

היזה היה פעם סוס ננסי כיצד משתנים יצורים חיים?

לולי שטרן, סמדר רייספלד



מטה מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי -
טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים
מוסד הטכניון למחקר ופיתוח

משרד החינוך החרבות והספורט
המזכירות הפרדוגית
האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים



מטה מלי"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי –
טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט



הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים
מוסד הטכניון למחקר ופיתוח



משרד החינוך התרבות והספורט
המזכירות הפדגוגית
האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים

היה היה פעם סוס ננסי ביצד משתנים יצורים חיים?

לולי שטרן, סמדר רייספלד

© כל הזכויות שמורות
משרד החינוך

אין לשכפל, להעתיק, להפיץ או לתרגם ספר זה או קטעים ממנו בשום צורה ובשום אמצעי אלקטרוני או מכני (לרבות צילום והקלטה), ללא אישור בכתב מהמחברות

נדפס בישראל, 2006

Once upon a Stern, Smadar Reisfeld

© Printed in Israel, 2006

ראש הפרוייקט:	ד"ר לולי שטרן
פיתוח וכתיבה:	ד"ר לולי שטרן, ד"ר סמדר רייספלד
כתיבת מהדורת הניסוי:	גלית חגי, חן צור, נירית די-נור, לולי שטרן
הרצה של מהדורת הניסוי:	נירית די-נור
תחקיר פעילויות:	חן צור
תחקיר תמונות:	גלית חגי
יעוץ מדעי:	ד"ר עופר מוקדי, המחלקה לזואולוגיה, בפקולטה למדעי החיים, אוניברסיטת תל-אביב
עריכה לשונית:	אורלי לביא
איורים:	נועה שטרן (עמ' 1, 13, 16, 40, 59, 76) אמציה תבואה (עמ' 4) שיר למדן (עמ' 42)
מורים נסיינים:	מהדורת ניסוי: ליאור גור, שרון שר, ביה"ס כרמל-זבולון, קיבוץ יגור, מירה פלד, מירי פרנק, ביה"ס הר וגיא, קיבוץ דפנה מהדורת עיצוב: יעל יוגב, אורה שפינדל, ביה"ס עירוני ה', חיפה
פיתוח השתלמויות מורים:	נירית די-נור, חן צור
עריכה גרפית והבאה לדפוס:	"קו מעוצב", קיבוץ יגור
הדפסה:	דפוס מילניום
באישור גף אישור ספרי לימוד	
משרד החינוך התרבות והספורט	
אישור מס' נ' 4099	

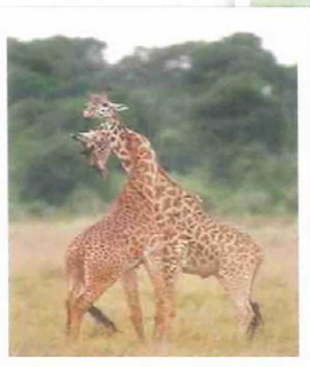
תודות

ברצוננו להודות מעומק הלב לאלה שעזרו בשלבים השונים של כתיבת הספר: **לגלית חגי וחן צור**, על השותפות הנפלאה בכתיבת הספר "אבולוציה: איר זה קורה?" ששימש כבסיס לכתיבת פרקים 3-8; **לנירית די-נור**, על פיתוח מהדורת הניסוי וביצוע המחקר שליווה את כתיבת הספר; לד"ר **עופר מוקדי**, על הייעוץ המדעי המקצועי והזמין; לד"ר **מיכל נחשון**, **עידית קנול**, **יעל יוגב**, **נירית די-נור**, **שרון שר**, **אורה כהנא**, וד"ר **קובי בן-ברק**, על הערותיהם בשלבים שונים של כתיבת הספר; לד"ר **תמי יחיאלי**, **אשרה דואק**, **ענת אסולין** ו**הילית אורן** על הערותיהן על הפרק הראשון בספר; למורים הנסיינים **ליאור**, **שרון**, **מירה**, **מירי**, **יעל ואורה**, על העידוד וההערות; לכל תלמידי כיתות הניסוי שנרתמו לנסות ולהגיב; **לנירית די-נור** ו**יפעת צימרמן**, על סקר הספרות המקיף שעשו במחקריהן; **למיכל מלכין** מ"קו מעוצב", שהגשימה חלומות עם הרבה מאוד סבלנות ושיתוף פעולה; **לנועה**, **אמציה ושיר**, על האיורים; לצלמים, ובעיקר **לאמציה וגלית**, שאפשרו לנו להשתמש בתמונותיהם (רשימה מפורטת מופיעה בסוף הספר).

יצא לאור במימון האגף לתכנון ולפיתוח תוכניות לימודים במשרד החינוך ומטה מל"מ, המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט

תוכן העניינים

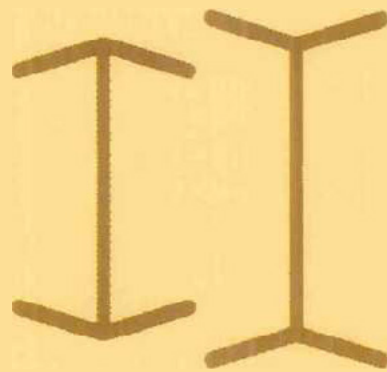
פרק א: עובדה! עובדה?	1
פרק ב: מאובנים - עדויות מן העבר	7
פרק ג: מדוע היה לדוד המלך שיער אדמוני, מהיכן השרירים של הזוכה במדלית זהב ולמה לג'ירפה יש צוואר ארוך?	15
פרק ד: האם כל הפילים דומים? על יתרונות השונות	21
פרק ה: כיצד משתנות אוכלוסיות עם הזמן? אבולוציה והברירה הטבעית	31
פרק ו: ברירה טבעית בפעולה	40
פרק ז: כיצד נוצרת שונות?	49
פרק ח: נסיון לשחזר את העבר	62
פרק ט: מותר האדם: האם האדם עובר אבולוציה כמו שאר היצורים?	75



פרק א' עובדה! עובדה?

יש לנו חמישה חושים שבעזרתם אנו קולטים את המציאות הסובבת אותנו: אנו רואים, שומעים, מריחים, טועמים וממששים. המידע הנקלט דרך החושים עובר למוח, מעובד ונשמר בו כעובדות שאין עליהן עוררין. נדמה לנו שעובדות אלה הן המציאות, אך האם זה כך? האם כל מה שאנו קולטים ראוי שיתבסס במוחנו כעובדה?

