

## תרגיל מסכם מס' 1: אוכלוסיות מתחרות

(1) הסבר כללי:

(A) מערכת: גודל אוכלוסיה של יצורים תלוי בכושר-הנשיאה של הסביבה. בשיעור ראינו דוגמא שבה קצב הריבוי תלוי ביחס בין גודל האוכלוסיה לכושר הנשיאה. כאשר שני מינים מתחרים על אותו משאב, כושר הנשיאה עבור מין מסוים פוחת מאחר שגם המין השני צורך את המשאב. לכן קצב הריבוי של כל מין מושפע גם מגודל האוכלוסיה של המין השני.

(i) בסימולציה מבצעים כלל-מעבר מדור לדור אשר מחשב את אוכלוסיית כל מין בדור הבא (בצעד-זמן  $t+1$ ) בהינתן אוכלוסיית שני המינים בדור הנוכחי (בצעד-זמן  $t$ ), לפי הנוסחאות הבאות:

$$N_1(t+1) = N_1(t) \lambda_1^{(1 - \frac{N_1(t) + \alpha_1 N_2(t)}{K_1})}$$

$$N_2(t+1) = N_2(t) \lambda_2^{(1 - \frac{N_2(t) + \alpha_2 N_1(t)}{K_2})}$$

כאשר:

$N_1, N_2$  הם גודל האוכלוסיה של כל אחד מן המינים.  
 $\lambda_1, \lambda_2$  הם קצב הגידול העצמי (במצב של משאבים בלתי מוגבלים) של כל אחד מן המינים.  
 $K_1, K_2$  הם כושר הנשיאה העצמי (בהעדר תחרות) של כל אחד מן המינים  
 $\alpha_1, \alpha_2$  הם מקדם התחרות (השפעת האוכלוסיה המתחרה) לכל אחד מן המינים.

(ii) יש הבדל בין שני סוגי אוכלוסיות:

(1) אוכלוסיה "רציפה": מספרים גדולים מאוד של יצורים, לכן אין משמעות לפרט בודד. למשל בשמרים גודל האוכלוסיה ניתן ביחידות של נפח ולא של תא שמר בודד (למעשה כלל לא ניתן לספור את התאים). לכן יחידות המדידה יכולות להיות מספר שברי.

(2) אוכלוסיה "בדידה" בה יש משמעות לדרישה שמספר היצורים חייב להיות שלם (למשל מספר חיפושיות). אם החישוב של גודל האוכלוסיה בדור הבא נותן מספר שברי, אין לכך משמעות בחיים ויש לעגל למספר שלם. המשמעות חשובה במיוחד אם האוכלוסיה קטנה, כי ירידה מתחת למספר מסוים (למשל 1, או 2 במקרה של רבייה מינית) משמעותה היעלמות המין.

(iii) בסימולציה דטרמיניסטית, מחשבים את הצעד הבא לפי נוסחה מסוימת ולכן בכל פעם שמבצעים את הסימולציה עם אותם תנאי התחלה ואותם פרמטרים, מקבלים אותה תוצאה. בסימולציה סטוכסטית (או אקראית) חלק מן השלבים כוללים מרכיב של הגרלה (שימוש במספר אקראי), ולכן בכל פעם שמבצעים את הסימולציה תקבל תוצאה שונה, גם אם מתחילים מאותם תנאי התחלה ומבצעים עם ערכים זהים של פרמטרים. למשל באוכלוסיה בדידה, מעגלים את מספר הפרטים בדור הבא למספר שלם, בהסתברות מסוימת כלפי מעלה או מטה. במקרה זה יש טעם לבצע את הסימולציה מספר פעמים כדי לאמוד את מידת הפיזור של התוצאות. כל ביצוע כזה נקרא ראליזציה (מימוש ב"מציאות" של אחת האפשרויות האקראיות).

