

אסטרטגיית יציאה לחידוש פעילות המשק - קווים מנחים**הקדמה:**

בארגז הכלים להתמודדות עם התפרצות נגיף הקורונה ישנם אמצעים זמינים, זולים ובלתי מוגבלים כגון כללי ריחוק חברתי, היגיינה ושימוש במסכות. מנגד, ישנם "משאבי חוסר" שהשימוש בהם מוגבל כגון בדיקות, מערכים טכנולוגיים ל"סגירת מעגל" לאיתור ובידוד חולים, ומעקב אפידמיולוגי איכותי לבידוד אנשים אשר באו במגע עם חולים מאומתים.

משאבי חוסר אלו הינם מוגבלים מטבעם ומבוססים על הנחות שרק ניסיון הזמן יכיל. לדוגמא, מערך "סגירת המעגל" מניח כי אחוז החולים האסימפטומטיים (שהינם מדבקים אך מן הסתם לא יאותרו) נע בין 20% ל-50% מכלל החולים באוכלוסייה. כמו כן, הנחות לגבי שיתוף הפעולה האזרחי אשר יפגע לאורך זמן וישפיע על יעילות הכלי (שאננות בקרב אוכלוסיית סיכון נמוך ואי דיווח על סימפטומים). לפיכך, בתנאים מסוימים כגון 50% נבדקים אסימפטומטיים ואחוז משתפי פעולה נמוך, אפקטיביות ההכלה תהא נמוכה ואף עשויה להוביל להתפרצות מחודשת.

השאלה המרכזית באסטרטגיה המוצעת היא כיצד לחלק את המשאבים הזמינים ואלו המוגבלים באופן שיבטיח שליטה מלאה לאורך זמן עד שיגיע חיסון, תוך אפשרור שגרת חיים מקסימלית.

העקרון המוצע הינו להתמקד בחתך האוכלוסייה הרגיש ל"זליגה", דהיינו זליגה בהכלת ההתפשטות מכל סיבה שהיא אשר תוביל להצפת מערכת הבריאות ומשם לאחוזי תמותה גבוהים.

מהנתונים הקיימים בישראל¹, 84% מהמונשמים הינם בעלי מחלות רקע (הנפוצים ביותר: יתר לחץ דם, סוכרת, קרדיולוגי) או מעל גיל 65 קרי, אוכלוסייה בסיכון גבוה.

לפיכך:

- 1) מתבקש למקד את מירב המשאבים בחוסר לטובת האוכלוסייה בסיכון גבוה.
- 2) ברם, נדרש לקבוע האם זליגה בהכלת ההתפשטות בקרב האוכלוסייה בסיכון נמוך תוביל להצפת מערכת הבריאות.

עיקר החידוש במסמך זה הוא הטענה שע"י שימוש במשאבים הזמינים והבלתי מוגבלים של ריחוק חברתי, כללי היגיינה ומסכות ניתן להגן על האוכלוסייה בסיכון נמוך תוך הבטחה כי מערכת הבריאות לא תוצף. יתר על כן, אנו מציגים יישום של מודל SEIR כך ש"זליגות" אפשריות בין קבוצות אוכלוסייה וכן רמות תחלואה משתנות².

¹ על פי סקר בתי חולים (פנימי) שבוצע ביום ה-7.4.20

² A. Shashua, S. Shalev-Shwartz, *An Exit Strategy from the Covid-19 Lockdown based on Risk-sensitive Resource Allocation*. CBMM memo 106, MIT. April, 2020. <https://cbmm.mit.edu/publications/exit-strategy-covid-19-lockdown-based-risk-sensitive-resource-allocation>

אסטרטגיית יציאה לחידוש פעילות המשק - קווים מנחים**קווים מנחים:**

במאמר הראשון שפורסם על ידנו³, הונחו היסודות המתמטיים לבירור הטענה תוך שימוש במרווחי סמך סטטיסטיים ובהנחה שיש נתונים על אחוז הנשאים בקרב האוכלוסייה בסיכון נמוך ע"י מדגם אקראי. במסמך זה נשתמש בנתונים קיימים (ללא צורך בסקר) כדי לבצע חישוב מקורב (ללא מרווחי סמך) של הכמות המקסימלית של החולים המונשמים מהאוכלוסייה בסיכון נמוך, בהינתן התפשטות מעריכית של $R_0 = 1.4$ על פי מודל SEIR. דהיינו, חולה מדביק בממוצע 1.4 אנשים. מקדם הדבקה זה, בהינתן משמעת אזרחית גבוהה ובהסתמך על פרסומים בספרות⁴, מהווה נקודת מכוון סבירה וברת השגה.