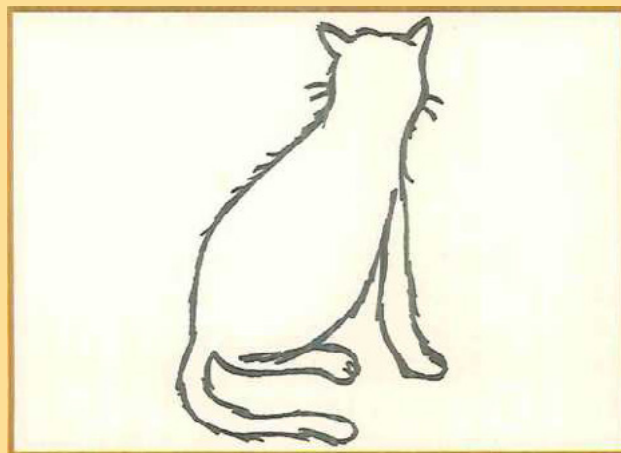
הסתכלו בתמונה הבאה:



איזה קו ארוך יותר?

תמונות אלה ואחרות, שאתם וודאי מכירים, הן דוגמאות לתעתועי ראייה (אשליות אופטיות). הן גורמות לנו לראות דברים בצורה מסולפת. לפעמים, גם כשאנו יודעים שמדובר באשליה, אנו עדיין מתקשים לראות את הדברים כפי שהם. תעתועי הראייה מלמדים אותנו, שאנו רואים לא רק באמצעות העיניים אלא גם באמצעות המוח והפרשנות שהוא מציע לתמונה.

התבוננו, למשל, באיור הבא.



כולנו מזהים מיד שמדובר בחתול. אך במחשבה שנייה, לאיור דמיון מוגבל למדי לחתול אמיתי: אין לו צבע של חתול, הוא אינו תלת מימדי, הוא אינו מיילל, וכשנוגעים בו לא מרגישים ברכות האופיינית לפרוות החתולים. אנחנו מזהים איור כזה כחתול מכיוון שלמדנו לעשות זאת, אך ילדים צעירים מאוד לא יקשרו בהכרח איור כזה עם חתול.

גם דוגמה זו מדגימה שאיננו משתמשים רק בחוש הראיה כדי לקלוט עובדות. אנו מסתמכים גם על הניסיון, האימון והדמיון שלנו.

חם או קר?

הניסוי הבא מראה שניסיון העבר משפיע על תחושותינו בהווה. בעוד שהדוגמאות הקודמות עסקו בחוש הראייה, הניסוי הזה יעסוק בחוש המישוש.

לצורך הניסוי דרוש מתנדב אחד מבין התלמידים.

תחילה, יכניס התלמיד יד אחת לקערה המסומנת "1" ואת היד השנייה לקערה המסומנת "2". לאחר דקה (המורה יכריז על הזמן), התלמיד יעביר את ידיו בבת אחת לשתי הקערות האחרות ("3" ו-"4"), ויענה מייד על השאלה: באיזו קערה המים חמים יותר – "3" או "4"?

אחרי מתן התשובה, ימדוד התלמיד את הטמפרטורה בקערות "3" ו-"4" בעזרת מד טמפרטורה.

- מה מצאתם, האם המדידה תואמת את תשובת התלמיד שנקבעה על פי התחושה? מהי מסקנתכם?

אז מה עושים? אם אי אפשר לסמוך על עובדות, איך אפשר לסמוך על המדע שמתבסס עליהן? ראשית כדאי לזכור, שרוב העובדות שאנו קולטים באמצעות חושינו אינן אשליות או תעתועי חושים. שנית, כדי להימנע מהסתמכות על עובדות שגויות, נוקטים מדענים בשיטות שונות. אחת מהן היא השימוש במכשירי מדידה. בניסוי עם קערות המים, למשל, השתמשנו במד טמפרטורה כדי לאמת את הרגשתם לגבי טמפרטורת המים. מכשיר זה, הפועל על פי עקרונות פיזיקליים, אינו מסתמך על הרגשה או על ניסיון העבר, ולכן משקף את הטמפרטורה האמיתית של המים.

טיסה היא דוגמה נוספת ליתרון של מכשירי מדידה על פני התחושות הסובייקטיביות. בשמיים, שבהם אין ציוני דרך שיקבעו את הכיוונים, רק מי שמסתמך על המכשירים יכול לנווט בהצלחה. אחד הדברים המרכזיים שלום דים בקורס טייס הוא להסתמך על המכשירים ולא על תחושות. כפי שטייסים מדווחים, כאשר מטוס נופל, למשל, תחושת הכיוון אובדת ולפעמים יש הרגשה הפוכה ממה שהמכשירים מורים. הניסיון מלמד, שמי שמציית למכשיריים, ופועל בניגוד להרגשתו, ניצל.

המכשירים מרחיבים את יכולתנו לאסוף מידע ומגדילים את הדיוק של המידע שנאסף, ולכן לא מפתיע שעובדות משתנות לעתים עם השתכללותם של המכשירים ושיטות המחקר לאיסוף מידע. דוגמה קלאסית היא מבנה הירח. הקדמונים חשבו שזהו כדור אור כסוף ומושלם (גם לנו הוא נראה כך כשאנו מביטים בו בליל ירח מלא), אך גלילאו גליליי, השתמש בטלסקופ (הוא היה הראשון שהשתמש בו כדי לבחון את הירח), והראה שבירח יש הרים וגאיות ממש כמו בכדור הארץ. דוגמה נוספת היא הכרומוזומים בתאי האדם. במשך שנים רבות, הייתה מקובלת העובדה, שבתאי האדם יש 24 זוגות כרומוזומים. כאשר השתפרו טכניקות הצפייה במיקרוסקופ הסתבר כי למעשה קיימים רק 23 זוגות. ועוד דוגמה – צורתו של כדור הארץ. במשך אלפי שנים האמינו אנשים שכדור הארץ שטוח, ומבחינת התצפיות שערכו, לא הייתה להם סיבה לחשוב אחרת. אדם השט בסירה בלב ים ומסתכל סביבו, רואה שפני המים שטוחים ככל שהעין רואה. גם לאדם הנמצא ביבשה, אפילו אם הוא עומד על ההר הגבוה ביותר, נראית האדמה על הריה, עציה והבתים שעליה, שטוחה ונמשכת לאינסוף.