(B) שאלת המחקר: כיצד מושפעות אוכלוסיות שני המינים זו מזו. האם במקרה של אוכלוסיה "בדידה" ייתכנו מצבים בהם מין אחד "ידחק את רגליו" של המין השני אשר עלול להיעלם?

(C) תיאור התהליך:

(i) ביצוע סימולציה על מספר ראליזציות: כדי לבצע כמה ראליזציות בבת אחת, נשמור את הנתונים על כל

הראליזציות של אוכלוסיה מסוימת במערך דו-ממדי. נתונים לראליזציה מסוימת בכל הזמנים יישמרו בעמודה. נתונים לצעד-זמן מסוים בכל הראליזציות יישמרו בשורה.

(ii) לביצוע סימולציה של גודל האוכלוסיה לאורך זמן, דרושים נתונים מספריים עבור הפרמטרים המתוארים בסעיף (A) i). לביצוע סימולציה ניתן לבחור עבור הפרמטרים מספרים כלשהם, אבל בתרגיל זה ננסה לאמוד את ערכי הפרמטרים עבור מינים מסוימים מתוך תוצאות של ניסוי. בניסוי נמדד גודל אוכלוסיה לאורך זמן עבור מין אחד לחוד, עבור מין שני לחוד ועבור מערכת בה שני המינים מתחרים על כמות המזון. נשתמש בנוסחה לחישוב האוכלוסיה בהיעדר תחרות כדי לאמוד את קצב הגידול העצמי  $\lambda$  ואת כושר הנשיאה העצמי  $K$ , ואז נחשב את מקדמי התחרות  $\alpha$  מתוך נתוני הניסוי בו שני המינים מתחרים על מזון (אופן אומדן הפרמטרים מתוך הנתונים מתואר בהמשך). נשתמש בערכי הפרמטרים שמצאנו כדי לבצע סימולציה עם ערכים אלה. את טיב ההתאמה לנתונים נדגים ע"י שרטוט הנתונים הגולמיים והעקומה לפי פרמטרים של ההתאמה, על אותה מערכת צירים בה שרטטו הנתונים מהניסוי.

(iii) נניח שקצב הגידול העצמי  $\lambda$  ומקדמי התחרות  $\alpha$  הם גדלים שאופייניים למינים הביולוגיים (לא מושפעים מן הסביבה) ולכן לא ניתנים לשינוי. את גודל האוכלוסיה הראשוני ניתן לשנות בניסוי. כושר הנשיאה  $K$  תלוי בכמות המזון, וגם אותו ניתן לשנות בניסוי. נניח שהגדלה או הקטנה של כמות המזון במקדם  $F_k$  (הגדלה אם  $F_k > 1$  והקטנה אם  $F_k < 1$ ) תשפיע במידה שווה על כושר הנשיאה העצמי  $K$  של שני המינים. נקבל מן המשתמש את ערכו של המקדם, נכפול במקדם את כושר הנשיאה העצמי של כל אחד מן המינים שמצאנו מנתוני הניסוי ונבצע סימולציה עם הערכים החדשים של כושר הנשיאה העצמי. במקרה של סימולציה בדידה, מקבלים תוצאות שונות בסימולציות שונות עבור סט אחד של פרמטרים. לכן נחשב עבור כל צעד-זמן ממוצע וסטיית תקן ונציג בגרף את הממוצע כגודל מייצג של האוכלוסיה, ואת סטיית התקן כאומדן של השגיאה.

(D) מבנה קובץ הנתונים: לרשותכם שני קבצים, אחד עבור שמרים (אוכלוסייה רציפה, נתונה ביחידות של נפח) ואחד עבור חיפושיות (אוכלוסייה בדידה). לשני הקבצים מבנה זהה: לכל ניסוי יש עמודות זמנים ועמודות אוכלוסיות (שתי עמודות לניסוי עם שתי אוכלוסיות מתחרות). עמודות 1-2 כוללות נתונים למין אחד לחוד, עמודות 4-5 למין שני לחוד, ועמודות 7-9 לשני המינים יחד. (התעלמו מן העמודות הריקות). לכל עמודה יש טקסט-כותרת. (E) ארגון נתונים בתוך התוכנית: מידע על פרמטרים לסימולציה ועל נתונים מן הניסיון נשמר בתוך **מבנים** (structures).