כמו שניתן לראות בגרף המופיע בתרשים 2, לפי מודל SEIR, ובהנחה שזמן ממוצע לחולה מונשם הוא 11 ימים, זמן הדבקה הממוצע הינו 2.9 ימים וזמן הדגירה הממוצע הינו 5 ימים, אזי בשיא ההתפרצות אחוז החולים מקרב האוכלוסייה יהיה 6.7%. מכאן שמספר המונשמים בשיא ההתפרצות יהיה:

(גודל אוכלוסיית הסיכון הנמוך) X (אחוז החולים מקרבה) X (ההסתברות להזדקק להגשמה לנדבך מהאוכלוסייה בסיכון נמוך)

את ההסתברות להזדקק להגשמה ניתן לחשב מנתונים קיימים.

בתאריך ה-7.4.20 היו בישראל 19 חולים מונשמים מאוכלוסיית סיכון נמוך (מתוך סך של 115). 10 ימים קודם לכן היו כ-5,000 חולים מאומתים. את מספר החולים האמיתי ניתן להעריך מסקר שנערך לאחרונה באוסטריה⁵ המראה כי מספר החולים האמיתי הינו פי שניים עד פי חמישה ממספר החולים המאומתים. לפיכך, נניח שמספר הנדבקים האמיתי עמד על 10,000. מניחות התפלגות הגילאים של הנדבקים ניתן להסיק כי 15% הינם מעל גיל 65. נניח כי ישנם עוד כ-10% נדבקים מתחת לגיל 65 בעלי מחלות רקע אקוטיות. לכן, בהיעדר נתונים עם מרווח סמך מסקר מייצג, נקבל מהמידע הקיים ש:

$$\frac{\text{הסתברות להגשמה}}{\text{באוכלוסיית סיכון נמוך}} \approx \frac{19}{7650} = 0.0025$$

³ A. Shashua and S. Shalev-Shwartz. *Can we Contain Covid-19 without Locking-down the Economy?*, CBMM memo 104 MIT, 2020. <https://cbmm.mit.edu/publications/can-we-contain-covid-19-without-locking-down-economy>

⁴ Q. Li, X. Guan, P. Wu, X. Wang, L. Zhou, Y. Tong, R. Ren, K. S. Leung, E. H. Lau, J. Y. Wong, et al. Early transmission dynamics in wuhan, china, of novel coronavirus–infected pneumonia. *New England Journal of Medicine*, 2020.

⁵ COVID-19 Prevalence, SORA, April 10, 2020. https://www.sora.at/uploads/media/Austria_COVID-19_Prevalence_BMBWF_SORA_20200410_EN_Version.pdf

אסטרטגיית יציאה לחידוש פעילות המשק - קווים מנחים

גודל אוכלוסיית הסיכון הנמוך הינה 7 מיליון איש לערך (8.8 מיליון – 1.2 מעל גיל 65 – 600 אלף בעלי מחלות רקע אקוטיות). לפיכך:

$$\text{מס' המונשמים בשיא ההתפרצות} \approx 0.0025 \cdot 0.0675 \cdot 7 \cdot 10^6 = 1181$$

לא מן הנמנע שכמות החולים האמיתית גדולה משמעותית מפקטור 2. כאמור, על פי הסקר באוסטריה הפקטור יכול להגיע לכדי פי 5 וההסתמך על נתונים מאיסלנד ושוודיה אף עשוי להגיע לכדי פי 20⁶. משמע, כמות המונשמים בשיא ההתפרצות תנוע בין 468 ל-1,181 (בהינתן פקטור 5-2). ניתוח רגישות מלא ניתן למצוא בנספח ג' למסמך זה. אם כך, גם בהינתן הנחות מחמירות ביותר, הערכות ל-1200~ מונשמים תבוצע בנקל בהתחשב ביכולת מערכת הבריאות הקיימות ומנגנוני הרכש בישראל.

הטבלה מטה ממחישה כיצד מספר המונשמים המקסימלי מאוכלוסיית הסיכון הנמוך משתנה כפונקציה של R_0 ופקטור ההכפלה של מספר החולים המאומתים. כפי שניתן לראות, "זליגה" של התפשטות המחלה באוכלוסייה בסיכון נמוך אינה מתורגמת לעליה מעריכית בכמות המונשמים. נניח לדוגמא כי מקדם ההדבקה הינו 1.5 ("זליגה" מ1.4) ולכן בשיא ההתפרצות יהיו לפי מודל SEIR 9.25% חולים. בהתבסס של החישובים לעיל, הדבר מתורגם לכ-1,600 מונשמים.