שימוש בשיטת מחקר חדשה הביא לגילוי עובדות חדשות: בשנת 1519 יצא חוקר הארצות מגלן עם צוותו מספרד והפליג מערבה. לאחר שלוש שנים חזר לאותה הנקודה. כלומר, הוא הקיף את כדור הארץ.

● האם ניתן להסביר את העובדה החדשה על ידי הרעיון שהארץ שטוחה?

כיום, בזכות ההתפתחות הטכנולוגית והלוויינים יש בידינו צילומים שמראים בבירור שכדור הארץ הוא עגול. מעניין לציין, שלמרות עדויות אלה, עדיין ישנן קבוצות שטוענות שהארץ שטוחה ושהצילומים מהחלל הם תוצר של הפקה הוליוודית. קבוצות אלה בוחרות להכחיש את תקפותן של העובדות החדשות.

בהמשך הפרק נביר דרכי פעולה נוספות של המדע, המאפשרות למדענים להסתמך על העובדות שהם אוספים כשהם מסבירים תופעות שונות. אך בינתיים נבדוק היבט נוסף של המדע המסתמך על עובדות.

עבודתם של מדענים כרוכה באיסוף ובתיעוד של עובדות ותופעות, אך זוהי אינה מטרת עיסוקם. מה שמניע מדענים הוא הרצון להסביר את העובדות ואת התופעות ולהבין כיצד פועל העולם. בפעילות הבאה ננסה לפרש עובדות ולהתחקות בעזרתן אחרי אירועים שהתרחשו בעבר.

סימני דרך

המורה יציג בפניכם סדרה של שקפים. נסו לתאר ולהסביר את מה שאתם רואים.

1. התבוננו בשקף הראשון שיציג לכם המורה. מה אתם רואים?

2. כיצד תסבירו את ההבדל בגודל הסימנים?

3. כיצד תסבירו את השינוי שחל לאורך הדרך במרחק בין הסימנים הגדולים?

4. מדוע שתי קבוצות הסימנים נראות כמתקדמות לאותו מקום?

5. התבוננו בשקף השני. מה אתם רואים?

6. התבוננו בשקף השלישי. מה אתם רואים?

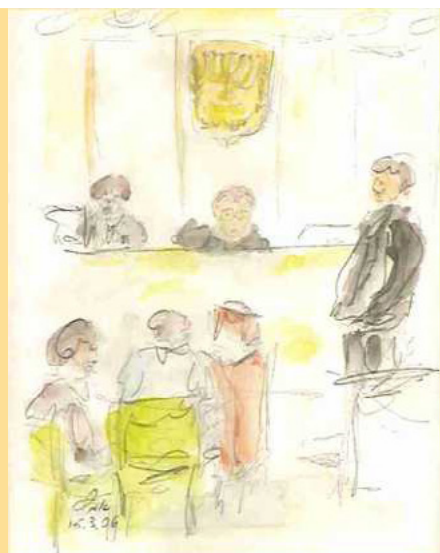
חישבו כעת על שלושת השקפים. נסו לזהות אילו מבין הדברים שאמרתם מבטאים עובדות (תצפיות) ואילו דברים מבטאים פרשנויות. מה ההבדל בין עובדה לפרשנות?

מנסים לגלות את האמת

ראינו שיש הבדל בין עובדה או תצפית לבין פרשנות, ואמרנו שמדענים מנסים לפרש את העובדות כדי למצוא את ההסבר הטוב ביותר לתופעה מסוימת. למעשה, מתן פרשנות היא תכונה מאוד אנושית. איננו יכולים להימנע ממתן פרשנויות. כך, למשל, כשאנו רואים חבר שמחזיק ביד מבחן ופניו עצובים, אנו מניחים, שהציון שקיבל היה נמוך. זוהי פרשנות, כמובן, אך היא סבירה ועוזרת לנו בתקשורת עם העולם. הפרשנויות הן המאפשרות לנו להבין את המציאות שמסביבנו, ולעתים לא היינו יכולים להתקיים בלעדיהן. כך, למשל, אם נלך בג'ונגל ונראה סימנים מסוימים טבועים בבוץ, כדאי שנסתמך על הפרשנות שאומרת שמדובר בעקבות של נמר ולכן מוטב שנברח מהאזור. אם נסתפק בקביעת העובדה: אלה הם סימנים גדולים הטבועים בקרקע, ונתעלם מהם, ייתכן שניתקל בנמר ונקפח את חיינו.

- הביאו דוגמאות נוספות לפרשנויות שאנו עורכים בחיי היומיום: ערכו רשימה של אירועים שאירעו לכם היום (לפחות חמישה), שלגביהם ערכתם פרשנות. לגבי כל אירוע, ציינו מהי העובדה (התצפית), מהי הפרשנות ובמה תורמת הפרשנות?

בבתי משפט, יכולים עורכי דין להביע את התנגדותם לקבלת עדות מסוימת בטענה שהעד מציע פרשנות ולא מסתפק בעובדות.



פעמים רבות, ניתן להסביר באופנים שונים אותן עובדות ממש. תיבת דואר מתפקעת ממכתבים יכולה להיות מוסברת על ידי נסיעה של המשפחה לחופשה או על ידי כמות גדולה של מכתבים שהגיעה באותו יום. סירוב של ילדה להצטרף לבילוי בבריכה יכול לבוע מחוסר רצון או מביישנות. דמעות יכולות להעיד על אושר או על כאב.

- חזרו לרשימת האירועים שערכתם, והציעו לגבי כל עובדה לפחות פרשנות אחת נוספת.

תרגיל לבלשים מתחילים

סרטי פעולה מהווים דוגמה לתהליך של איסוף עובדות כדי להגיע לחקר האמת. בפעילות הבאה "נצפה" בסרט פעולה ונסה לראות אילו עובדות הבלש אוסף, ואיזה פרשנויות אפשר לתת להן. בסרט "ים של אהבה" חוקר בלש שלושה מקרי רצח של שלושה גברים. הוא מגלה את העובדות הבאות:

- שלושת מקרי הרצח אירעו באותו חודש ובאותה עיר.
- לא ידוע על קשר כלשהו בין הגברים.
- כל אחד משלושת הנרצחים פרסם מודעה בעיתון פנויים-פנויות על כך שהוא מחפש קשר עם אישה.
- שלוש המודעות נכתבו בחרוזים והן היחידות שנכתבו כך מבין כל המודעות בעיתון.
- שלושת הגברים נמצאו מתים במיטותיהם.
- שלושתם נורו בגבם.
- באחת מדירות הרצח הייתה מאפרה מלאה בבדלי סיגריות מוכתמים בשפתון של אישה.
- בכל הדירות נמצאו אותן טביעות אצבעות.
- באחת מזירות הרצח התנגן תקליט ישן ובו השיר "ים של אהבה".