(i) מבנה לפרמטרים של הסימולציה יכלול את השדות הבאים:

- (1) מספר מקסימלי של צעדי זמן.
- (2) מספר הפעמים (ראליזציות) שיש לבצע את הסימולציה.
- (3) הגודל המינימלי של אוכלוסיה, שאם בסימולציה גודל האוכלוסיה פוחת ממנו, יש להפסיק את הסימולציה.
- (4) אוכלוסיה התחלתית  $N_0$  למין הראשון.
- (5) אוכלוסיה התחלתית  $N_0$  למין השני.
- (6)  $F_k$ , מקדם כושר נשיאה  $K$  (מספר אחד לשני המינים).

(ii) מבנה לפרמטרים של כל אחד מן המינים יכלול את השדות הבאים:

- (1) אוכלוסיה התחלתית  $N_0$ .
- (2) כושר נשיאה  $K$

(3) גורם גדילה  $\lambda$

(4) מקדם התחרות (השפעת המין השני)  $\alpha$ .

מאחר שיש שני מינים, הפרמטרים נמצאים במערך מבנים עם 2 איברים, כל אחד מהם מבנה.

(iii) מבנה לתוצאות הסימולציה יכלול את השדות הבאים:

(1) זמן (מערך עמודה, מספר איברים כמספר צעדי הזמן – כולל המצב ההתחלתי)

(2) אוכלוסיית מין אחד (מערך דו ממדי, מספר שורות כמספר צעדי הזמן – כולל המצב ההתחלתי, ומספר עמודות כמספר הראליזציות).

(3) אוכלוסיית מין שני (מערך דו ממדי, מספר שורות כמספר צעדי הזמן – כולל המצב ההתחלתי, ומספר עמודות כמספר הראליזציות).

(iv) מבנה לסיכום נתונים מניסויים או מסימולציה יכלול את השדות הבאים:

(1) כותרת כללית (טקסט)

(2) כותרת הזמן (טקסט)

(3) כותרת מין אחד (טקסט)

(4) כותרת מין שני (טקסט)

(5) נתוני אוכלוסייה של מין אחד לחוד (מערך עם שתי עמודות)

(6) נתוני אוכלוסייה של מין שני לחוד (מערך עם שתי עמודות)

(7) נתוני אוכלוסייה של שני המינים בתחרות (מערך עם שלוש עמודות).

(F) מהלך העבודה: בהמשך קובץ זה תמצאו הוראות לכתיבת פונקציות לביצוע חלקים מסוימים של החישוב. העבודה מחולקת ל-3 חלקים (סעיפים 2-4).

(i) כדי לבדוק את הפונקציות שתכתבו בסעיף 2, תפעילו אותן מסקריפט **tst** שתכתבו לצורך כך. את הפונקציות מסעיף 2 וסקריפט הבדיקה יש לשלוח לי במייל עד שבוע מסוף הסמסטר. אל תמשיכו בכתיבה עד שתקבלו משוב על חלק זה.

(ii) מטלות בסעיפים (3-4) ישתמשו בפונקציות שנכתבו קודם לכן. אין לשכפל קוד או לכתוב מחדש! התוכנית הראשית היא סקריפט **populations** שמפעיל את הפונקציות. תוכלו לבדוק את הפונקציות ע"י הפעלת הסקריפט ומעקב על הריצה ע"י ה-debugger.

(iii) לאחר שתסיימו לכתוב ולבדוק את הקוד לסעיפים (3-4) שלחו לי את הסקריפט **populations** ואת כל הפונקציות.