מקדם הדבקה R_0	שעור תחלואה בשיא המגיפה (מכלל אוכלוסיית סיכון-נמוך)	מספר מונשמים מקסימלי- פקטור 2	מספר מונשמים מקסימלי- פקטור 4
1.2	2.46%	431	217
1.3	4.45%	779	392
1.4	6.76%	1183	596
1.5	9.26%	1621	817
1.6	11.85%	2074	1045

חשוב לציין שנתונים והערכות מדויקות ניתן לקבל ע"י מדגם סקר שקרוב לוודאי יקל על ההנחות המחמירות שנלקחו בנייתו הערכת מספר החולים האמיתי ביחס לחולים המאומתים.

המסקנה שממנה ניתן לגזור צעדים אופרטיביים, הינה שהרגישות לזליגה באוכלוסיית הסיכון הנמוך נמוכה דרמטית מהרגישות לזליגה בקרב האוכלוסייה בסיכון גבוה. יתר על כן, מדינת ישראל תוכל להיערך לכמות המונשמים המקסימלית תחת ההנחות המחמירות שנלקחו.

הרחבת המודל להתמודדות עם "זליגות" בין קבוצות הסיכון

ברור כי במציאות, בלתי אפשרי להשיג הפרדה הרמטית בין קבוצות אוכלוסייה. על כן, יש להביא בחשבון מקרי הדבקה בין-קבוצתיים (סיכון נמוך מדביק סיכון גבוה) ותוך-קבוצתיים (סיכון גבוה מדביק סיכון גבוה). במאמר

⁶ https://medium.com/@ali_razavian/covid-19-from-a-data-scientists-perspective-95bd4e84843b

אסטרטגיית יציאה לחידוש פעילות המשק - קווים מנחים

[2] אנו מציגים הרחבה מתמטית של מודל SEIR כך שיקליל בתוכו ארבעה מקדמי הדבקה שונים: $R_0^{l,l}$ - סיכון נמוך מדביק סיכון נמוך, $R_0^{l,h}$ - סיכון נמוך מדביק סיכון גבוה, $R_0^{h,l}$ - סיכון גבוה מדביק סיכון נמוך, $R_0^{h,h}$ - סיכון נמוך מדביק סיכון נמוך.

כאמור, אנו מניחים כי בקרב אוכלוסיית הסיכון הנמוך מקדם ההדבקה הינו $R_0^{l,l} = 1.4$, כך שאדם הנגוע במחלה מדביק בממוצע 1.4 אנשים נוספים. ההערכה היא כי מקדם ההדבקה מאדם באוכלוסיית הסיכון הנמוך לאדם באוכלוסיית הגבוה ($R_0^{l,h}$) יהיה נמוך לאין שיעור מאחר והציבור כבר מבין את הסכנה ואף הפגין משמעת אזרחית גבוהה. לפיכך, אנו מעריכים כי מקדם ההדבקה $R_0^{l,h}$ יהיה 0.02 (כלומר, 50 אנשים נגועים מאוכלוסיית הסיכון הנמוך ידביקו בממוצע אדם אחד מאוכלוסיית הסיכון הגבוה). לשם הסימטריה נעריך כי גם $R_0^{h,l}$ שווה ערך ל-0.02. כעת נותר לקבוע את שיעור ההדבקה התוך-קבוצתי בקרב אוכלוסיית הסיכון הגבוה. בהנחה כי אוכלוסייה זו נמצאת תחת הנחיות קפדניות של בידוד חברתי וכי מרבית המשאבים המוגבלים שהוזכרו לעיל מופנים אל קבוצה זו, אזי ניתן להעריך כי $R_0^{h,h} < 1$ ונקבע כי הינו 0.7. כפי שניתן לראות בתרשים 1, הדבר מתרגם לכ-872 מכונות הנשמה, נוסף על 1181 המיטות עבור הנדבקים מאוכלוסיית הסיכון הנמוך.

לסיכום, כשלוקחים בחשבון את ההדבקות הבין-קבוצתיות והתוך-קבוצתיות, יחד עם ההערכה המחמירה כי מספר החולים האמיתי גדול פי 2 ממספר החולים הידועים, המסקנה היא כי מספר מכונות הנשמה הנדרשות הינו 2053 - כלומר 20 מכונות ל-100,000 תושבים.

