

ביולוגיה חישובית – תרגיל 1

קישור לגיט: [peleg5050/Biology \(github.com\)](https://github.com/peleg5050/Biology)

(בגייט מופיעים כל שלושת קבצי הפיתון המרכיבים את התוכנית שבנינו, הדוח הנ"ל, ובפרט קובץ ההרצה ע"י לחיצה - covidModel.exe)

הנחיות והסבר הרצה:

כדי להריץ נדרשת מערכת הפעלה/ סביבת עבודה שיוודעת להריץ פייטון כגון pycharm , anaconda , vsCode .

אנו פיתחנו את המודל בסביבת עבודה pycharm ואף ביצענו את ההרצות לבדיקת המודל בסביבה זו, על כן במידה ובוחרים להריץ את התוכנה בסביבת עבודה כלשהי מומלץ להשתמש בסביבה הנ"ל.

ישנן שתי דרכים להריץ את התוכנה שבנינו:

דרך ראשונה הינה ע"י לחיצה כפולה (דאבל קליק) על הקובץ ה- covidModel.exe אשר מופיע בתיקית הזיף אשר העלנו. יש לשים לב כי הרצה בדרך הנ"ל דורשת את קיומם של הספריות:

pygame , matplotlib , numpy , tkinter , על כן יש לוודא שאכן ספריות אלו אכן מותקנות במכשיר. מכיוון שקובץ מסוג exe אינו מאפשר קיום של קוד אשר מבצע התקנה אוטומטית של הספריות הנ"ל אזי במידה והספריות אינן קיימות ניתן להוריד אותן בקלות באופן ידני או לחילופין להריץ את התוכנית לפי הדרך השנייה (שגם היא כמובן חוקית ומכילה התקנה אוטומטית של הספריות הנ"ל כהערה בשורות הראשונות של התוכנית).

דרך שנייה הינה ע"י ביצוע ההרצה עצמה ישירות מהטרמינל, על כן, ראשית יש לפתוח טרמינל חדש בסביבת העבודה, ובו לכתוב py covidModel.py ולאחר מכן יש ללחוץ enter .

יתכן כי בסביבת עבודה אחרת פקודת ההרצה תהייה: python covidModel.py או לחילופין את הפקודה python3 covidModel.py

דאגנו לשים בתחילת התוכנית בהערה קטע קוד אשר תפקידו להתקין בצורה אוטומטית לגמרי את הספריות הרלוונטיות לצורך ההרצה:

```
"""
toInstall = {'numpy', 'tqdm', 'matplotlib', 'pygame'}
allReadyInstalled = {pkg.key for pkg in pkg_resources.working_set}
finalToInstall = toInstall - allReadyInstalled
if finalToInstall:
    python = sys.executable
    subprocess.check_call([python, '-m', 'pip', 'install', *finalToInstall], stdout = subprocess.DEVNULL)
"""
```

לכן במידה ובוחרים בהרצה בעזרת שיטה זו תחילה יש להוריד את הסימון של ההערה (שמיוצג ע"י: """) ולאחר מכן לבצע את ההרצה. חשוב מאוד לשים לב, במידה ולאחר שלבים אלו עדיין יש כשל בהרצה יתכן כי אחת מן הספריות הבאות לא מותקנת (בפרט הספרייה tkinter , כאשר הדבר יכול להיגרם עקב גרסאות שונות של ספריות קיימות כגון pip , אשר דורשות התקנה עצמאית של הספריות ע"י הקוד: pip install LIBRARY_NAME : matplotlib , pygame , numpy , random , tkinter , ולכן, כדי שתוכלו להנות מהמודל עליכם להתקין את הספריות הנ"ל במחשב בו מתבצעת ההרצה (ע"י לחיצה על הצעת ה import שסביבת העבודה תציע במקרה שכזה).

קצת על הפרויקט:

יצרנו מעיין אפליקציית desktop אשר מדמה מודל הדבקה לנגיף הקורונה (בהתאם להנחיות שסופקו לנו בתרגיל).

האפליקציה בעלת ממשק נגיש ונוח למשתמש כך שגם אדם שלא מבין כלל בתכנות יוכל להריץ בקלות את התוכנית ולהנות ממנה.

מסכים:

• מסך ראשון:

כאשר נריץ את התוכנית נשים לב כי במסך הראשון ישנו דף עם תצוגה גרפית, נוחה ויזוית למשתמש, בה ניתן לקבוע את ערכי הפרמטרים הבאים:

P LOW – הסיכוי להדבקה במידה ואחוז החולים גדול מ T.

P HIGH – הסיכוי להדבקה במידה ואחוז החולים קטן מ T.

X – מספר דורות עד להחלמה (כלומר מספר הדורות שיעברו מהרגע שתא נהיה נגוע ועד שהוא מחלים כך שתא נגוע נשאר נגוע ומדביק ל X דורות).

N – מספר היצורים.

D – אחוז היצורים אשר נגועים בקורונה במצב ההתחלתי (כלומר אחוז החולים הראשוני).

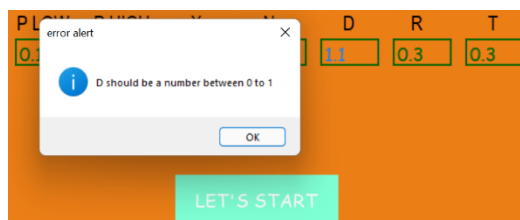
R – אחוז היצורים אשר נעים מהר (יותר ביחס לשאר היצורים) (יצורים אלו ישנו את מיקומם ב 10 תאים בכל דור בעוד שהיצורים הרגילים ישנו את מיקומם בתא אחד בכל דור).

T – ערך סף (של אחוז החולים) לשינוי P כפונקציה של מצב התחלואה, כלומר T הינו אחוז החולים שנקבע כך שממנו ומעלה סיכוי ההדבקה יהיה P LOW (כיוון שיש אחוז גבוהה של חולים אזי אנשים יותר שומרים ולכן סיכוי ההדבקה נמוך יחסית) ועבור אחוז חולים שקטן מ T נקבע את סיכוי ההדבקה להיות P HIGH (כיוון שיש אחוז נמוך יחסית של חולים אזי אנשים פחות שומרים ולכן סיכוי ההדבקה גבוהה יחסית).