כיצד תפרשו את העובדות: מהי השערתכם לגבי זהות הרוצח או הרוצחים? בססו אותה על העובדות.

1. האם הפרשנות שהעליתם מתיישבת עם כל העובדות?

2. האם תוכלו להציע פרשנויות נוספות?

המורה יספר לכם עכשיו את המשך הסרט. הקשיבו לסדרת העובדות הבאה.

כיצד תפרשו את העובדות כעת: מהי השערתכם לגבי זהות הרוצח או הרוצחים? בססו אותה על העובדות.

3. האם הפרשנות שהעליתם מתיישבת עם כל העובדות?

4. האם תוכלו להציע פרשנויות נוספות?

5. על פי הפרשנות שהצעתם, לו יכולתם להשוות את טביעות אצבעותיה של האישה עם אלה שנמצאו בזירות הרצח, מה הייתם מוצאים?

כמו בפענוח מקרי פשע אחרים, אנו נוכחים לדעת, שאפשר לפרש עובדות בצורות רבות, ושהפרשנות בה אנו בוחרים תלויה בניסיוננו, בדעותינו ואפילו במשאלות ליבנו. לו היה הבלש מסתפק רק בחלק מהעובדות הוא לא היה יכול להגיע לאמת.

איך זה קשור למדע?

בסרט הצליח הבלש לזהות בוודאות את הרוצח. אך המציאות מורכבת יותר ולעתים קרובות איננו יכולים להיות בטוחים שמצאנו את התשובה האמיתית. מה עושים המדענים?

ראשית, כמו בלשים, גם מדענים מנסים לאסוף כמה שיותר עובדות ולהצליב ביניהן כדי להגיע לפרשנות הטובה ביותר. הסתמכות על עובדה יחידה או אפילו על מספר עובדות יכולה להוביל למסקנות מוטעות. לכן, כשאנו מבססים את מסקנותינו על מספר רב של עובדות וממצאים, אנו יכולים להצליב את העובדות ולשלול חלק מהפרשנויות. לפעמים העובדות החדשות שאנו אוספים תומכות בפרשנות המסוימת ולפעמים הן יכולות לסתור אותה, ואז הן מחייבות להציע פרשנות חדשה.

נוסף על כך, המדע הוא אמפירי, כלומר מתבסס על ניסויים, שמטרתם להעמיד את הפרשנות למבחן. תוצאות הניסוי יכולות לאמת את הפרשנות או לסתור אותה.

נסתכל, למשל, על המשפט: "החיידק X הוא הגורם למחלה Y בעופות". אם כל מה שיודעים הוא שכלול מסוים פרצה מחלה, ושבגופן של התרנגולות החולות נמצא החיידק X, הרי שהקביעה שהחיידק X הוא גורם המחלה היא פרשנות מאוד לא מבוססת.

• חשבו על הסברים נוספים להימצאותו של החיידק X בתרנגולות החולות.

כדי לקבוע אם פרשנות זו נכונה (כלומר, אם החיידק X אמנם גורם למחלה), יש לאסוף עוד עובדות ולערוך ניסוי. למשל, צריך לנסות לבדד את החיידק X מכל העופות הנגועים במחלה, ולוודא שהוא לא נמצא בעופות הבריאים. אחר כך יש לקחת את החיידק המבודד, להדביק בו עופות בריאים ולראות שהם חלו במחלה. ואם לא די בזה, הרי שהכללים דורשים שאפשר יהיה לבדד שוב את החיידק, הפעם מהעופות שהודבקו באופן מלאכותי. רק אם מתקיימים כל התנאים האלה, ניתן לקבוע בוודאות שהחיידק X הוא הגורם למחלה בעופות.

כדי שתוצאות של ניסוי ייחשבו לעובדה מדעית, חוזרים עליו מספר פעמים ומבצעים אותו באופן זהיר וקפדני. כאשר מנסים, למשל, לבדוק את השפעתה של תרופה מסוימת על חולים, מחלקים את הנבדקים לשתי קבוצות: האחת מקבלת את התרופה והשנייה מקבלת תחליף. התחליף דומה לתרופה אך אינו מכיל את החומר הפעיל בה. האנשים המשתתפים בניסוי אינם יודעים לאיזו קבוצה הם שייכים. מטרתה של ביקורת זו היא לנטרל את העובדה, שאנשים רבים מדווחים על שיפור במצבם רק מעצם הידיעה והתקווה שהם עומדים לקבל עזרה. יתרה מכך, גם המדענים שבדקים את התרופה אינם יודעים בשלב הראשון מי מהנבדקים קיבל אותה ומי לא כדי שלא תהיה השפעה של הציפיות שלהם על החולים. בשלב הבא מפרסמים את תוצאות הניסוי, ועל ידי כך מאפשרים למדענים לחשוף את ממצאיהם לביקורת ולבדיקה על ידי מדענים נוספים.

- מנו לפחות שלוש דרכים המאפשרות למדענים להתמודד עם מגבלות המדע. הסבירו איך כל אחת מהדרכים מתמודדת עם המגבלות.

על אף מגבלותיו, המדע הוא הדרך שיש לנו להבין את העולם. בזכותו אנו יודעים כיום להסביר תופעות כמו רעידות אדמה ותנועת גרמי שמים, לחזות תופעות שיתרחשו בעתיד כמו ליקויי חמה, ולהצליח לפתח טכנולוגיות רבות עוצמה, כמו גשרים, טלפונים ניידים, חלליות, תרופות ועוד. כל אלה מתבססים על הידע המדעי – על העובדות והפרשנויות שניתנו להן על ידי מדענים.