צעדים אופרטיביים

ההצעה האופרטיבית אינה משנה את סל האמצעים והמשאבים אלא את אופן המיקוד שלהם. מתוקף הרגישות הנמוכה לזליגה באוכלוסיית סיכון נמוך, ניתן לשחרר את הסגר מעל אותה אוכלוסייה בכפוף להנחיות ריחוק חברתי, כללי היגיינה ומסכות. בד בבד, יתאפשר להחזיר את הכלכלה ומערכת החינוך לשגרה ואילו את ענף הקמעונאות, הפנאי והמסעדות להחזיר בכפוף למגבלות. **מרווח הטעות הגבוה מאפשר גמישות רבה במינון שחרור הסגר.**

במקביל, אוכלוסיית הסיכון הגבוה תתנהל בכפוף להנחיות ריחוק חברתי מוקפדות יותר כאשר משאבי "סגירת מעגל" יופנו בעיקר לאוכלוסייה זו ולאילו המטפלים בהם (בתי אבות, בתי חולים וכו'). בקרב אוכלוסייה זו הרגישות ל"זליגה" היא גבוהה (עם סיכון להצפת מערכת הבריאות) ולכן, מתבקש שהמשאבים היקרים והמוגבלים יופנו במשקל גבוה יותר למניעת זליגה בהתפשטות הנגיף בקרב אנשים בסיכון גבוה. ע"י מעקב אחר חולים קשים באוכלוסייה זו ניתן לשלוט במינון הכבדת ההנחיות ותקנות הריחוק החברתי.

באשר לתמותה, חשוב לציין שבהפרדה על פי קבוצות סיכון כפי שמוצע כאן, סך התמותה על פני כלל האוכלוסייה יהיה נמוך יותר בהשוואה לשיטות החלוקה באופן רוחבי על כלל האוכלוסייה. האלטרנטיבה הינה סגר מתמשך, או סבבי פתיחה ושחרור מתמשכים של סגר בהתאם לאפקטיביות "סגירת המעגל" בכלל

אסטרטגיית יציאה לחידוש פעילות המשק - קווים מנחים

האוכלוסייה. כאמור, הצלחת "סגירת המעגל" תלויה באחוז אסימפטומטיים נמוך, שיתוף פעולה גבוה מצד כלל האוכלוסייה לאורך זמן, סגירת מעגל מהירה (24 שעות לעומת 7 ימים היום) וכמות בדיקות יומיות גבוהה.

את שיעור התמותה הצפוי בקרב אוכלוסיית הסיכון הנמוך, אשר במסגרת המודל הנ"ל נחשפים במודע להידבקות, ניתן לחשב כדלקמן: כיום, בישראל ידוע על 0 מקרי תמותה בקרב אוכלוסיית הסיכון הנמוך. בהינתן שישנם לפחות 19 מונשמים מקבוצת הסיכון הנמוך, במקרה הגרוע, ההסתברות למוות בקרב אוכלוסיית הסיכון הנמוך הינה $\frac{1}{19}$ מההסתברות להזדקק להנשמה בקרב אוכלוסיית הסיכון הנמוך (בהינתן הדבקה), קרי $0.013\% = \frac{0.0025}{19}$. בהינתן מקדם הדבקה של 1.4, שיעור הנדבקים המצטבר על פני אורך חיי המחלה (200 ימים לערך) עשוי להגיע לכ-48% מאוכלוסיית הסיכון הנמוך. לפי מודל SEIR הנ"ל מתרגם לכ-442 מקרי תמותה בקרב אוכלוסיית הסיכון הנמוך במקרה הגרוע, תחת הנחת פקטור הכפלה 2 (יחס בין חולים ידועים למספר החולים האמיתי באוכלוסייה). ככל שפקטור ההכפלה גבוה יותר כך קטנה ההסתברות למוות בקרב האוכלוסייה בסיכון נמוך. להלן ניתוח רגישות למקרי התמותה בקרב אוכלוסיית הסיכון הנמוך כפונקציה של מקדם ההדבקה ופקטור הכפלה.

