligot DV., Lee G., Tan CL., et al. CoronaTracker: Worldwide COVID-19 Outbreak Data Analysis and Prediction. [Preprint]. *Bull World Health Organ*. E-pub: 19 March 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.20.255695>
6. Bloom-Feshbach, K., Alonso, W.J., Charu, V., Tamerius, J., Simonsen, L., Miller, M.A., Viboud, C. Latitudinal Variations in Seasonal Activity of Influenza and Respiratory Syncytial Virus (RSV): A Global Comparative Review *PLoS One*, 2013;8(2)
7. Broberg, E., Waris, M., Johansen, K., Snacken, R., Penttinen, P. Seasonality and geographical spread of respiratory syncytial virus epidemics in 15 European countries, 2010 to 2016. *Euro Surveill*. 2018; 23
8. Casanova, L.M., Jeon, S., Rutala, W.A., Weber, D.J., Sobsey, M.D. Effects of air temperature and relative humidity on coronavirus survival on surfaces *Appl Environ Microbiol*. 2010 May;76(9):2712-7.doi:10.1128/AEM.02291-09. Epub 2010 Mar 12.
9. Chaudhuri, S., Basu, S., Kabi, P., Unni, V.R., Saha, A. Modeling ambient temperature and relative humidity sensitivity of respiratory droplets and their role in Covid-19 outbreaks arXiv:2004.10929v3 [physics.flu-dyn] 29 Apr 2020
10. Chen, B., Liang, H., Yuan, X. et al. Roles of meteorological conditions in COVID19 transmission on a worldwide scale. *medRxiv*:20037168v1 [Preprint]. 2020 [cited 2020 March 24]. Available from <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.16.20037168v1> doi.org/10.1101/2020.03.16.20037168
11. Chin, A., Chu, J., Yen, H.L., Chan, M., Peiris, M., Poon, L. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions [https://www.thelancet.com/journals/lanmic/article/PIIS2666-5247\(20\)30003-3/fulltext#sec1](https://www.thelancet.com/journals/lanmic/article/PIIS2666-5247(20)30003-3/fulltext#sec1)
12. Chong, K.C., Liang, J., Jia, K.M., et al. Latitudes mediate the association between influenza activity and meteorological factors: A nationwide modelling analysis in 45 Japanese prefectures from 2000 to 2018. *Sci Total Environ*. 2020;703:134727. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134727
13. Cohen, J. Why do dozens of diseases wax and wane with the seasons — and will COVID-19? *Science* 2020 Mar. 13. Available: <https://www.sciencemag.org/news/2020/03/why-do-dozens-diseases-wax-and-wane-seasons-and-will-covid-19>
14. Dietz, L., Horve, P. F., Coil, D. A., Fretz, M., Eisen, J. A., Van Den Wymelenberga, K. 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Built Environment Considerations To Reduce Transmission, *MiniReview Applied and Environmental Science* 2020 Volume 5 Issue 2, msystems.asm.org Downloaded [from http://msystems.asm.org/](http://msystems.asm.org/) on May 3, 2020