(2) להגשה עד שבוע מסוף הסמסטר:

(A) בצעו סעיף זה בשיעור תרגול 11. כתבו פונקציה לקריאת נתוני הניסוי מקובץ האקסל. לבחירת הקובץ, תוכלו להיעזר בקוד מדוגמא 5 בשיעור 7 ודוגמא 1 בשיעור 8. לשליפת הנתונים וארגון שלהם במבנה הפלט תוכלו להיעזר בקוד משאלה 3 בתרגיל 9.

(i) אין ארגומנטים של קלט.

(ii) ארגומנט פלט אחד: מבנה שמכיל את הנתונים שנקראו מהקובץ, עם שדות כמתואר בסעיף (iv)(E).

(iii) הפונקציה פועלת באופן הבא:

(1) בקשו מן המשתמש לבחור את קובץ הנתונים (השתמשו בפקודת **uigetfile** עם פלט של שם הקובץ ושם

התיקיה). בפקודה ציינו "מסנן" שיציג רק קבצי אקסל (עם הסיומת הרלוונטית) שכוללים במקום כלשהו בשמם את האותיות population.

(2) הרכיבו את השם המלא של הקובץ (כולל path מקום בדיסק).

(3) השתמשו בפקודת readcell כדי לקרוא מקובץ האקסל את כל התאים בקובץ. שמרו את שורת התאים הראשונה במשתנה. שלפו מתוך שורת התאים את הכותרות המציינות את גודל האוכלוסיה (שם כל מין ויחידות המידה של האוכלוסיה), וכן אחת הכותרות של הזמן (אמורה להיות זהה בשלוש המדידות).

(4) השתמשו בפקודת readmatrix כדי לקרוא מן הקובץ את הנתונים המספריים (נתונים חסרים יישמרו בתור NaN). שלפו מהעמודות המתאימות במערך המספרי את נתוני האוכלוסיה בכל ניסוי כמתואר בסעיף D(1). שמרו מערך לכל ניסוי בשדה המתאים במבנה הפלט. בכל שדה, מחקו את השורות שיש בהן לפחות NaN אחד.

(B) בצעו סעיף זה בשיעור תרגול 11. פתחו סקריפט חדש **tst** לבדיקת הפונקציות בסעיף 2). סגרו את כל החלונות הגרפיים ונקו את הזיכרון. הפעילו את הפונקציה לקריאת נתוני הניסוי מקובץ האקסל ושמרו את הפלט במשתנה בשם שמציין שאלה נתוני הניסוי. צפו במשתנה בעורך המשתנים ובדקו שהכותרות מתאימות לנתונים בקובץ ושכשדות עם נתונים מספריים אין איברים שהם NaN.

(C) בצעו סעיף זה בשיעור תרגול 11. כתבו פונקציה להצגת אוכלוסיות בשתי מערכות צירים זו מעל זו. תוכלו להיעזר בקוד הפונקציה ex7\_4plot.

(i) קלט:

(1) מבנה עם שדות כמתואר בסעיף iv(E(1).

(2) מערך-תאים ובו שני איברים, בכל אחד מהם מערך תווים שמציין מאפייני עקומה.

(ii) הפונקציה לא מחזירה פלט.

(iii) הפונקציה פועלת באופן הבא:

(1) במערכת הצירים העליונה שרטטו אוכלוסיות שני המינים בניסויים נפרדים. השתמשו לכל מין בצורת-קו שצוינה בקלט.

(2) במערכת הצירים התחתונה שרטטו אוכלוסיות כאשר שני המינים בתחרות. השתמשו לכל מין בצורת-קו שצוינה בקלט.

(3) הפונקציה אמורה לשמש גם להוספת עקומות לגרף קיים. לכן אין לבצע אתחול של הגרף בגוף הפונקציה.

(D) בצעו סעיף זה בשיעור תרגול 11. כתבו פונקציה להוספת אנוטציה לשתי מערכות הצירים.

(i) קלט: מבנה עם שדות כמתואר בסעיף iv(E(1).