סיכום

ראינו, שהידע המוקדם שלנו, ציפיותינו וניסיון העבר שלנו יכולים להשפיע על הדרך בה אנו מפרשים את התופעות והעובדות בהן אנו נתקלים. ראינו גם, שמה שמניע מדענים הוא הרצון להסביר את התופעות והעובדות ולהבין את החוקים העומדים בבסיסן. לשם כך, וכדי להתגבר על המגבלות שבאיסוף העובדות ובמתן הפרשנויות, נוקטים המדענים בדרכים שונות: איסוף עובדות רבות – בעזרת מכשירים ובאמצעות ניסויים זהירים ומבוקרים – והצלבה ביניהן, מתן פרשנות והעמדתה למבחן על ידי ניסויים נוספים ובאמצעות גילוי עובדות חדשות. הידע המדעי, הכולל את העובדות והפרשנויות, מאפשר לנו להסביר תופעות, לחזות אירועים ולפתח טכנולוגיות. מדענים אינם מסתפקים בניסיון להבין תופעות בודדות אלא מנסים למצוא את המשותף לעובדות ותופעות רבות.

למשל, האם יש קשר בין העובדות הבאות: הדמיון המפתיע בין כל היצורים שחיים על פני כדור הארץ; ההתאמה המופלאה לעתים בין היצורים לסביבה שבה הם חיים; קיומם של מאובנים, שדומים אך לא זהים לגמרי ליצורים שקיימים היום?
בספר זה נתמקד באחד התרומות הגדולות ביותר של המדע להבנת החיים: רעיון האבולוציה, המקשר בין כל התופעות הללו.

מפת למידה:

במהלך הספר נביא בפניכם רעיונות הקשורים זה בזה, שייבנו זה על גבי זה בהדרגה, כך שבסופו של דבר יובילו ליצירת תיאוריה. בכל פרק נציג מפה המתארת את הרעיונות החדשים שהוצגו באותו פרק לצד הרעיונות הקודמים.

פרק א

מדענים אוספים עובדות ונותנים להן פרשנויות כדי למצוא הסבר לתופעות ולגלות חוקים בטבע. כדי להגיע לחקר האמת, עומד ההסבר כל הזמן למבחן באמצעות הצלבת עובדות וניסויים מבוקרים.

פרק ב' מאובנים - עדויות מן העבר

אחד מסוגי הממצאים המרתקים המצויים בידי המדענים הם המאובנים. בעבר הרחוק חשבו שהמאובנים הם עצמות של ענקים או של דרקונים. היותם של המאובנים שרידים של יצורים שחיו בעבר התבררה הרבה יותר מאוחר, בתחילת המאה התשע-עשרה לערך. אפשר לומר שמאובנים הם עובדות מן העבר והם מאפשרים לנו ללמוד כיצד נראו היצורים החיים שאכלסו את כדור הארץ בתקופות קדומות.

אנשים רבים חושבים שהמאובנים שאנחנו מוצאים הם היצורים עצמם שנשמרו מיליוני שנה אך רק מעט מאוד מן המאובנים הם כאלה.

שרידים של יצורים לא נשמרים בדרך כלל זמן רב כמו שהם, מפני שהם מתפרקים. רוב המאובנים שאנחנו מוצאים עשויים מאבן (ולכן הם נקראים מאובנים). מה, אם כן, הקשר בין היצורים שחיו בעבר ובין האבנים האלה? האם יכולים יצורים להפוך לאבנים? מסתבר שכן, בתהליך הנקרא: התאבנות. כיצד מתרחש התהליך בו הופך יצור למאובן? כיצד מתרחשת ההתאבנות?

כיצד נוצרים מאובנים?

כדי שיצור ייהפך למאובן צריכים להתקיים תנאים מאוד מיוחדים. הסיכוי לכך הוא בדרך כלל נמוך ולכן רק מעט מאוד מהיצורים שחיו בעבר ומאלה שחיים כיום הופכים למאובנים. יש כמה דרכים בהן יצורים מתאבנים. נתאר כאן דוגמה אחת.

נניח שיצור מסוים שחי בעבר, דינוזאור למשל, מת. מה קרה לגופו? הבשר ושאר הרקמות הרכות נאכלו על ידי בעלי חיים שונים, ואילו העצמות נשארו. נניח שהדינוזאור מת במקרה בקרבת נהר באזור שיש בו חול. במשך הזמן נערמו על העצמות שכבות חול והן נקברו עמוק בתוכו. ייתכן שבתקופה מסוימת עלה הנהר על גדותיו, ואז התכסה האזור בו נקבר הדינוזאור במים. המים לחצו על השכבות שבתוכן היו כלואות העצמות, השכבות העליונות דחסו את התחתונות ונוצר סלע שאנו קוראים לו סלע משקע. במשך כל הזמן הזה היו עצמות הדינוזאור כלואות בתוך השכבות.

זהו? כמעט, אבל עדיין לא. הסיפור קצת יותר מורכב:

עצמות עשויות, כידוע, ממינרלים כמו סידן. בזמן שעצמות קבורות עמוק באדמה, מתחלפים המינרלים שבתוכן עם המינרלים המצויים בסלע שסביבן, ובמילים אחרות: חלקיקי עצם מתחלפים בחלקיקים מהסלע. וכך, לאחר מיליוני שנה, מתקבלות "עצמות", שאינן עשויות כלל מהמינרלים המקוריים שהרכיבו אותן אלא מאלה המרכיבים את הסלע. צורת העצמות נשמרת: המאובן זהה בצורתו לעצמות המקוריות.

ואז, אם יום אחד יגיע מישהו ויחפור במקום, עשויות להתגלות עצמות הדינוזאור שהפכו למאובנים.

תהליך דומה, קורה גם ליצורים אחרים. בדרך כלל, חלקי הגוף הרכים מתפרקים מהר יחסית וכמעט לא משאירים עקבות ואילו חלקי הגוף הקשים (כמו עצמות, שיניים, ציפורניים או קונכיות) מתפרקים לאט ואת מקומם תופסים חלקיקים מהסלע. במילים אחרות, המאובנים שאנחנו מוצאים, אינם מורכבים מהשלד המקורי, אלא מהווים העתק עשוי אבן של היצור.



המאובן של האמוניט נוצר לאחר שאמוניט נכלא בשכבות סלע.

על דרך נוספת שבה יצורים עוברים תהליך התאבנות לימדו בפעילות הבאה.

מאובנים מהירי הכנה

החומרים הדרושים:

עלים, שבלולים או צדפים (שיהפכו ל"מאובנים"); וזלין, פלסטלינה, אבקת גבס, מיכל, מים.