ההסבר הנ"ל מופיע גם כן בצורה תמציתית ועניינית במסך הראשי, כך שקל להבין את המשמעות המשתנים בעת מילוי ערכי השדות.

נשים לב כי המשתנים הנ"ל מגיעים עם ערכי ברירת מחדל למען הנוחות אך ניתן לשנות אותם ע"י לחיצה על השדה הרצוי והזנת הערך החדש אותו נרצה להזין.

בנוסף כחלק מהמשק הנוח הוספנו פיצ'ר של הודעות popup אשר יקפצו ברגע שהמשתמש יזין ערך לא חוקי / לא בטוח הערכים החוקיים עבור כל אחד מהשדות שניתן למלא. באופן זה המשתמש לא יוכל להתחיל לצפות באוטומט עד אשר יתקן לערכים חוקיים ובכך נספק ממשק ברור, בטוח ונוח למשתמש.



כמו כן, ניתן לראות בתחתית העמוד כי ישנו מקרא אשר מציג בצורה ברורה את המשמעות של כל צבע תא באוטומט (צבעו של תא ריק / תא עם יצור בריא / תא עם יצור חולה כלומר נגוע \ תא עם יצור מחלים).

לאחר הזנת השדות יש ללחוץ על הכפתור המעוצב "LET'S START" ובכך נעבור אל המסך השני.

תמונה של המסך הראשון:

Set All The Values

P LOW	P HIGH	X	N	D	R	T
0.1	0.9	3	14000	0.1	0.3	0.3

LET'S START

P LOW - Chance of being infected when the patients percent is greater than T.
P HIGH - Chance of being infected when the patients percent is less than T.
X - Number of generations until recovery.
N - The number of creatures.

D - Percentage of the infected creatures in the initial state.
R - Percentage of creatures that move faster.
T - Threshold value of the percentage of patients to change the value of P as a function of the disease state.

■ = Empty cell | □ = Healthy creature | ■ = Sick creature | ■ = Recovering creature

• מסך שני:

במרכז המסך הנ"ל נמצא אוטומט בגודל 200×200 תאים (כנדרש בתרגיל זה) במודל של WRAP AROUND. נשים לב כי האוטומט מאוכלס ב N יצורים (מספר שנקבע ע"י המשתמש במסך הראשון), אשר מתוכם יש אחוז של D יצורים שמתחילים כנגועים בקורונה (לבקשת המשתמש).

ניתן לראות באוטומט את התזוזה של היצורים כתלות בדורות ואף אם נשים לב ניתן לראות כי ישנם יצורים (R אחוזים מהיצורים) שנעים מהר יותר בכל דור מאחרים (כדי לא לבלבל בחרנו שגם המהירים וגם הרגילים יהיו באותו הצבע אחרת זה נראה עמוס ללא כל צורך). בנוסף ניתן לראות באוטומט את ההדבקה של היצורים שנגועים בנגיף את אלו שאינם נגועים כלל ואת קצב ההתפשטות כתלות בדורות בערכים שנקבעים.

כמו כן, ניתן לראות את הסרגל שבחלקו הימני של המסך, שם נוכל לראות נתונים שונים לגבי היצורים באוטומט הנ"ל כתלות בהתקדמות הדורות (כך למשל: מספר איטרציה, מספר יצורים בריאים, מספר יצורים חולים, מספר יצורים מחלימים).

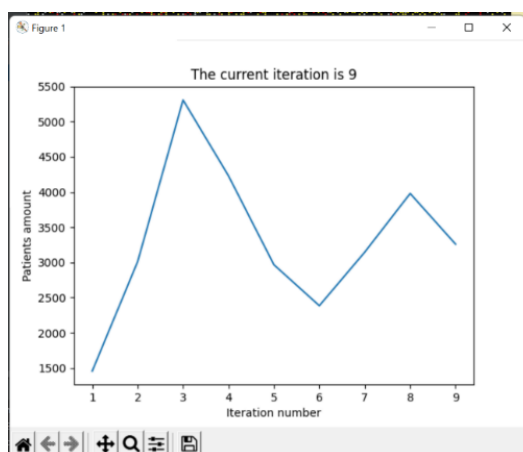
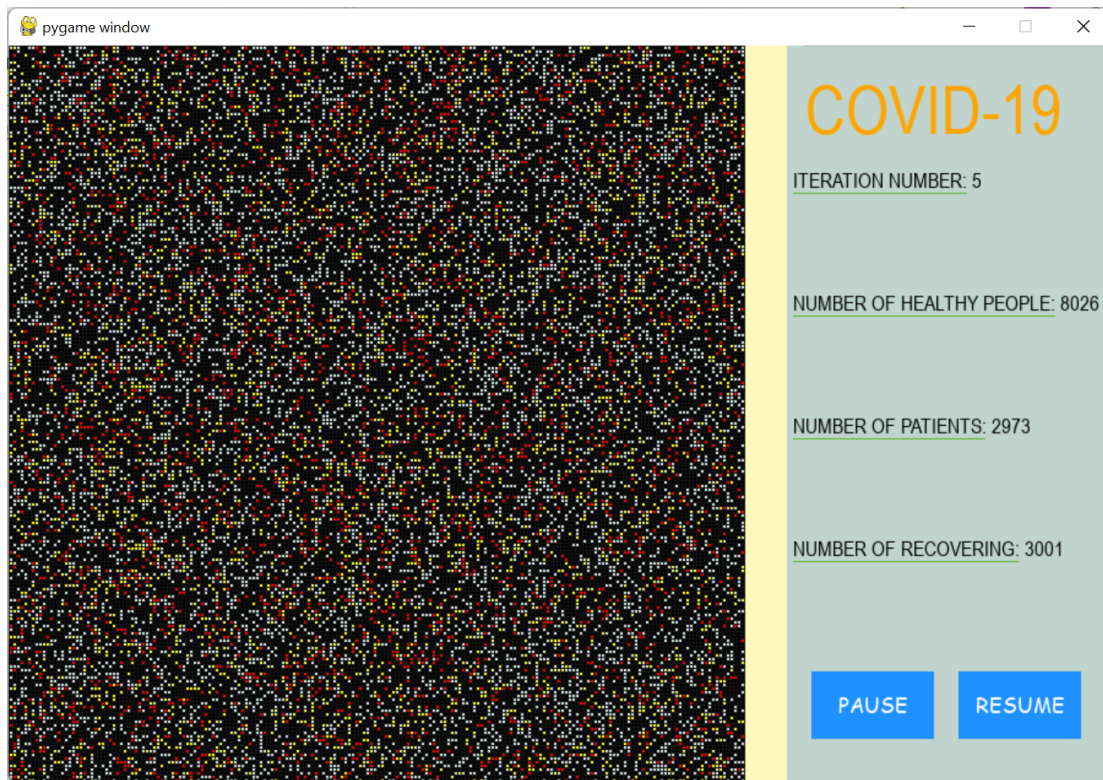
בנוסף בתחתית חלק זה (בחלקו הימני למטה של המסך) ישנם 2 כפתורים:

PAUSE – לחיצה על הכפתור הנ"ל תעצור את ריצת האוטומט ותציג למשתמש גרף (בחלון נוסף שיפתח) שמתאר את כמות היצורים החולים כתלות במספר האיטרציה (כלומר כתלות בהתקדמות הדורות).

RESUME – לחיצה על הכפתור הנ"ל תמשיך את ריצת האוטומט ותסגור את החלון של הגרף (שנפתח כתוצאה מלחיצה על כפתור ה PAUSE).

כאשר ריצת האוטומט תגיע לסופה יפתח דף עם גרף אשר מציג את כמות היצורים החולים כתלות במספר האיטרציה (כלומר כתלות בהתקדמות הדורות).

תמונה של המסך השני:



תמונה גרף אשר מציג את
כמות היצורים החולים
כתלות במספר האיטרציות:
(כלומר כתלות בהתקדמות
הדורות)

הסבר צבעים:

נשים לב כי בתחתית הדף הראשי ישנו מקרא אשר מציג בצורה ברורה את המשמעות של כל צבע תא באוטומט.

■ = Empty cell | ■ = Healthy creature | ■ = Sick creature | ■ = Recovering creature

■ תא שחור – מציין תא ריק (תא אשר אין בו יצור).

□ תא לבן – מציין תא שיש בו יצור בריא.

■ תא אדום – מציין תא שיש בו יצור נגוע בנגיף (תא שיש בו יצור שעדיין חולה).

■ תא צהוב – מציין תא שיש בו יצור מחלים (תא עם יצור שהיה חולה בעבר וכבר החלים כלומר עברו לו X דורות וכעת אינו חולה ולא יוכל להידבק שוב).

יישום מניעת ההתנגשות

נשים לב כי ישמנו מנגנון אשר מונע משני תאים לאכלס את אותו תא בכך שבנוסף ללוח הראשי נעזרנו בלוח עזר.

האופן בו עובד המנגנון:

בתחילת כל איטרציה בה נרצה להגריל מקומות חדשים יצרנו לוח חדש ובו אתחלנו את כל התאים להיות ריקים.

בכל פעם אנו רצים על הלוח הנוכחי משמאל לימין ומלמעלה למטה, כך שעבור כל תא שאינו ריק אנו מנסים להגריל לו מיקום בהסתברות שווה מבין כל 9 התאים האופציונליים (8 התאים שמקיפים אותו, והוא עצמו). במידה והתא שהוגרל פנוי גם בלוח הנוכחי וגם בלוח החדש אזי המשמעות היא שניתן לבצע את ההזזה הנוכחית ולכן בלוח החדש נסמן כי הייצור נמצא בתא הנוכחי הפנוי אותו הגרלנו. נשים לב כי יתכן מצב בו אנו מגרילים תא תפוס למרות שכן ישנם תאים פנויים ולכן חזרנו על פעולה זו 5 פעמים (לכל היותר) ובכך דאגנו שאופן הבחירה אכן יהיה רנדומי ככל הניתן. אך בכל זאת יתכן מצב בו כן היו תאים פנויים (מתוך 9 התאים הרלוונטיים) אך בעקבות ביש מזל תאים אלו לא נבחרו, ולכן בשלב זה יצרנו מערך שיכיל את כל התאים הפנויים מבין 9 התאים האופציונליים (כאשר שוב, תא פנוי מוגדר להיות תא שהוא פנוי גם בלוח הנוכחי וגם בלוח העזר שייצרנו), ובכך הגרלנו תא רנדומלי שנבחר בהסתברות שווה מבין תאים אלו במידה והיה פנוי, כך שגם כאן סימנו בלוח החדש את הייצור בתא שהוגרל ומחקנו את הייצור מהלוח הייש.

במידה ולא היה תא פנוי שכזה אזי נחליט להשאיר את הייצור בתא הנוכחי בו הוא נמצא, וכמובן שגם במצב זה נעדכן את הלוחות כך שבלוח החדש הייצור יופיע בתא הנוכחי בו היה נמצא ובלוח הישן נמחק את הייצור מתא זה.

לבסוף, כאשר סיימנו לעבור על כל היצורים שבלוח, למעשה קבענו לכולם את המיקום החדש בו הם יופיעו בדור הבא, ולכן נקבע את הלוח להיות לוח העזר (כלומר הלוח החדש שייצרנו).

כמובן שהמימוש הנ"ל תקין ומאופן פעולתו מאפשר לנו לבצע תזוזה של היצורים בכל דור וזאת מבלי שיייווצרו התנגשויות, כלומר מבלי ששני יצורים ישובצו לאותו תא.

הנכונות כמובן נובעת מן העובדה כי הלוח התחיל במצב תקין (מספר היצורים קטן שווה ממספר התאים) ולכן מעקרון שובח היונים קיים שיבוץ התחלתי תקין ללא התנגשויות (אותו הגרלנו בתחילת המשחק).