(ii) הפונקציה לא מחזירה פלט.

(iii) הפונקציה פועלת באופן הבא:

(1) הוסיפו כותרת לציר X בשתי מערכות הצירים, לפי כותרת הזמן.

(2) הוסיפו כותרות לציר Y. במערכת העליונה: **separate systems** ובמערכת התחתונה: **shared system**.

(3) הוסיפו מקרא לעקומות במערכת הצירים התחתונה. המקרא הוא מערך-תאים עם 2 איברים, שבכל אחד מהם טקסט = כותרת מין אחד.

(4) הוסיפו כותרת למערכת הצירים העליונה: `data file: name of data file`

(E) בצעו סעיף זה בשיעור תרגול 11. הוסיפו לסקריפט `tst` פקודות לביצוע הפעולות הבאות:

- (i) פתחו חלון גרפי חדש (מס' 1) והשתמשו בפונקציה `mscief` (2) C לשרטוט נתוני הניסוי מהמשתנה `mscief` (B2). כמאפייני קו, בחרו מרקרים לא מחוברים, אחד אדום ואחד ירוק.
- (ii) הוסיפו אנוטציה לגרף ע"י שימוש בפונקציה `mscief` (2) D עם המשתנה `mscief` (B2).
- (iii) בדקו חזותית שהעקומות בגרף מתארות את המספרים מקובץ האקסל שבחרתם ושכותרות הצירים, כותרת הגרף הכללית והמקרא לעקומות מתאימים לקובץ האקסל.

(F) בצעו סעיף זה בשיעור תרגול 12. כתבו פונקציה **לקבל מן המשתמש בתיבת קלט אחת** את הנתונים המספריים עבור מבנה הסימולציה. (השתמשו בפונקציה `d8params` מדוגמא 4 בשיעור 8).

(i) הנתונים שיתקבלו מן המשתמש הם הערכים עבור השדות של מבנה הפרמטרים של הסימולציה, עם שדות כמתואר בסעיף (E1).

(ii) קלט: מבנה הפרמטרים של הסימולציה, עם שדות כמתואר בסעיף (E1). (ערכי השדות ישמשו לברירת מחדל שתוצג בשטחי ההקלדה).

(iii) פלט: מבנה עם שמות שדות זהים לקלט אך עם ערכים שונים בתוך השדות הרלוונטיים, לפי הקלדת המשתמש.

(iv) הפונקציה מקבלת מן המשתמש את הערכים שצוינו למעלה, ע"י פקודת `inputdlg`, באופן הבא:  
(1) הכינו מערך-תאים (cell array) עם טקסטים לכותרות מעל השטחים בהם יקליד המשתמש ושמרו במשתנה.

(2) שלפו את הערכים המספריים ממבנה הקלט, והכינו מערך מספרי עם ערכי ברירת המחדל עבור הפרמטרים ושמרו במשתנה.

(3) הפעילו את הפונקציה `d8params` על המשתנים מסעיפים (1), (2) ושמרו את הפלט במשתנה.

(4) שלפו את הערכים מהמשתנה מסעיף (3) ושמרו כל אחד מהם בשדה המתאים במבנה הפלט.

(G) בצעו סעיף זה בשיעור תרגול 12. הוסיפו לסקריפט `tst` פקודות לבדיקת הפונקציה לקבלת קלט מן המשתמש מסעיף F:

(i) הכינו מבנה הפרמטרים של הסימולציה עם שמות שדות כמתואר בסעיף (E1) וערכים של 50 צעדי זמן, 10 ראליזציות, אוכלוסיה מינימלית 2, גודל התחלתי של אוכלוסיה הוא 4 למין הראשון ו-6 למין השני, והמקדם  $F_k$  הוא 1.

(ii) הפעילו את הפונקציה על המבנה שהכנתם ושמרו את התוצאה במשתנה.