אופן ההכנה:

1. מרחו וזלין על גבי היצור אותו בחרתם להפוך למאובן (עלה, שבלול או צדף).
2. לחצו אותו כנגד הפלסטלינה
3. הסירו אותו בעדינות מהפלסטלינה
4. מרחו את השקע שנוצר בפלסטלינה בשכבת וזלין (בזהירות, כדי לא לשנות את צורת הפלסטלינה).
5. שפכו מעט מאבקת הגבס למיכל, הוסיפו מעט מים וערבבו עד לקבלת עיסה סמיכה.
6. שפכו את עיסת הגבס בזהירות לתוך השקע בפלסטלינה.
7. לאחר שהגבס התייבש, קלפו ממנו את הפלסטלינה.

מהי צורת המאובן שקיבלתם?

פעילות זו היא הדמיה של שני סוגי מאובנים. ה"מאובנים" של הצדפים והעלים בפעילות דימו מאובנים שמטביעים את צורתם החיצונית על הסלע. ה"מאובנים" של השבלולים בפעילות דימו מאובנים שחומר כלשהו חודר אל תוך השלד החיצוני שלהם ומתקשה. עם הזמן, מתפרק השלד החיצוני ומתמוסס, ונשארת רק תבנית של הצורה הפנימית.



מאובן של דג שנוצר בעקבות "הטבעה" של צורת הדג על אדמה שהפכה לסלע.

האם קיימים מאובנים של יצורים שלמים?

רק לעיתים נדירות מוצאים מאובנים של יצורים שלמים.

לעיתים רחוקות משתמרים האיברים המקוריים של היצור, כולל החלקים הרכים שלו. זה יכול לקרות כאשר חרק, חלק של צמח, או אפילו צפרדע קטנה נלכדים בשרף הנוזלי של העצים שמתקשה לאחר מכן והופך לענבר. מכיוון שאין בענבר חמצן, היצורים הכלואים בו אינם מתפרקים.

מאובן שנוצר לאחר שחרק נכלא בשרף עצים שהתקשה והפך לענבר.



גם כאשר יצור קופא הוא יכול להישמר בשלמותו. מרבית היצורים שמשתמרים כך הם חרקים או צמחים אך לפני מספר שנים נמצאה ממותה (שגודלה כשל פיל!) שלמה שקפאה בסיביר ונשמרה כך אלפי שנים. כשהממותה הופשרה הסתבר שתכונות רבות שלה נשמרו ללא שינוי. צבע בשרה היה אדום ואפילו הארוחה האחרונה שאכלה נמצאה בקיבתה!

מאובנים אינם חייבים להיות רק חלקים של יצורים. הם יכולים להיות גם סימנים המעידים על פעילותם של יצורים שחיו בעבר כגון: עקבות שהותירה אחריה ציפור, מחילת תולעים או הפרשות של מכרסמים.

עקבות הדינוזאור שבתמונה נמצאו בבית זית באזור ירושלים.



מאובנים – חלון אל העבר

1. מה קורה לרקמות הרכות של היצור החי לאחר מותו?
2. מבחינים בין שתי קבוצות של יצורים: כאלה שאין להם חלקים קשים (כגון: חרקים מסוימים, תולעים, מדוזות וצמחים) לבין כאלה שיש להם חלקים קשים (צדפות, יונקים, דגים). איזה יצורים תצפו שיעברו תהליך התאבנות? האם תצפו שיתאבנו בשלמותם או שחלקים מהם יתאבנו?
3. לאור העובדה שמרבית המאובנים הם רק העתקים של היצורים (או של האיברים) המקוריים, האם בכלל אפשר ללמוד מהם על היצורים? הסבירו.
4. נסו להעריך, איזה חלק מהיצורים שיש להם שלד ואשר חיים בתקופה מסוימת יהפכו למאובנים – כולם, חלקם הגדול, או מיעוטם?
5. נניח שבזמן מסוים היו קיימים באותה הסביבה שני מינים של ציפורים. מהמין האחד היו פי מיליון יותר ציפורים מאשר מהמין השני. איזה מאובנים סביר יותר שנמצא היום – של הציפור מהמין הנפוץ או של הציפור מהמין הפחות נפוץ? הסבירו.

המאובנים שנמצאו עד היום מייצגים רק חלק קטן ממגוון היצורים שחיו בעבר. הסיבה לכך היא, שכדי שיצור יהפוך למאובן צריכים להתקיים תנאים מיוחדים מאוד. למשל, שהיצור יילכד בבוצ וישמר בו זמן ארוך מספיק בתנאים של חוסר חמצן שמונעים ריקבון מהיר. אם אין לו חלקים קשים בגופו, סיכוייו להתאבן קטנים אף יותר. מובן שבכל שהיצור החי נדיר יותר כך גם קטנים הסיכויים למצוא מאובנים שלו. ומה הסיכוי שיצור שכבר התאבן יתגלה על ידי האדם? קטן מאוד! ראשית, עליו לעמוד בפני כוחות ההרס הביולוגיים, הפיסיקליים והכימיים הפועלים עליו ועל הסלע בו הוא נמצא, ואז להיות במקרה במקום שאנשים מחפשים בו מאובנים!

אם כך, הרי שהשאלה שצריך לשאול היא לא מדוע אין יותר מאובנים אלא איך זה שבכל זאת מוצאים מאובנים. למזלנו, התגלו במשך השנים מאובנים רבים המאפשרים למדענים לחקור כיצד נראו יצורים בעבר.

6. בין שלל המאובנים שמוצאים, יש הרבה יותר מאובנים ימיים יחסית למאובנים יבשתיים. נסו לשער מדוע.
7. סכמו, מהם הגורמים המשפיעים על התאבנותם של היצורים השונים?
8. האם בעוד שנים רבות, בהנחה שהאמצעים לגילוי מאובנים ישתכללו מאוד, נמצא לדעתכם, מאובנים של כל היצורים שחיו על פני כדור-הארץ? נמקו.
9. האם, לדעתכם, עדיין נוצרים מאובנים?

התגלה ממצא מפתיע: רקמות רכות של דינוזאור!

(מעובד מתוך כתבה מאת תמרה טראובמן שהופיעה בעיתון הארץ בתאריך 27/3/2005)

מדענים אמריקאים שבדקו עצמות של מאובן של דינוזאור מסוג טירקס מצאו, להפתעתם, רקמות רכות – ובכללן כלי דם ותאי דם – ששמרו על חלק מגמישותם המקורית עשרות מיליוני שנים אחרי מות הדינוזאור!