מספר מתים מקסימלי- פקטור 10	מספר מתים מקסימלי- פקטור 4	מספר מתים מקסימלי- פקטור 2	שעור מצטבר(מכלל אוכלוסיית סיכון-נמוך) R_0	מקדם הדבקה
42	107	212	23%	1.2
61	153	304	33%	1.3
88	223	442	48%	1.4
101	255	507	55%	1.5
120	302	599	65%	1.6

אסטרטגיית יציאה לחידוש פעילות המשק - קווים מנחים

נספח א' - מודל SEIR:

מודל ה-SEIR (Susceptible-Exposed-Infected-Recovered) הינו מודל אפידמיולוגי בסיסי לאפיון דינמיקות של מחלות מדבקות. במודל זה, האוכלוסייה מחולקת לארבע תתי קבוצות:

- I. S - אנשים שטרם נדבקו במחלה
- II. E - נחשפו אך עדיין אינם חולים ואינם מדבקים אחרים
- III. I - נדבקו במחלה ומדבקים אחרים.
- IV. R - אנשים שאינם מדבקים עוד (החלימו, נפטרו, עדיין חולים אך לא מדבקים).

גודל האוכלוסייה (N) הינו הסכום של ארבעת הקבוצות הנ"ל ואילו גודלן של הקבוצות משתנה מידי יום. על כן, נגדיר את $S[t], E[t], I[t], R[t]$ כמספר האנשים בכל קבוצה ביום t . עדכון גודל הקבוצות מבוצע כדלקמן:

- (1) נגדיר את τ_i כמספר הימים הממוצע בו אדם יכול להדביק אחרים. כאמור, הגדרנו את קבוצת R ככאלו שאינם עוד יכולים להדביק אחרים (בין אם כי החלימו, נפטרו, וכו'). על כן, בכל יום $\frac{1}{\tau_i}$ אנשים עוברים מקבוצת הנדבקים (I) אל קבוצת המחלימים (R). ומכאן:

$$R[t + 1] = R[t] + (1/\tau_i) I[t]$$

- (2) נגדיר את τ_e כמספר הימים הממוצע מרגע בו אדם נחשף לוירוס, עד אשר הוא הופך מדבק. על כן, בכל יום $\frac{1}{\tau_e}$ אנשים עוברים מקבוצת הנחשפים (E) אל קבוצת המדבקים (I). ומכאן ש:

$$I[t + 1] = I[t] - (1/\tau_i) I[t] + (1/\tau_e) E[t]$$

- (3) מקדם ההדבקה R_0 הינו מספר האנשים בממוצע שאדם הנושא את הוירוס ידביק, בהינתן ויפגוש אך ורק אנשים הניתנים להדבקה, קרי קבוצה S . ההסתברות לפגוש אדם מקבוצה S ביום נתון t הינה $S[t]/N$. לפיכך, מספר האנשים שאדם מדבק ידביק ביום t הינו $R_0 S[t]/N$. בהסתכלות על פני τ_i ימי

$$S[t + 1] = S[t] - I[t] R_0 S[t]/(N\tau_i)$$

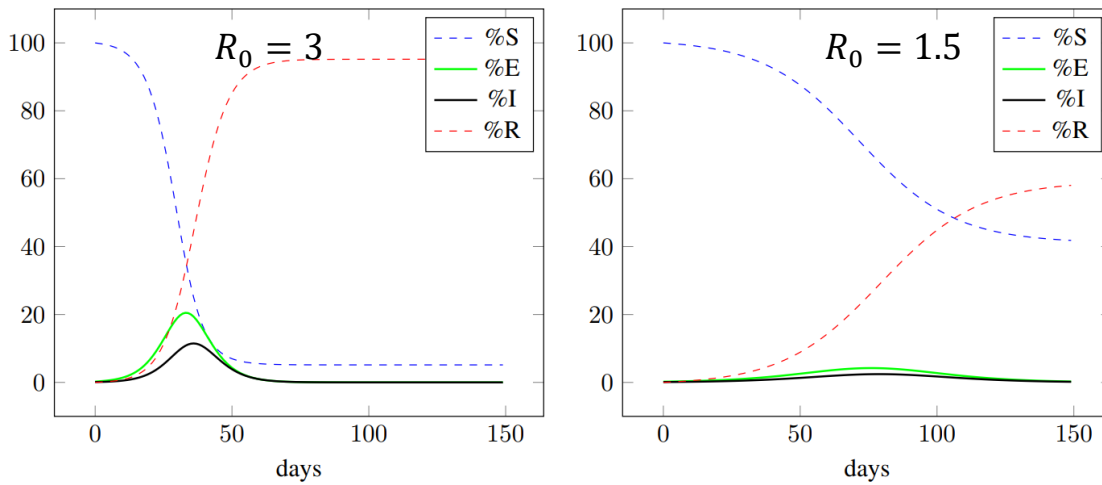
הדבקה, אנו מקבלים שבכל יום, אדם מדבק ידביק $(S[t]/N) \cdot (1/\tau_i) \cdot R_0$ אנשים. לפיכך:

(4) ובנוסף:

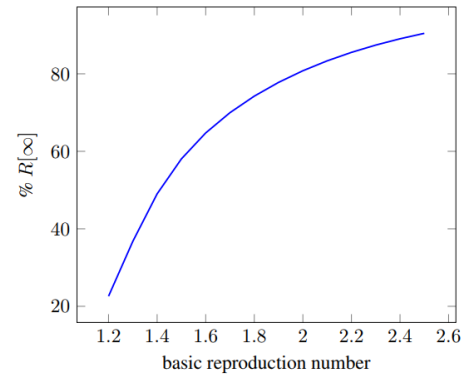
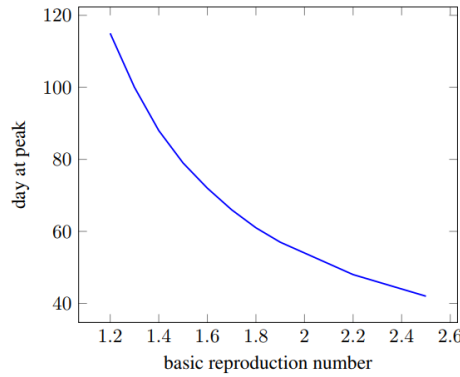
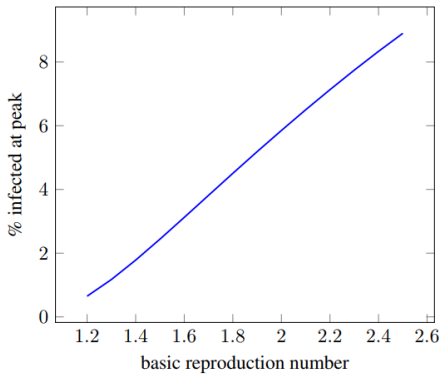
$$E[t + 1] = E[t] + I[t] R_0 S[t]/(N\tau_i) - (1/\tau_e) E[t]$$

אסטרטגיית יציאה לחידוש פעילות המשק - קווים מנחים

לשם המחשה, הגרפים מטה מתארים את הערכים $\frac{S[t]}{N}, \frac{E[t]}{N}, \frac{I[t]}{N}, \frac{R[t]}{N}$ בהינתן $t_i = 2.9, t_e = 5, R_0 = 3$. כפי שניתן לראות, עקומת הקבוצה שטרם נדבקו (S) יורדת במונוטוניות, בעוד שעקומת המחלימים (R) עולה במונוטוניות. קבוצת הנדבקים (I) והחשופים (E) מייצרות "עקומת פעמון", כשבתחילה העקומה עולה בחדות וכן יורדת בחדות לאחר השיא. מקדם ההדבקה R_0 קובע עד כמה העקומה שטוחה או תלולה, מה הערך בשיא העקומה, ובאיזה יום מתרחש אותו שיא. מקדם ההדבקה קובע גם את מספר האנשים בקבוצת המחלימים (R) בסוף חיי המגיפה (אנשים שחלו והחלימו, או נפטרו). בגרפים האמורים, ניתן לראות את הערך בשיא ההתפרצות, מתי מתרחש שיא ההתפרצות, וכן גודל קבוצת המחלימים בסוף ההתפרצות כפונקציה של מקדם ההדבקה R_0 .



תרשים 1: מודל SEIR עם הפרמטרים הבאים: $t_i = 2.9, t_e = 5$



תרשים 2: השפעת מקדם ההדבקה

אסטרטגיית יציאה לחידוש פעילות המשק - קווים מנחים

מודל SIR: במודל SIR הבסיסי ישנן שלוש קבוצות בלבד:

- I. -S אנשים שטרם נדבקו במחלה.
- II. -I נדבקו במחלה ומדבקים אחרים.
- III. -R אנשים שאינם מדבקים עוד (החלימו, נפטרו, עדיין חולים אך לא מדבקים).