המנגנון שייצרנו עובר בצורה איטרטיבית על כל היצורים, כך שעבור כל יצור אנו דואגים לבצע את התזוזה לתא ריק, ואם לא קיים אחד שכזה אנו משאירים את הייצור במקומו, ומובטח שהתא של הייצור לא נתפס על ידי יצור אחר מאופן הסריקה שאנו מבצעים על היצורים (בצורה איטרטיבית) ומהעובדה שאנו דואגים לא לשחרר את התא של ייצור הנוכחי עליו אנו עומדים קודם לפני שמגיע תורו (בעזרת השימוש ב 2 לוחות). כמובן שנכונות המנגנון תקפה גם עבור אותם היצורים אשר נעים מהר יותר בכל דור (קפיצות של 10 צעדים בכל דור) וזאת כיוון שהלוגיקה פועלת באופן דומה ולכן נכונה גם במקרה הנ"ל בדיוק מאותן הסיבות שתוארו קודם לכן.

כעת נרצה לבדוק מהם ההשפעות שייווצרו בעת שינויי הפרמטרים השונים שלנו (הפרמטרים אותם נשנה הינם P_{LOW} – הסיכוי להדבקה במידה ואחוז החולים גדול מ T , P_{HIGH} – הסיכוי להדבקה במידה ואחוז החולים קטן מ T , X – מספר דורות עד להחלמה, N – מספר היצורים, D – אחוז היצורים אשר נגועים בקורונה במצב ההתחלתי, R – אחוז היצורים אשר נעים מהר, T – ערך סף (של אחוז החולים) לשינוי P כפונקציה של מצב התחלואה).

ההשפעה של N על התנהגות המודל

נשים לב כי באוטומט שלנו ישנם 200×200 תאים כלומר ישנם 40 אלף תאים סה"כ ולכן ככל שנקבע את N להיות מספר גדול יותר כך היצורים יהיו קרובים יותר אחד לשני ובפרט גם ייווצר מצב בו חלק מהיצורים הנגועים יהיו ליד יצורים בריאים, דבר שכמובן מביא להדבקה בקרב היצורים שבסביבת החולה. אנו משערים שכאשר כמות היצורים שנבחר לשים במודל תהיה גדולה יותר כך פרק הזמן שיידרש עד להדבקתם של כלל היצורים / עד אשר תהיה איטרציה בה אף יצור לא נדבק, יהיה אורך יותר, שכן תהליך ההדבקה הינו דבר שמתפשט בקרב האוכלוסייה מאזור אחד לאזור אחר והדבר אינו מידי, כלומר ידרשו יותר איטרציות (יותר דורות שיעברו). אך עם זאת, אנו כן סבורים כי קיימת נק' אשר ממנה פרק הזמן שיידרש עד להדבקה ילך ויקטן כאשר נגדיל את N , שכן כידוע צפיפות גורמת להדבקה המונית וזריזה, דבר שיקטין את כמות האיטרציות שיצטרכו לעבור עד אשר כלל היצורים ידבקו.

נרצה לבדוק כיצד הגדלה/הקטנה של N , מספר היצורים, תשפיע על כמות האיטרציות עד לעצירה.

ראשית נרצה לבדוק את מקרה הקיצון בו כל התאים מאוכלסים ביצורים כלומר נבדוק תוך כמה איטרציות לא יישארו יותר חולים במידה וישנם 40,000 יצורים (בכל תא יצור).

לאחר מכן, נבדוק עבור 1,000, 5,000, 15,000, 20,000, 30,000 ו-30,000 יצורים.

נבדוק את הנתונים כאשר:

$$0.1 = P_{LOW}$$

$$0.3 = P_{HIGH}$$

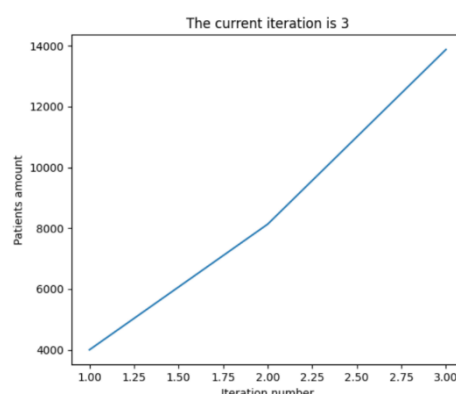
$$3 = X$$

$$0.1 = D$$

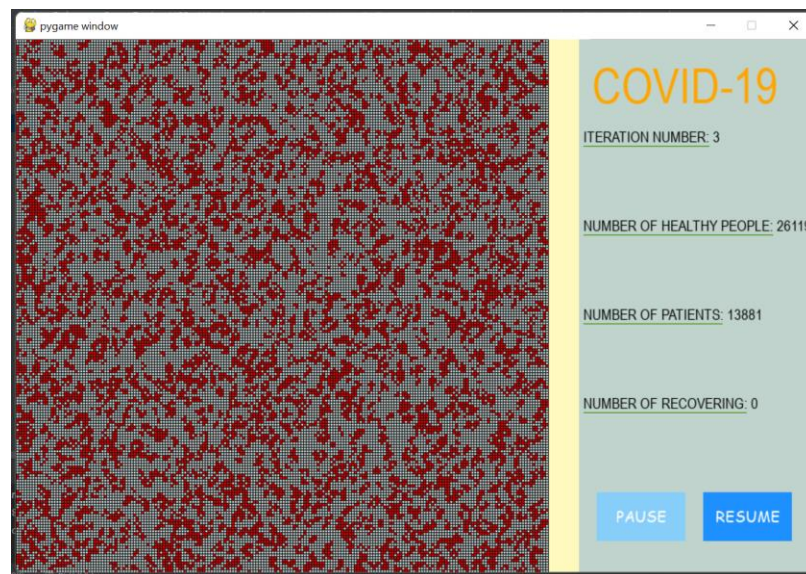
$$0.3 = R$$

$$0.3 = T$$

עבור 40,000 יצורים (תפוסה מלאה של כל התאים) ניתן לראות שכבר אחרי 3 איטרציות חלק נכבד מהיצורים חולים בנגיף (14,000 שזה יותר משליש מהיצורים), על אף שמקדם ההדבקה היה 0.3 כלומר נמוך מאוד.