(iii) הריצו את הסקריפט, הזינו בשטחי ההקלדה ערכים שונים מברירת המחדל ובדקו שהערכים שמתקבלים בפלט הם מספרים בערכים שהזנתם. תנו ערכים של 5 סימולציות לפחות ומספר מינימלי של יצורים  $> 0$ . הערכים שהזנתם ישמשו לבדיקת סימולציה שתכתבו בהמשך.

(H) C בצעו סעיף זה בשיעור תרגול 12. בסימולציה דטרמיניסטית (ללא עיגול לשלם) של אוכלוסיה בנפרד, בערכים קטנים של  $\lambda$  יש נוסחה סגורה לתלות של גודל האוכלוסיה בזמן. **כתבו פונקציה לחישוב גדילה לוגיסטית** של

$$N(t) = \frac{N_0 \lambda^t}{1 + \frac{N_0(\lambda^t - 1)}{K}}$$

אוכלוסיה, לפי הנוסחה:  $N(t)$ . תוכלו להיעזר בקוד משאלה 2 בתרגיל 9.

(i) קלט:

(1) מבנה לפרמטרים של מין אחד, עם שדות כמתואר בסעיף 1(ii).

(2) מערך של זמנים, עבורם מחשבים את גודל האוכלוסיה.

(ii) פלט: גודל האוכלוסיה  $N(t)$  בזמנים המבוקשים בקלט.

(iii) כתבו פונקציה אנונימית, כפקודה בתוך הסקריפט `tst`. ניתן לכתוב את קוד הפונקציה בשורה אחת, שהיא

תרגום של הנוסחה שלמעלה לכתוב של מטלב. את הפרמטרים שילפו מן השדות של מבנה הפרמטרים

שבקלט. (שימו לב שהפרמטר למקדם התחרות  $\alpha$  לא נכלל בחישוב). קחו בחשבון שהזמן הוא מערך.

(I) בצעו סעיף זה בשיעור תרגול 12. הוסיפו לסקריפט פקודות לביצוע הפעולות הבאות לבדיקת הפונקציה לחישוב אוכלוסייה מנוסחה:

(i) הכינו מערך עבור הזמנים: 201 מספרים בקפיצות קבועות החל מ-0 עד הערך של מספר צעדי הזמן במבנה הפרמטרים לסימולציה.

(ii) הכינו מערך של שני מבנים, כל מבנה כולל פרמטרים על מין אחד, בכל מבנה שדות כמתואר בסעיף 1(ii).

כל אחד מהם עם ערכים דומים (אך לא זהים לגמרי): גודל אוכלוסיה התחלתי לכל מין 5, גורם גידול  $\lambda$  סביב 1.1 (אך גדול מ-1), כושר נשיאה סביב 10, ומקדם תחרות סביב 1, ושמרו במשתנה. בחרו את הערכים ידנית ושמרו אותם במשתנים בקוד הסקריפט.

(iii) עדכנו את השדה  $N0$  בכל אחד מן המבנים, לפי הערך שנקלט מן המשתמש בסעיף G.

(iv) הפעילו את הפונקציה לחישוב אוכלוסייה מנוסחה על מבנה הפרמטרים של המין הראשון ומערך הזמנים, ושמרו את הפלט במשתנה.

(v) פתחו חלון גרפי חדש (מס' 2) ושרטטו עקומה של האוכלוסייה המחושבת בקו רציף בצבע שחור.

(vi) הפעילו את הפונקציה לחישוב אוכלוסייה מנוסחה על מבנה הפרמטרים של המין השני ומערך הזמנים, ושמרו את הפלט במשתנה. הוסיפו לגרף עקומה של האוכלוסיה המחושבת בקו רציף בצבע שחור.