15. Goldstein, 2020 <https://wattsupwiththat.com/2020/03/28/increased-indoor-humidity-may-decrease-coronavirus-covid-19-transmission/>
16. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041202031254X>
17. Huppert, A., Barnea, O. et al. Modeling and Statistical Analysis of the Spatio-Temporal Patterns of Seasonal Influenza in Israel. *PLOS ONE*, October 2012 , Volume 7 (10)
18. Wang, J. 2, Tang, K., Feng, K., Lin, X., Weifeng, Lv., Kun, C., Wang, F. High Temperature and High Humidity Reduce the Transmission of COVID-19 file:///home/user/Downloads/SSRN-id3551767.pdf
19. Jüni, P.M., Rothenbühler, P.B., Thorpe, K.E., R. da Costa, B., Fisman, D.N., Slutsky, A.S., Gesink, D. Impact of climate and public health interventions on the COVID-19 pandemic: a prospective cohort study *CMAJ* 2020 May 25;192:E566-73. doi: 10.1503/cmaj.200920; early-released May 8, 2020
20. Kassem, A.Z.E. Do Weather Temperature and Median-age affect COVID-1 Transmission? <https://doi.org/10.1101/2020.04.16.20067355>.
21. Kramer, D. COVID-19 pandemic modeling is fraught with uncertainties. *Physics Today* 73, 6, 25 (2020); doi: 10.1063/PT.3.4493
22. Kucharski, A. J., Russell, T.W., Diamond, C., Liu, Y., Edmunds, J., Funk, S., Eggo, R. M. *Lancet Infect Dis* 2020;20: 55358 Published Online March 11, 2020 [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30144-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30144-4)
23. XX
24. Last, M. The First Wave of COVID-19 in Israel - Initial Analysis of Publicly Available Data <https://doi.org/10.1101/2020.05.05.20091645>
25. Lipsitcha, M., Viboudb, C. Influenza seasonality: Lifting the fog. *PNAS* March 10, 2009, vol. 106 (10) 3645–3646
26. Liu, L. Y., Li Nielsen, P. V., Wei, J., Jensen, R. L. 2017b. Short-range airborne transmission of expiratory droplets between two people, *Indoor Air*; 27: 452–462
27. Liu, L., J. Wei, Y., Li, A. Ooi 2007 Evaporation and dispersion of respiratory droplets from coughing, *Indoor Air* 2017; 27: 179–190
28. Lowen, A.C., Steel, J. (2014) Roles of Humidity and Temperature in Shaping Influenza Seasonality. *Journal of Virology*, Vol. 88 , 14 p. 7692–7695, DOI: 10.1128/JVI.03544-13
29. Lowen, A.C., Mubareka, S., Steel, J., Palese, P. (2007) Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature, *PLoS Pathog*, 3, 1470–1476.
30. Lu, J., Gu, J., Li, K. et al. COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020 [published online ahead of print, 2020 Apr 2]. *Emerg Infect Dis*. 2020;26(7):10.3201/eid2607.200764. doi:10.3201/eid2607.200764
31. Luo, W., Majumder, M.S., Liu, D. et al. The role of absolute humidity on transmission rates of the COVID-19 outbreak. *medRxiv*: 20022467v1 [Preprint]. 2020 [cited 2020 March 24]. Available from: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.02.12.20022467v1> doi.org/10.1101/2020.02.12.20022467.
32. Merow, C. & Mark C. Urban Seasonality and uncertainty in COVID-19 growth rates doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.19.20071951>
33. Morawska, L. J.W., Tang, W., Bahnfleth, P.M., Bluysen, A., Boerstra, G., Buonanno, J., Cao, S., Dancer, A., Floto, F., Franchimon, C., Haworth, J., Hogeling, C., Isaxon, J.L., Jimenez, J., Kurnitski, Y., Li, M., Loomans, G., Marks, L.C., Marr, L., Mazzeo, A., Krikor Melikov, S., Miller, D.K., Milton, W., Nazaroff, P.V., Nielsen, C., Noakes, J., Peccia, X., Querol, C., Sekhar, O., Seppänen, S-i., Tanabe, R., Tellier, K., Wai Tham, P., Wargocki, A., Wierzbicka, M., Yao,

- How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised?, *Environment International* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>
34. Morawska, L., Junji C. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environment International* Volume 139, June 2020, 105730
 35. Miyu, M., Hugentobler, W J., Iwasaki, A. Seasonality of Respiratory Viral Infections *Annu. Rev. Virol.* 2020. 7:2.1–2.19
 36. Munster, V.J. 2020. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*. doi:10.1056/NEJMc2004973.
<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.09.20033217v1.full.pdf>
 37. Islam, N., Shabnam, S. A Mesut Erzurumluoglu, Temperature, humidity, and wind speed are associated with lower Covid-19 incidence doi:
<https://doi.org/10.1101/2020.03.27.20045658>.
 38. Nguyen, J.L., Schwartz, J., Dockery, D.W. The relationship between indoor and outdoor temperature, apparent temperature, relative humidity, and absolute humidity. *Indoor Air* 2014;24:103-12.
 39. Obando-Pacheco, Pablo Antonio Jos, Justicia-Grande, et al. Respiratory Syncytial Virus Seasonality: A Global Overview *J of Infectious Diseases JID* 2018:217 (1 May)
 40. Parsons, K. Human Thermal Comfort. *CRC Press*, 2019 ISBN 1000764613, 9781000764611
 41. Mecnas, P., Travassos da Rosa Moreira Bastos R., Carlos Rosário, A., Vallinoto, D. Normando. Effects of temperature and humidity on the spread of COVID 19: A systematic. 1 review 2 doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.14.20064923>
 42. Sajadi. M., Habibzadeh, P., Vintzileos, A., Shokouhi, S., Miralles-Wilhelm, F., Amoroso, A. Temperature and latitude analysis to predict potential spread and seasonality for COVID-19 doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.14.20064923>
 43. Shimmei, K., Nakamura, T., Ng CFS, et al. Association Between Seasonal Influenza and Absolute Humidity: Time-Series Analysis with Daily Surveillance Data in Japan. *Sci Rep.* 2020;10(1):7764. Published 2020 May 8. doi:10.1038/s41598-020-63712-2
 44. Smieszek, T., Lazzari, G., Salathé, M. Assessing the Dynamics and Control of Droplet- and Aerosol-Transmitted Influenza Using an Indoor Positioning System *Scientific Reports*, volume 9, Article number: 2185 (2019) <https://www.nature.com/articles/s41598-019-38825-y>
 45. Jamil, T., Intikhab, A., Takashi, G., Duarte, C. M. Temperature- independence of COVID-19 Epidemic, <https://doi.org/10.1101/2020.03.29.20046706>
 46. Tamerius, J. Uejio, C., Koss, J. Seasonal characteristics of influenza vary regionally across US. *PLOS ONE*, March 6, 2019
 47. Tamin, A., Harcourt, J.L., Thornburg, N.J., Gerber, S.I., Lloyd-Smith, J.O., de Wit, E. Triplett M. Evidence that higher temperatures are associated with lower incidence of COVID-19 in pandemic state, cumulative cases reported up to March 27, 2020
<https://doi.org/10.1101/2020.04.02.20051524>.
 48. Triplett M., Evidence that higher temperatures are associated with lower incidence of COVID-19 in pandemic state, cumulative cases reported up to March 27, 2020
<https://doi.org/10.1101/2020.04.02.20051524>
 49. Van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D.H., Holbrook, M.G., Gamble, A., Williamson, B.N.,
 50. Wang, M., Jiang, A., Gong, L., Luo, L., Guo, W., Li, C., Zheng, J., Chaoyong,, Li., Yang, B., Jietong Zeng, J., Youping Chen, Ke Zheng, Hongyan Li : Temperature significant change