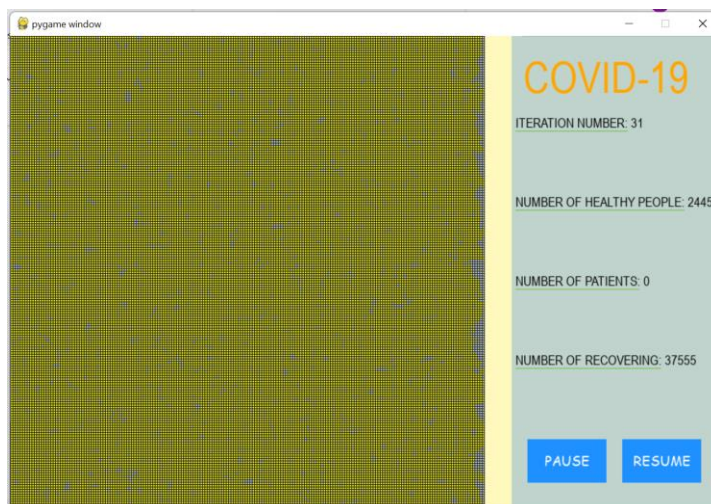


הלוח במצב הנ"ל נראה כך:

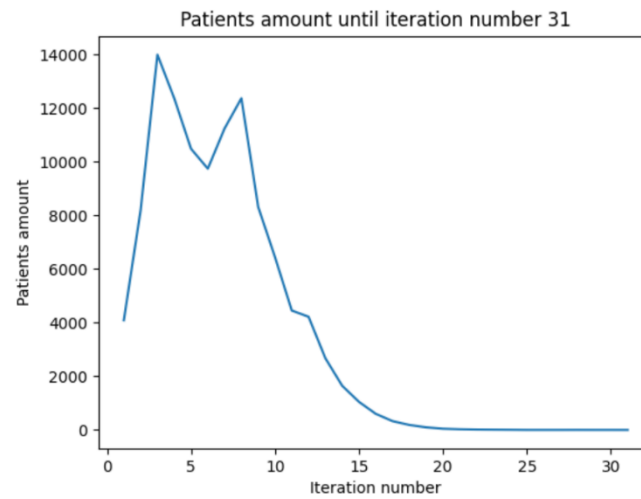


כלומר כפי שניתן לראות יש בלוח מקבצים של נקודות אדומות כלומר הרבה איים של אזורים בהם יש יצורים שחולים בנגיף, נקרא לאזורים אלו אזורי הדבקה. ככל שהאיטרציות יעלו קיבלנו שאזורי ההדבקה יתרחבו, ואף יתאחדו עם אזורי הדבקה אחרים (איים אדומים נוספים) ויחד עם זאת בשלב מסוים האזורים נהפכים לאזורים צהובים שמוקפים בנק' אדומות, וזאת כיוון שעם הזמן כל היצורים החולים נהפכים למחלימים (לאחר $X=3$ איטרציות) שאינם מדביקים יותר וכמובן אינם יכולים להידבק יותר.

לבסוף הלוח יראה כך:



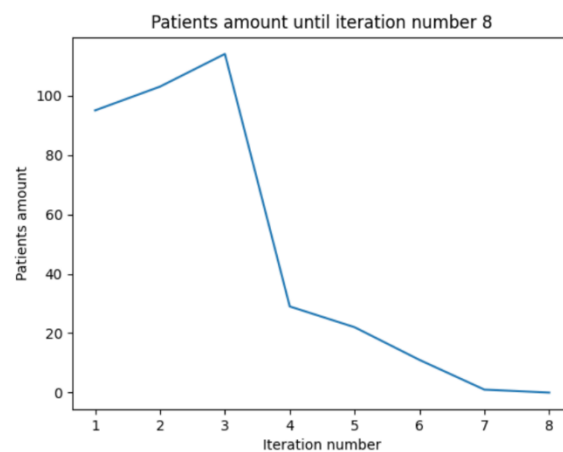
כלומר כפי שניתן לראות כמעט כל היצורים נדבקו בנגיף והפכו למחלימים (ולכן צבעם של מרבית היצורים הינו צהוב).



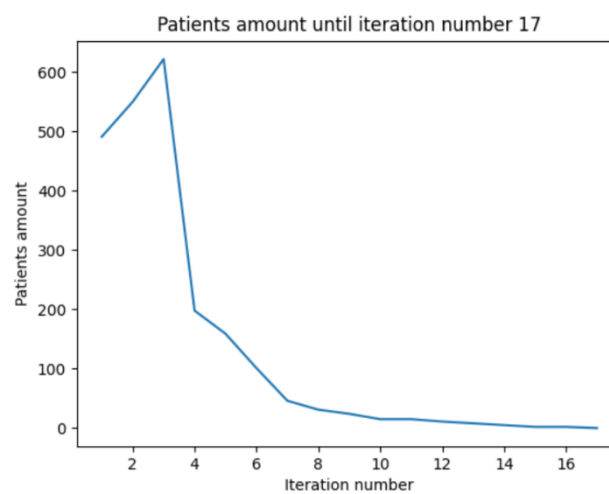
מהגרף הנ"ל אנו למדים כי היו 2 גלי תחלואה מסיבים כך שלבסוף לאחר 31 איטרציות כמעט כל היצורים הפכו למחלימים (כלומר כמעט כל היצורים היו חולים בנגיף והחלימו).