(J) בצעו סעיף זה בשיעור תרגול 12. כתבו פונקציה לביצוע סימולציה עם פרמטרים ידועים. אופן הסימולציה דומה לדוגמא 5 בשיעור 11, אלא שיש סימטריה בין האוכלוסיות (שמושפעות זו מזו). כדי לבצע כמה ראליזציות בבת אחת, נשמור את הנתונים על כל הראליזציות של אוכלוסיה מסוימת במערך דו-ממדי: נתונים לראליזציה מסוימת בכל הזמנים יישמרו בעמודה. נתונים לצעד-זמן מסוים בכל הראליזציות יישמרו בשורה. נבצע לולאה אחת – על צעדי הזמן. בכל צעד-זמן נחשב את האוכלוסיות לכל הראליזציות: כל פעולה תתבצע על שורה שלמה. אין לכתוב לולאה על הראליזציות השונות!

(i) ארגומנטים של קלט:

(1) מערך של שני מבנים, כל מבנה כולל פרמטרים על מין אחד, בכל מבנה שדות כמתואר בסעיף 1(ii).

(2) מבנה לפרמטרים של הסימולציה, עם שדות כמתואר בסעיף 1(i).

(ii) הפלט הוא מבנה לתוצאות סימולציה, עם שדות כמתואר בסעיף 1(iii).

(iii) הכינו לכל אוכלוסיה מערך NaN דו ממדי עם שורות כמספר צעדי הזמן + 1 (כדי לכלול גם זמן 0) ועמודות כמספר הראליזציות המבוקש. בשורה הראשונה של כל מערך (כלומר בזמן  $t=0$  בכל הראליזציות) יש למלא את גודל האוכלוסיה ההתחלתית של כל מין. קחו את הנתון מהמבנה הרלוונטי לכל מין במערך בארגומנט הקלט הראשון. מאחר שהגודל הראשוני של האוכלוסיה הוא סקלר (מתחיל באותו מספר בכל הראליזציות),

יש למלא את הסקלר בכל השורה הראשונה של המערך לכל מין.

(iv) כתבו פונקציה לחישוב צעד הזמן הבא של אוכלוסיה אחת בצעד הזמן הבא (לפי הנוסחה בסעיף 1(A).

(1) ארגומנטים של קלט:

(a) מבנה עם פרמטרים לאוכלוסיה עליה מחשבים (ראשונה או שניה).

(b) מספר הפרטים בדור הקודם של האוכלוסיה עליה מחשבים (מערך שורה).

(c) מספר הפרטים בדור הקודם של האוכלוסיה המתחרה (מערך שורה).

(2) הפלט הוא מספר הפרטים באוכלוסיה עליה מחשבים בדור הבא (מערך שורה).

(3) כתבו **פונקציה אנונימית**, מאחר שניתן לכתוב את הפונקציה בשורה אחת, שהיא תרגום לכתיב מטלב של

אחת הנוסחאות בסעיף 1(A(i). (שימו לב שהנוסחאות סימטריות, מקבלים את הנוסחה השנייה כאשר

מחליפים את האינדקסים בנוסחה הראשונה). את הפרמטרים שילפו מן השדות של מבנה הפרמטרים

שבקלט. החישוב אמור לפעול היטב גם כאשר כל אחת מן האוכלוסיות היא מערך שורה.

(v) כתבו לולאה שעוברת על כל צעדי הזמן ובכל צעד זמן מחשבת את גודל האוכלוסיה בכל אחד משני המינים

בהינתן אוכלוסיית שני המינים בדור הקודם. בגוף הלולאה:

(1) השתמשו בפונקציה מסעיף iv כדי לחשב את הדור הבא באוכלוסיה הראשונה. בצעו את החישוב על

שורה שלמה מכל אחת מן האוכלוסיות.

(2) השתמשו בפונקציה מסעיף iv כדי לחשב את הדור הבא באוכלוסיה השניה, תוך "החלפת תפקידים" בין

ארגומנטים 1 ו-2 בפונקציה.