- COVID19 Transmission in 429 cities, *medRxiv* 2020.02.22.20025791, doi:
<https://doi.org/10.1101/2020.02.22.20025791>, 2020
51. Wu, Y.W. Jing, J. Liu, et al. Effects of temperature and humidity on the daily new cases and new deaths of COVID-19 in 166 countries, *Science of the Total*
 52. Yaari, R. <https://israelhpr.org.il/research-abstracts>
 53. Yuguo, Li, Benjamin J., Cowling & Julian W. Tang. Recognition of aerosol transmission of infectious agents: a commentary Raymond Tellier, *BMC Infectious Diseases* volume 19, Article number: 101 (2019) <https://link.springer.com/article/10.1186/s12879-019-3707-y>
 54. L. Liu, J. Wei, Y. Li, A. Ooi, 2017a, Evaporation and dispersion of respiratory droplets from coughing Indoor Air; 27: 179–190
 55. Sobsey, M.D. and Meschke, J.S. (2003). Virus Survival In The Environment With Special Attention To Survival In Sewage Droplets And Other Environmental Media Of Fecal Or Respiratory Origin - Draft – August 21, 2003.
 56. 2003 גולדרייך, י. האקלים בישראל תצפיות חקר ויישום
 57. Moriyama, M., Hugentobler, W.J., Iwasaki, A. Annual. Seasonality of Respiratory Viral Infections *Review of Virology* March 16, 2020.
 58. Van Beusekom, M., News Writer, CIDRAP News, Apr 08, 2020 .Experts: COVID-19 pandemic unlikely to ebb as weather warms.
cidrap.umn.edu/news-perspective/2020/04/experts-covid-19-pandemic-unlikely-ebb-weather-warms
 59. Chin, A., Chu, J., Yen, H.L., Chan, M., Peiris, M., Poon, L. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions [https://www.thelancet.com/journals/lanmic/article/PIIS2666-5247\(20\)30003-3/fulltext#sec1](https://www.thelancet.com/journals/lanmic/article/PIIS2666-5247(20)30003-3/fulltext#sec1)
 60. Weber, T.P., Stilianakis, N.I. Inactivation of influenza A viruses in the environment and modes of transmission: a critical review. *J Infect.* 2008; 57(5):361-373.
 61. Nguyen, J.L., Dockery, D.W. Daily indoor-to-outdoor temperature and humidity relationships: a sample across seasons and diverse climatic regions *Int J Biometeorol.* 2016 February ; 60(2): 221–229. doi:10.1007/s00484-015-1019-5.
 62. Kiyong Lee, Daeyeop Lee. The relationship between indoor and outdoor temperature in two types of residence. *Energy Procedia* 78 (2015) 2851 – 2856
 63. Qian, H., Li, Y. Removal of exhaled particles by ventilation and deposition in a multibed airborne infection isolation room. *Indoor Air.* 2010;20:284–297.
 64. Dowell S.F. Seasonal variation in host susceptibility and cycles of certain infectious diseases. *Emerg Infect Dis.* 2001; 7(3):369-374.
 65. Cannell, J.J., Zaslhoff, M., Garland, C.F., Scragg, R., Giovannucci, E. On the epidemiology of influenza. *Virology*. 2008; 5:29.
 66. Lipsitch, M., Viboud, C. Influenza seasonality: Lifting the fog. *PNAS* March 10, 2009, vol. 106 (10) 3645–3646
 67. Luo et al., 2020, USA, : Changes in weather alone will not necessarily lead to declines in case counts without the implementation of extensive public health interventions.
<https://doi.org/10.1101/2020.02.12.20022467> medRxiv 17 Feb 2020
 68. Jüni, P.M., Rothenbühler, P.B., Thorpe, K.E., R. da Costa, B., Fisman, D.N., Slutsky, A.S., Gesink, D. Impact of climate and public health interventions on the COVID-19 pandemic: a prospective cohort study *CMAJ* 2020 May 25;192:E566-73. doi: 10.1503/cmaj.200920; early-released May 8, 2020