כעת נבדוק עבור 1,000 , 5,000 , 15,000 , 20,000 , 30,000 ו-30,000 יצורים:

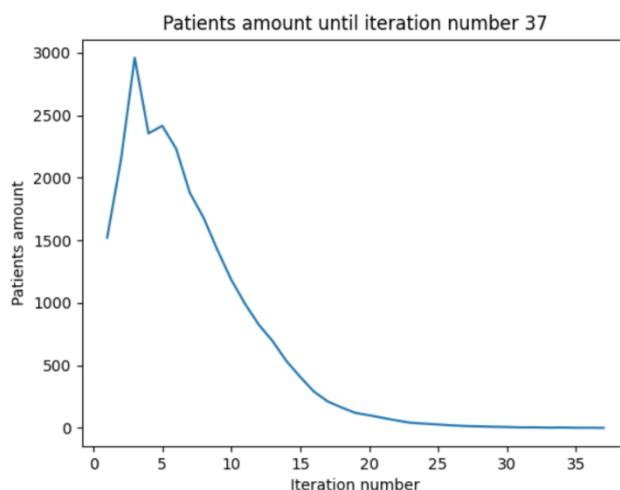
עבור 1,000 יצורים נקבל כי לאחר 8 איטרציות כולם בריאים / מחלימים



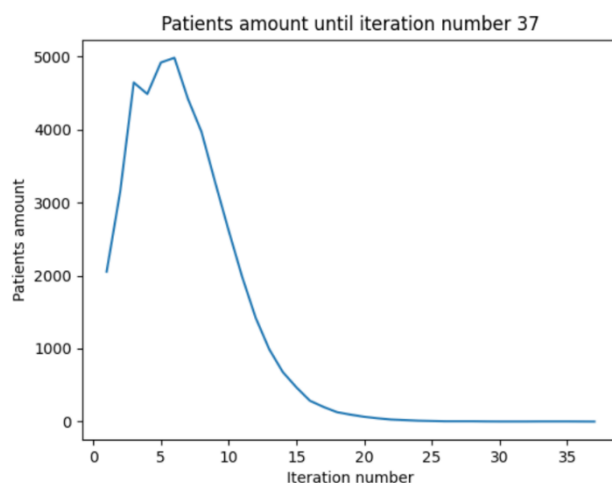
עבור 5,000 יצורים נקבל כי לאחר 17 איטרציות כולם בריאים / מחלימים



עבור 15,000 יצורים נקבל כי לאחר 37 איטרציות כולם בריאים / מחלימים

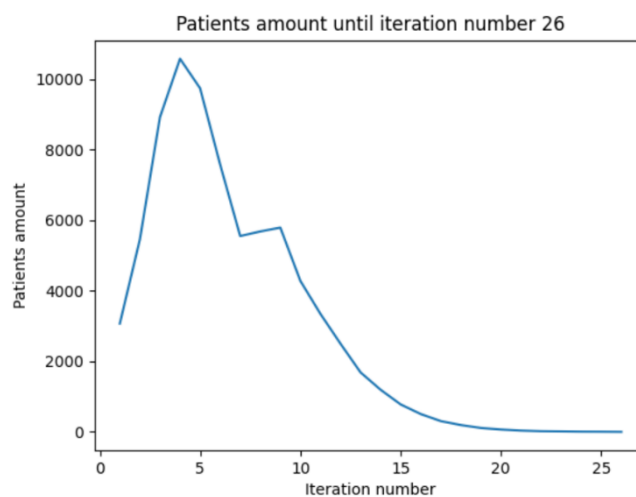


עבור 20,000 יצורים נקבל כי לאחר 37 איטרציות כולם בריאים / מחלימים



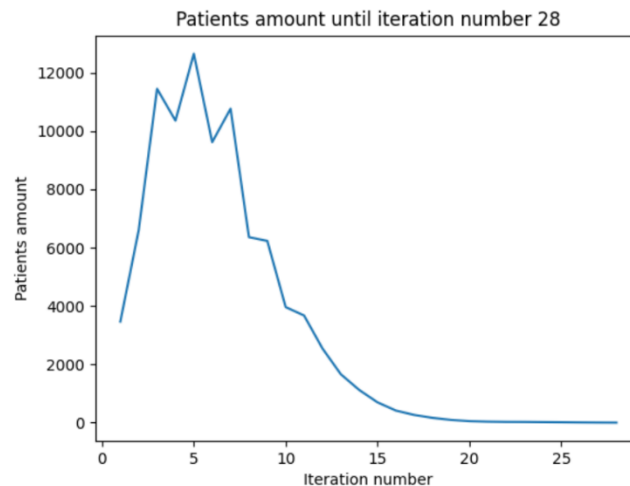
כלומר אנו עדיין במגמת עליה של כמות האיטרציות ועד עכשיו קיבלנו כי ישנו יחס ישיר בין N – כמות היצורים לבין כמות האיטרציות, כלומר עד עכשיו קיבלנו כי ככל שכמות היצורים גדלה כך גם מספר האיטרציות הנדרשות עד שכל היצורים מחלימים / בריאים גדל.

כעת, עבור 30,000 יצורים נקבל כי לאחר 26 איטרציות כולם בריאים / מחלימים



כלומר הפעם קיבלנו נספר איטרציות קטן יותר מבעבר כפי שציפינו שיקרא החל מגודל N מסוים שכן כמות גדולה של יצורים משמע היווצרות של צפיפות, דבר שמגדיל את מקדם ההדבקה ואת כמות אזורי ההדבקה שקיימים בקרב היצורים, וזה כמובן גורם לכך שהזמן שיעבור עד שכלל היצורים ידבקו ויחלימו צפוי לקטון.

כמו כן, עבור 35,000 יצורים נקבל כי לאחר 28 איטרציות כולם בריאים / מחלימים



כלומר גם כאן ראינו שמספר האיטרציות קטן משמעותית ביחס ל $N=20,000$ (ששם קיבלנו שרק לאחר 37 איטרציות כל היצורים היו בריאים \ מחלימים).

בסה"כ קיבלנו כי ההשערות שלנו היו נכונות כלומר אכן קיבלנו שכשכמות היצורים במודל גדולה יותר כך פרק הזמן שיידרש עד להדבקתם של כלל היצורים / עד אשר תהיה איטרציה בה אף יצור לא נדבק, יהיה אורך יותר, שכן תהליך ההדבקה הינו דבר שמתפשט בקרב האוכלוסייה מאזור אחד לאזור אחר והדבר אינו מידי, כלומר ידרשו יותר איטרציות (יותר דורות שיעברו) שכן כמות היצורים גדולה יותר. אך עם זאת, אכן קיבלנו כי מנקודה מסוימת של N פרק הזמן שיידרש עד להדבקה ילך ויקטן כאשר נגדיל את N , שכן כידוע צפיפות גורמת להדבקה המונית וזריזה, דבר שהקטין את כמות האיטרציות שיצטרכו לעבור עד אשר כלל היצורים ידבקו.