להלן הנוסחאות:

$$\begin{aligned} S[t+1] &= S[t] - I[t] R_0 S[t] / (N \tau_i) \\ I[t+1] &= I[t] + I[t] R_0 S[t] / (N \tau_i) - (1/\tau_i) I[t] \\ R[t+1] &= R[t] + (1/\tau_i) I[t] \end{aligned}$$

הנגזרת (השינוי) של $I[t]$ הינה:

$$I[t+1] - I[t] = (R_0 S[t] / (N \tau_i) - (1/\tau_i)) I[t].$$

שיא המגיפה מתקבל כאשר הנגזרת הנ"ל שווה לאפס, ומאותה נקודה מספר הנדבקים ילך וירד לאורך זמן. בהתבסס על הטענה לעיל, שיא המגיפה יהיה כאשר $\frac{S[t]}{N} = \frac{1}{R_0}$. נסמן את החלק באוכלוסייה שאינו נמנה על קבוצה S כ- $\Phi[t] := 1 - \frac{S[t]}{N}$. כעת מתקבל כי שיא המגיפה יהיה כאשר $\Phi[t] = 1 - \frac{1}{R_0}$. יש להדגיש כי נוסחאות אלו אינן תקפות למודל ה-SEIR. בכל מקרה, אין צורך בהתבססות על הנוסחאות הללו על מנת לאפיין את הדינמיקה השלמה של המחלה (כפי שמופיע בנספח ב').

אסטרטגיית יציאה לחידוש פעילות המשק - קווים מנחים

נספח ב' - מודל SEIR עם חלוקה לקבוצות סיכון:

בנספח זה נביא תיאור של מודל SEIR הכולל בתוכו שתי קבוצות אוכלוסייה: קבוצת סיכון גבוהה (h) וקבוצת סיכון נמוך (l). כאמור, במודל SEIR סטנדרטי, מחולקת האוכלוסייה לארבעה שלבי הדבקות. ועל כן, כאשר האוכלוסייה מחולקת לשתי תתי קבוצות, עלינו לאפיין את ארבעת שלבי ההידבקות לכל אחת תתי הקבוצות קרי, שמונה קבוצות שונות כפונקציה של זמן $[t]$: $S^l[t], E^l[t], I^l[t], R^l[t], S^h[t], E^h[t], I^h[t], R^h[t]$.
 אנו מניחים ריחוק חברתי מוגבל בתוך קבוצת הסיכון הנמוך, וריחוק חברתי קפדני בין קבוצת הסיכון הנמוך לקבוצת הסיכון הגבוהה, כמו גם בתוך קבוצת הסיכון הגבוהה עצמה. הנ"ל מאופיין בארבעה מקדמי הדבקה שונים: $R_0^{l,l}$ - סיכון נמוך מדביק סיכון נמוך, $R_0^{l,h}$ - סיכון נמוך מדביק סיכון גבוה, $R_0^{h,h}$ - סיכון גבוה מדביק סיכון נמוך, $R_0^{h,h}$ - סיכון גבוה מדביק סיכון גבוה. המשוואות ל I^l, I^h, R^l, R^h זהות למשוואות במודל ה SEIR הבסיסי. השוני טמון ביחסי הגומלין בין קבוצת S לקבוצת E . כל אדם מקבוצת הנדבקים באוכלוסיית הסיכון הנמוך (I^l) ידביק ביום $\frac{R_0^{l,l}}{\tau_i}$ אנשים, במקרה ויפגוש אדם מקבוצת S^l (ההסתברות לכך הינה $\frac{S^l}{N^l}$). בנוסף לכך, אותו אדם ידביק $\frac{R_0^{l,h}}{\tau_i}$ אנשים ביום, במקרה ויפגוש אדם מקבוצת S^h (ההסתברות לכך הינה $\frac{S^h}{N^h}$). הנ"ל תקף גם לאנשים בקבוצת I^h .

לפיכך:

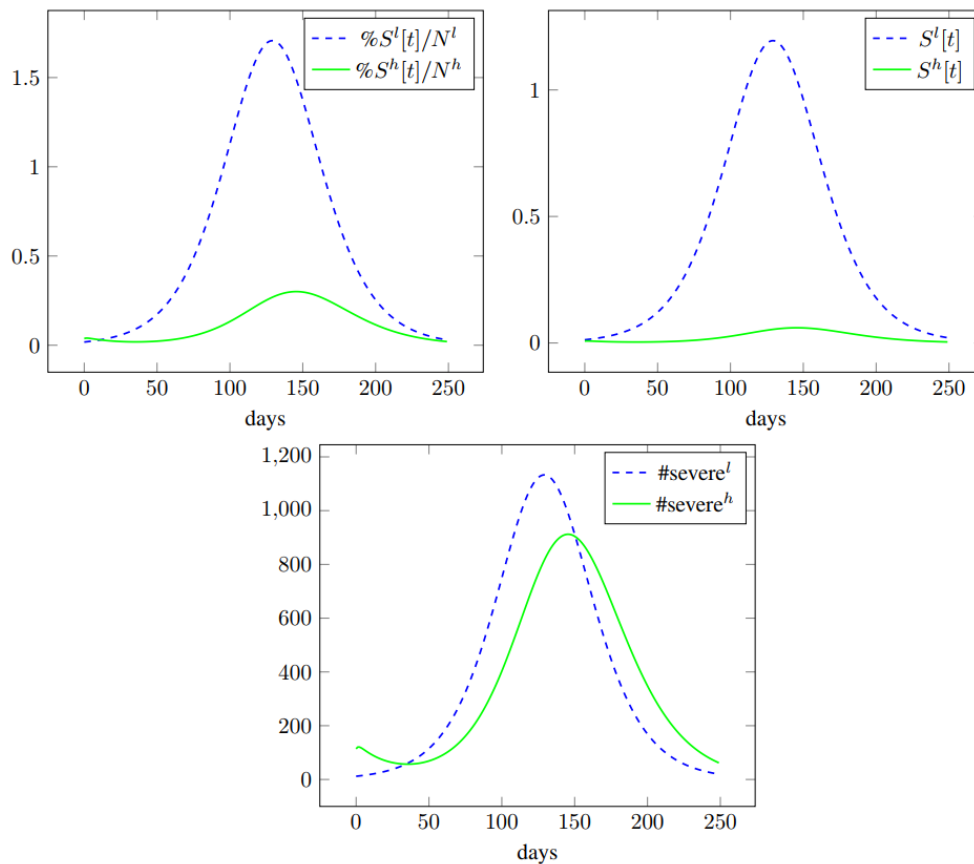
$$\begin{aligned}
 S^l[t+1] &= S^l[t] - (R_0^{l,l}/\tau_i) (S^l[t]/N^l) I^l[t] - (R_0^{h,l}/\tau_i) (S^l[t]/N^l) I^h[t] \\
 S^h[t+1] &= S^h[t] - (R_0^{h,h}/\tau_i) (S^h[t]/N^h) I^h[t] - (R_0^{l,h}/\tau_i) (S^h[t]/N^h) I^l[t] \\
 E^l[t+1] &= E^l[t] + S^l[t] - S^l[t+1] - (1/\tau_e) E^l[t] \\
 E^h[t+1] &= E^h[t] + S^h[t] - S^h[t+1] - (1/\tau_e) E^h[t] \\
 I^l[t+1] &= I^l[t] - (1/\tau_i) I^l[t] + (1/\tau_e) E^l[t] \\
 I^h[t+1] &= I^h[t] - (1/\tau_i) I^h[t] + (1/\tau_e) E^h[t] \\
 R^l[t+1] &= R^l[t] + (1/\tau_i) I^l[t] \\
 R^h[t+1] &= R^h[t] + (1/\tau_i) I^h[t]
 \end{aligned}$$

אסטרטגיית יציאה לחידוש פעילות המשק - קווים מנחים

הגרפים בתרשים 3 מתארים את אחוז הנדבקים בשתי האוכלוסיות תחת את הפרמטרים הבאים :

$$R_0^{l,l} = 1.4, R_0^{h,h} = 0.7, R_0^{l,h} = R_0^{h,l} = 0.2, t_i = 2.9, t_e = 5, N^l = 2,000,000, N^h = 7,000,000$$

מקדמי ההדבקה הנ"ל מבוססים על ההנחה כי בתוך קבוצת האוכלוסייה בסיכון נמוך חלים כללי ריחוק חברתי מוגבלים (שעדיין מאפשרים שגרת חיים) ואילו בתוך קבוצת האוכלוסייה בסיכון גבוהה חלים כללי ריחוק חברתי קפדניים, וכן מופעלים אמצעים למניעת ההתפשטות (מערך בדיקות, "סגירות מעגל" מהירה וכו'). בנוסף, כל מגע בין הקבוצות יעשה תוך שימוש בציוד מגן (מסכות, כפפות וכו').



תרשים 3 : מודל SEIR המלא, המשלב בתוכו את הפרמטרים הבאים:

$$R_0^{l,l} = 1.4, R_0^{h,h} = 0.7, R_0^{l,h} = R_0^{h,l} = 0.2, t_i = 2.9, t_e = 5, N^l = 2,000,000, N^h = 7,000,000$$

הגרף התחתון מראה את מספר המונשמים תחת ההנחה המחמירה כי ההסתברות להנשמה בהינתן הדבקה בקרב אוכלוסיית הסיכון הנמוך ואוכלוסיית הסיכון הגבוהה הינה 0.025% ו-4% בהתאמה. שאר החישובים זהים לחישובים בגוף המאמר.