69. Setti, L., Passarini, F., Gianluigi de Gennaro, Di Gilio, A., Palmisani, J., Buono, P., Fornari, G., Perrone, M.G., Piazzalunga, A., Pierluigi Barbieri, P., Emanuele Rizzo, E., Miani, A. Evaluation of the potential relationship between Particulate Matter (PM) pollution and COVID-19 infection spread in Italy
<https://www.guapo-air.org/en/resource-center/health-impacts/evaluation-potential-relationship-between-particulate-matter-pm>
70. E. Bontempi/ First data analysis about possible COVID-19 virus airborne diffusion due to air particulate matter (PM): the case of Lombardy (Italy), *Environmental Research* Volume 186, July 2020, 109639 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109639>
71. Ficitola, F., Rubolini, D. Climate affects global patterns of COVID-19 early outbreak dynamics. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.03.23.20040501>
72. ICDC, www.health.gov.il/ICDC
73. – אגאי-שי, ק. השפעות הדדיות, ישירות ועקיפות, בין מגפת הקורונה, בריאות וסביבה. אפריל 2020, גיליון 1 – אקולוגיה וסביבה
74. Barnea, O., Huppert, A., Katriel, G., & Stone, L. (2014). Spatio-temporal synchrony of influenza in cities across Israel: the "Israel Is One City" hypothesis. *PLoS One*, 9(3), e91909.
75. Weber, T. P., & Stilianakis, N. I. (2008). Inactivation of influenza A viruses in the environment and modes of transmission: a critical review. *Journal of infection*, 57(5), 361-373.
76. Shaman, J., & Kohn, M. (2009). Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(9), 3243-3248.
77. Shaman, J., Pitzer, V. E., Viboud, C., Grenfell, B. T., & Lipsitch, M. (2010). Absolute humidity and the seasonal onset of influenza in the continental United States. *PLoS Biol*, 8(2), e1000316.
78. Yaari, R., Katriel, G., Stone, L., Mendelson, E., Mandelboim, M., & Huppert, A. (2016). Model-based reconstruction of an epidemic using multiple datasets: understanding influenza A/H1N1 pandemic dynamics in Israel. *Journal of The Royal Society Interface*, 13(116), 20160099.
79. Yaari, R., Katriel, G., Huppert, A., Axelsen, J. B., & Stone, L. (2013). Modelling seasonal influenza: the role of weather and punctuated antigenic drift. *Journal of The Royal Society Interface*, 10(84), 20130298.
80. Zhang, Renyi, Yixin Li, Annie L. Zhang, Yuan Wang, and Mario J. Molina. "Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19." *Proceedings of the National Academy of Sciences* (2020).
81. Prather, Kimberly A., Chia C. Wang, and Robert T. Schooley. "Reducing transmission of SARS-CoV-2." *Science* (2020).
82. World Health Organization Scientific brief "Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations" 29 March 2020. WHO reference number: WHO/2019-nCoV/Sci_Brief/Transmission_modes/2020.2

WMO <https://public.wmo.int/en/resources/coronavirus-covid-19/impacts-public-health>.

ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols

http://www.trane.tj/content/dam/Trane/Commercial/global/markets/healthcare/TCACS/ASHRAE_PD_Airborne_Infectious_Diseases_2009.pdf

REHVA <https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance>

REHVA COVID-19 guidance document, April 3, 2020

https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_ver2_20200403_1.pdf

NASEM National Academies of Science, Engineering, and Medicine: “Rapid Expert Consultation on SARS-CoV-2 Survival in Relation to Temperature and Humidity and Potential for Seasonality for the COVID-19 Pandemic (April 7, 2020) (2020).” <https://www.webmd.com/lung/coronavirus-heat>