חשוב לשים לב כי הפיזור של היצורים ובפרט הפיזור של היצורים החולים בלוח הינו רנדומלי לחלוטין, ועשוי להשפיע ישירות על קצב ההדבקה ועל כמות האיטרציות שנדרשות עד לסיום התהליך. כלומר ודאי שקיימים רעשים והתוצאה אינה חד משמעית.

התנהגות של גלים

כעת נרצה לחפש ולמצוא קומבינציה של הפרמטרים אותם תארנו קודם לכן אשר יביאו לכך שנראה התנהגות של גלים (כלומר עליה וירידה בכמות החולים- דבר שישתקף באופן ישיר בגרף המייצג את כמות החולים לאורך האיטרציות השונות) לפחות 3 פעמים במשך חיי הסימולציה.

הפרמטרים להם נחפש השמה תקינה אשר תביא לתוצאה הרצויה הינם P LOW – הסיכוי להדבקה במידה ואחוז החולים גדול מ T, P HIGH – הסיכוי להדבקה במידה ואחוז החולים קטן מ T, X – מספר דורות עד להחלמה, N – מספר היצורים, D – אחוז היצורים אשר נגועים בקורונה במצב ההתחלתי, R – אחוז היצורים אשר נעים מהר, T – ערך סף (של אחוז החולים) לשינוי P כפונקציה של מצב התחלואה.

לפי ההיגיון הבריא, אנו צופים שכאשר הקיטוב בין ערכי השדות P HIGH ו P LOW יהיה גבוה יותר (כלומר כאשר השוני, בין הסיכוי להדבקה במידה ואחוז החולים גדול מ T לבין הסיכוי להדבקה במידה ואחוז החולים קטן מ T, גדול יותר וקיצוני יותר) אזי נוכל להגיע למצב בו תחילה האוכלוסייה נדבקת בקלות ולאחר מכן בבת אחת נשמרת ומחלימה (כאשר חשוב לזכור כי אדם מחלים אינו נדבק ואינו מדביק יותר), דבר שמחזיר אותנו שוב למעין נקודת האפס (פרט לעובדה שכעת פחות יצורים בלוח יכולים להידבק) ולכן התופעה אותה תיארו חוזרת חלילה שוב ושוב עד להיווצרות של מעין גלי הדבקה (כלומר עליה וירידה בכמות החולים) לאורך הסימולציה עד אשר כל האוכלוסייה תידבק ותחלים. כמו כן, בכל גל שכזה הצפי הינו שכמות החולים שיהיו בכל שלב תהיה קטנה יותר מהקודמת לה (כלומר גל פחות גבוה מהקודם לו בגרף) שכן, כמות היצורים שחלו והפכו למחלימים גדל, וכיוון שיש יצורים אלו אינם יכולים להדביק ולהידבק יותר אזי קיבלנו מצב בו כמות האוכלוסייה שיכולה להידבק בפוטנציאל קטנה יותר מגל לגל.

נשים לב שנרצה ש N יהיה יחסית גבוה, כלומר שכמות היצורים תהיה יחסית גדולה, וכך למעשה נוכל להגיע למצב של אזורי הדבקה מבודדים יחסית, דבר שימנע מצב בו כל האוכלוסייה נדבקת בבת אחת בגל הראשון. כמו כן נרצה שערך ה T, כלומר ערך הסף יהיה יחסית נמוך, שכן לא נרצה להגיע למצב בו מרבית האוכלוסייה נדבקת במהירות ובפרט בגל הראשון, שכן אם לא יישארו מספיק יצורים בריאים בלוח לא נוכל לקבל את תופעת הגלים הרצויה (נובע מהעובדה שיש יצורים אשר חלה והחלים לא יוכל להידבק שוב).

בנוסף, נרצה שהערך של D (אחוז החולים בקרב היצורים) יהיה יחסית נמוך, דבר שיאפשר טווח מספיק גדול למשחק בקצב ההדבקה, שכן אם נפתח את המודל במצב בו רוב היצורים כבר חולים יהיה לנו יותר קשה לראות את תופעת הגלים כי פחות אנשים יכולים להידבק במצב שכזה בהמשך.

נרצה שגם הערך של R (אחוז היצורים המהירים יותר) יהיה יחסית נמוך, בכך נאפשר מצד אחד הדבקה בין אזורי הדבקה שונים (שכן היצורים הללו יכולים לעשות קפיצות גדולות לאזורים מרוחקים ומבודדים), ומצד שני שההדבקה לא תהיה כזו שתוביל להדבקה המונית של כלל האוכלוסייה כבר בשלבים ראשוניים בהרצת המודל.

גם לגבי הערך של X (פרק הזמן בו חולה נשאר מדבק ומוגדר כחולה) נדאג שיהיה יחסית קצר, כיוון שמצב בו היצורים נשארים מדבקים לפרק זמן ממושך עלול להוביל להדבקה מהירה כבר בתחילת הרצת המודל.

עקב כל סיבות אלו, הערכים שקבענו למשתנים השונים עבורם קיבלנו תופעה של מעל ל 3 גלים הינם:

$$0.1 = P \text{ LOW}$$

$$0.9 = P \text{ HIGH}$$

$$3 = X$$

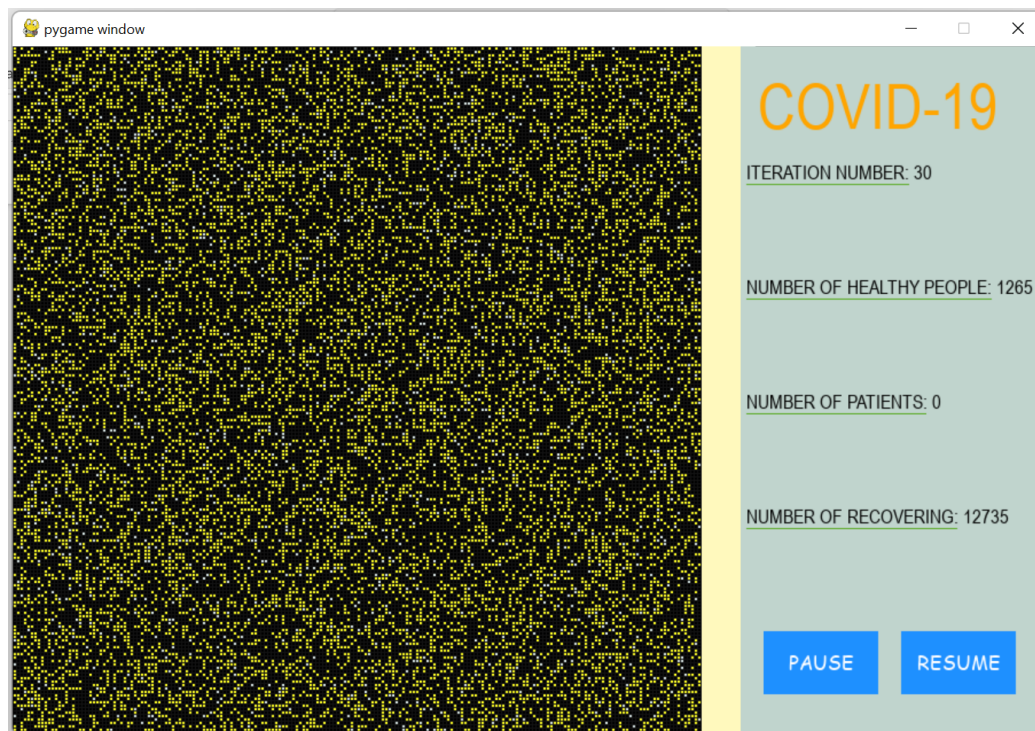
$$14,000 = N$$

$$0.1 = D$$

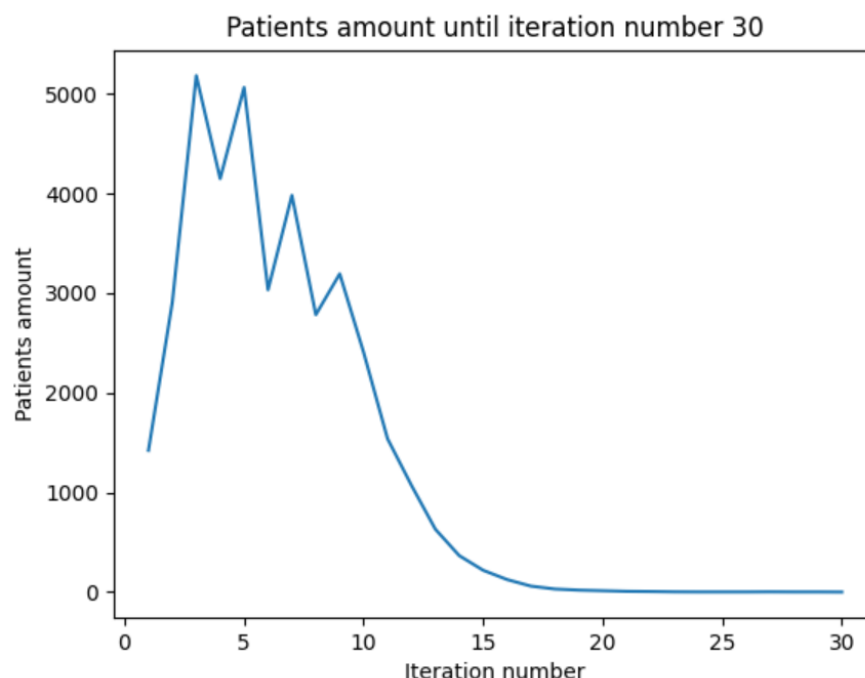
$$0.3 = R$$

$$0.3 = T$$

ראשית, ניתן לראות כי בסיום ההרצה (כלומר כאשר הגענו לדור בו אף יצור לא חלה) מרבית היצורים שהיו במודל נדבקו במהלך הרצת המודל, שכן ניתן לראות בתמונת המצב הסופית של המודל שצירפנו מתחת, שאין כמעט יצורים בצבע לבן (כמעט כל היצורים הינם בצבע צהוב-משמע כמעט כל היצורים מוגדרים כמחלימים בסיום הרצת המודל הנ"ל), כלומר אין כמעט יצורים שנשארו בריאים מבלי להידבק בשלב כלשהו במהלך ריצת המודל.



ניתן לראות בגרף המצורף (אשר מתאר את כמות הנדבקים שהיו במודל לאורך האיטרציות השונות) כי אכן עבור ההשמה הנ"ל שביצענו קיבלנו מצב בו נוצרו לנו בדיוק 4 גלים לאורך ההרצה של המודל:



כפי שניתן לראות מהגרף, אכן קיבלנו 4 גלים כך שכל גל שנוצר הינו מעט יותר נמוך מקודמו, כלומר בגל הראשון נדבקו מעל 5,000 יצורים (למעלה מ 35% מהאוכלוסייה), לאחר מכן בגל השני כמות הנדבקים הייתה כ 5,000 (כלומר מעט יותר נמוכה אך עדיין גבוהה מאוד), בגל השלישי כמות הנדבקים הייתה כ 4,000 (כ 28% מהאוכלוסייה), ולבסוף כמות הנדבקים בגל הרביעי והאחרון הייתה מעל 3,000 (כ 22% מהאוכלוסייה). ירידה זו נובעת בשל העובדה שכמות היצורים שיכולים להידבק לאחר כל גל שכזה הולכת וקטנה (שכן כמות היצורים הינה סופית ויצור שחלה והחלים אינו יכול להידבק בשנית).

לאחר הגל הרביעי ניתן לראות כי יש מגמת ירידה חדה (נראה כמו פרבולה, כלומר זו כבר לא דעיכה לינארית כמו שהיה לאחר הגלים הקודמים), דבר המרמז על כך כי מרבית היצורים שהיו בלוח כבר נדבקו בעבר או שהינם בריאים ונמצאים בסביבת יצורים בריאים/מחלימים ולכן כמות החולים יורדת בצורה חד משמעית עד אשר ישנם בדיוק 0 חולים חדשים (0 נדבקים חדשים) ושם בדיוק המודל עוצר.