במשך שנים רבות הוגבל המידע על הדינוזאורים לעצמות מאובנות ששרדו מהזמנים הקדומים בהם חיו הדינוזאורים. לעיתים נדירות התגלו רקמות אחרות שהשתמרו (למשל נוצות ועובר), אך המבנה הפנימי שלהן נהרס והמדענים הצליחו ללמוד רק על צורתן.

הטי-רקס היה טורף ענק, שנכחד לפני כ-65 מיליון שנה. העצמות שנבדקו במחקר האחרון התגלו ב־2003 באתר חפירות במונטנה ושייכות לדינוזאור שחי לפני 68 מיליון שנה. עצם הירך שלו הייתה שבורה, והחוקרים הבחינו בפיסת רקמה שקופה וגמישה בתוך החלל שבו היה מח העצם שלו.

בבדיקה תחת המיקרוסקופ נראו מבנים מאורכים דמויי כלי דם ותאים בודדים – שהם כנראה תאי דם.

לדברי ראש צוות החוקרים, "יש סיכוי שהחלבונים לא נפגעו. אם התאים מכילים את החלבונים המקוריים, אנו עשויים להפיק מכך מידע חדש על דינוזאורים".

לאחר קריאת המאמר ענו על השאלות הבאות:

1. מה קורה לרקמות הרכות של יצור חי לאחר מותו?
2. למה לא ניתן למצוא בדרך כלל תאים ו-DNA במאובנים?
3. מהו הגילוי שעליו מדווח המאמר?
4. מיהו דינוזאור מסוג טי-רקס?
5. לאור מה שלמדתם בפרק עד כה, במה שונה המאובן המתואר במאמר ממאובנים שמוצאים בדרך כלל?
6. מהי חשיבות הגילוי? מה ניתן ללמוד ממנו שלא ידעו קודם?
7. בסרט פארק היורה מדענים להפיק DNA של דינוזאורים ממאובנים וליצור ממנו שוב דינוזאורים. האם, לדעתכם, הסרט "פארק היורה" הקדים את המדע?

סדר שיהיה כאן!

הסלעים שבהם נמצאים המאובנים אינם מהווים גוש אחיד. הם נוצרו בהדרגה, כאשר בכל פעם שכבת אדמה אחת כיסתה את הקודמת. משום כך כאשר מסתכלים על סלע, רואים שהשכבות שבו מסודרות זו על גבי זו לפי גילן: העתיקות יותר נמצאות למטה ואילו הצעירות – למעלה, קרוב יותר לפני השטח.



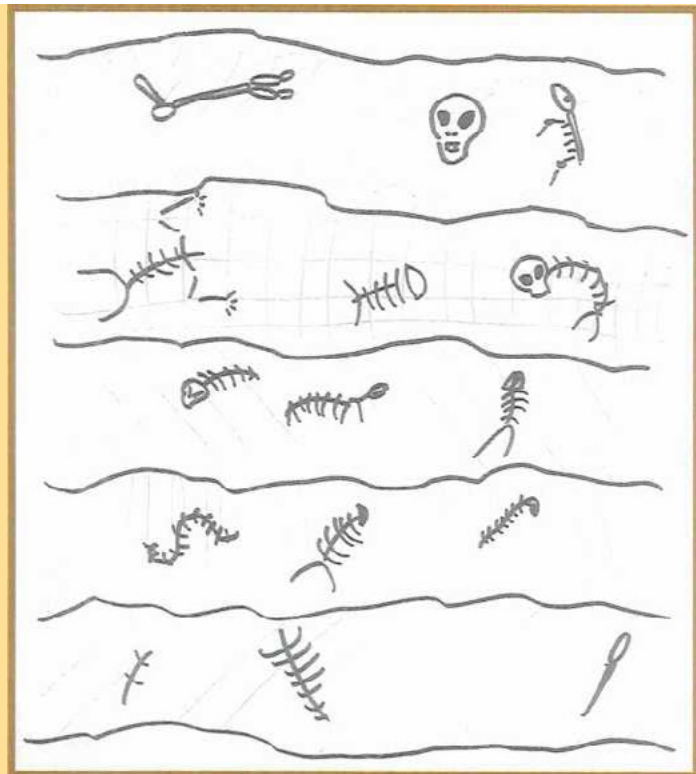
ניתן להבין את תהליך יצירת השכבות השונות של הסלע ואת גילם של המאובנים בעזרת האנלוגיה הבאה: חשבו על הסלע כעל ערמת עיתונים שנערמת יום יום במשך זמן רב. בכל יום מונח על ראש הערימה עיתון חדש - העיתון של אותו היום - והוא מונח על העיתון של היום הקודם. מכאן אפשר להבין, שהעיתונים שבתחתית הערימה הם הישנים ביותר וככל שמתקדמים לראש הערימה מוצאים עיתונים חדשים יותר. נניח שמידי פעם נופלת על הערימה פרוסת לחם שנאכלה באותו היום. היא תתכסה (ותימנע) בהמשך על ידי העיתונים הבאים. אם נדמה את הפרוסה למאובן, נוכל לראות שהפרוסות התחתונות הן העתיקות ביותר והעליונות - חדשות יותר. כך גם ניתן לראות, שאם אנחנו יודעים את גילה של השכבה (לפי התאריך על העיתון) אפשר גם לדעת את גיל הפרוסה ומתי היא נאכלה. כיוון שבידי המדענים שיטות לקבוע את גילן של שכבות הסלע השונות, ניתן גם לקבוע את גיל המאובנים בשכבות השונות.

- משלחת מדענים ישראלית בראשות פרופ' יואל רק יוצאת כל שנה לחפש מאובנים של אנשים קדומים באזור מסויים באתיופיה. כשאחד מחברי המשלחת מוצא מאובן, הוא אינו מזיז אותו משכבת הסלע בו הוא נמצא עד שהמומחים במשלחת קובעים את גילה של שכבת הסלע. האם תוכלו להסביר מדוע חשוב לא להזיז את המאובן? העזרו באנלוגיה של ערימת העיתונים.