(3) אם מספר הראליזציות הוא 1, אז מדובר במערכת רציפה והמספרים שהתקבלו הם גדלי האוכלוסיות

וחישוב הצעד הנוכחי הסתיים. אם מספר הראליזציות גדול מ-1, אז מדובר במערכת בדידה ויש לפעול

בדרך הבאה:

(a) הפעילו את הפונקציה `d6random_round` משיעור 6 על כל אחת מן האוכלוסיות (בצעד הנוכחי) כדי

לעגל לשלם באופן סטטיסטי.

(b) לאחר העיגול, בדקו האם גודל האוכלוסיה בצעד זמן הנוכחי בכול הראליזציות (שורה נוכחית) קטן מן

הגודל המינימלי הדרוש להמשך המין (ארגומנט קלט שלישי). אפסו את האוכלוסיה במקומות

המקיימים את התנאי. השתמשו במערכים לוגיים, אין לכתוב כאן לולאה עם מבנה `if`!

(c) בדקו שבכל אחת מהאוכלוסיות בצעד הזמן הנוכחי יש לפחות ראליזציה אחת שבה גודל האוכלוסיה

לא התאפס. אם אין אף ראליזציה כזאת, יש להפסיק את הסימולציה (פקודת `break`).

(4) שמרו את גדלי האוכלוסיה שחושב בצעד זמן זה בשורות המתאימות במערכי האוכלוסיות.

(vi) לאחר סיום הלולאה, מחקו מכל אחד ממערכי האוכלוסיות את השורות שיש בהן רק `nan`, ושמרו את

המערכים בשדות המתאימים בארגומנט הפלט. תוכלו להיעזר בקוד משאלה 2 בתרגיל 6.

(vii) חשבו מערך של צעדי זמן (לפי מספר צעדי הזמן שבוצעו בפועל) ושמרו בשדה המתאים בארגומנט הפלט.

צעד הזמן הראשון הוא 0, והצעדים הבאים הם מספרים שלמים עוקבים.

(K) בצעו סעיף זה בשיעור תרגול 12. הוסיפו לסקריפט `tst` פקודות לביצוע הפעולות הבאות לבדיקת הפונקציה

לסימולציה:

(i) תחילה נבדוק שהפונקציה פועלת במקרה של כמה ראליזציות (כלומר עם עיגול סטטיסטי). הפעילו את

- הפונקציה לביצוע סימולציה על המשתנים שהכנתם בסעיפים G,I ושמרו את הפלט במשתנה.
- (ii) פתחו חלון גרפי חדש (מס' 3) עם שתי מערכות צירים, זו מעל זו. במערכת הצירים העליונה שרטטו את האוכלוסיה הראשונה בכל הזמנים בכל הראליזציות. במערכת הצירים התחתונה שרטטו את האוכלוסיה השניה בכל הזמנים בכל הראליזציות. אין לכתוב לולאות! יש להשתמש ביכולת של מטלב לשרטט מערכים דו-ממדיים.
- (iii) נבדוק שהפונקציה פועלת במקרה של ראליזציה אחת (סימולציה דטרמיניסטית). שנו את מערך שני המבנים לפרמטרים שיצרתם בסעיף I: אפסו בשני האיברים את השדה למקדם התחרות. (המשמעות היא: סימולציה של שתי אוכלוסיות נפרדות, שאין להן השפעה זו על זו). שמרו את התוצאה במשתנה לאוכלוסיות נפרדות.
- (iv) שנו את המבנה לפרמטרים של הסימולציה שנקלט מן המשתמש בסעיף G: מספר ראליזציות 1, אוכלוסיה מינימלית 0. שמרו את התוצאה במשתנה לאוכלוסיות נפרדות.
- (v) הפעילו את הפונקציה לביצוע סימולציה על המשתנים שהכנתם ושמרו את הפלט במשתנה.
- (vi) עברו לחלון גרפי מס' 2. הוסיפו באותה מערכת צירים עקומות לשתי האוכלוסיות, כל אחת בקו מרוסק (dashed) בצבע שונה (אך לא שחור).

המשך יבוא...