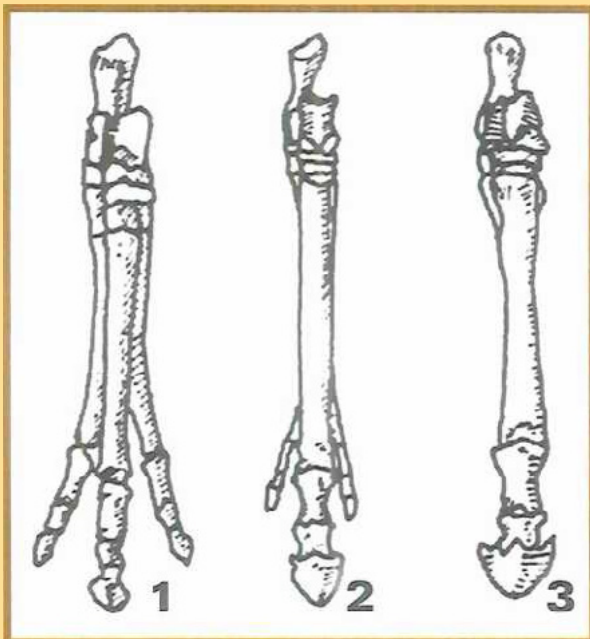
השכבה הצעירה ביותר



השכבה הקדומה ביותר



מאובנים בשכבות של סלעי משקע.



שחזור גפיים של סוסאים מתקופות קדומות ועד ימינו על פי רצף של מאובנים.

שימו לב: באיור לגפיים גודל אחיד. במציאות, מאובן 3 הוא הארוך ביותר ומאובן 1 הוא הקצר ביותר.

הרצף שלפניכם מתאר מאובנים של עצמות רגליים שנמצאו במקומות שונים בעולם. על פי בדיקת הצורה ומבנה העצמות קיים דמיון רב בין כל המאובנים האלה, ובינם לבין הסוסים שחיים כיום. עם זאת, כפי שאפשר לראות, הם שונים זה מזה.

1. היכן תצפו למצוא את מאובן מספר 1 – בשכבות סלע קדומות או צעירות יותר מאשר מאובן מספר 3? האם מאובן מספר 2 יימצא בשכבות סלע קדומות או צעירות מאלה שבהן יימצא מאובן מספר 3? רמז: לסוסים החיים כיום אין אצבעות אלא פרסה!
2. על מה יכול להצביע הדמיון בין המאובנים של הסוסאים?
3. על מה יכול להצביע הדמיון בין המאובנים לסוסים של ימינו?
4. מהו השוני הבולט בין המאובנים?
5. על מה יכול להצביע השוני?

מסדרות נוספות של מאובנים ומעדויות נוספות, אותן נכיר בהמשך, הסיקו מדענים שאוכלוסיות של יצורים חיים משתנות במהלך הדורות.

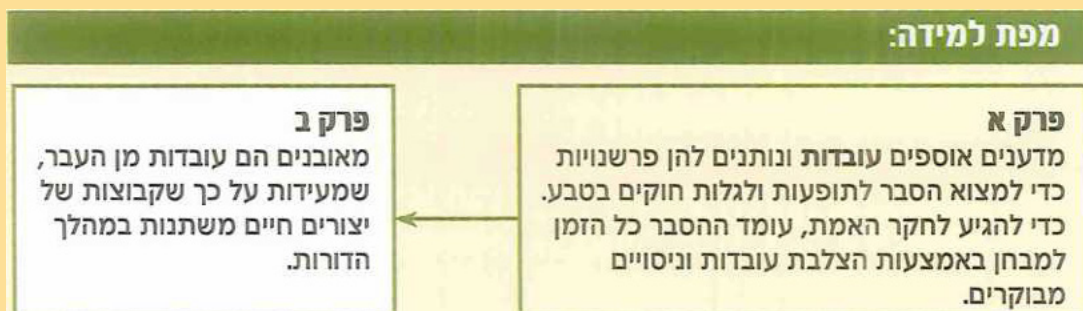
שאלות לסיכום

1. נהוג לדבר על "עצמות של דינוזאורים" שנמצאו במקומות שונים. לאור מה שלמדתם בפרק זה, האם זהו ניסוח נכון? אם לא, כיצד הייתם מתקנים אותו?
2. האם, לדעתכם, מאובנים עדיין נוצרים?
3. בהנחה, שמדענים ימשיכו בחיפושיהם והטכנולוגיה למציאת מאובנים תשתכלל מאוד, האם אפשרי שימצאו מאובנים של כל היצורים שחיו אי פעם? הסבירו.

סיכום

ראינו שמאובנים הם עובדות מן העבר: אלה הם שרידים של יצורים שחיו בעבר ולכן מאפיינים שרים לנו ללמוד כיצד נראו היצורים החיים שחיו בכדור הארץ בתקופות קדומות. מאובנים נוצרים כל הזמן, גם כיום, אך הם מייצגים רק חלק קטן מאוד מהיצורים החיים. תהליך יצירת המאובנים (התאבנות) הוא תהליך נדיר כיוון שהוא מתרחש רק בתנאי סביבה מיוחדים מאוד (כמו חוסר חמצן) והוא אפשרי, על פי רוב, רק לגבי יצורים שיש בגופם חלקים קשים. מרבית המאובנים אינם מורכבים מהחומר המקורי של היצור אלא מאבן, אך הם העתק מדויק של היצור המקורי מבחינת הצורה. השכבות העליונות מכילות מאובנים צעירים יחסית ואילו השכבות התחתונות מכילות מאובנים עתיקים יותר. מעדויות של מאובנים נמצא שקבוצות של יצורים חיים משתנות במהלך הדורות.

מפת למידה:



פרק ג':

מדוע היה לדוד המלך שיער אדמוני, מהיכן השרירים של הזוכה במדלית זהב ולמה לג'ירפה יש צוואר ארוך?

בסוף הפרק הקודם אמרנו, שמדענים הסיקו על סמך עדויות מאובנים (וגם על פי עדויות נוספות) שקבוצות של יצורים חיים משתנות במהלך הדורות. כך, למשל, מעדויות מאובנים נמצא, שהג'ירפות שחיו בעבר היו בעלות צוואר קצר בהרבה מאלה שחיות כיום.

- נסו לחשוב: כיצד התארך צווארן של הג'ירפות? לידיעתכם, מדענים סבורים כי הייתה תקופה מסוימת שבה המזון הסמוך לקרקע התמעט בעקבות בצורת, אך תמיד נותר שפע של מזון על ענפי העצים. כיצד אפשר להסביר, אם כן, את העובדה שלג'ירפות שחיות כיום יש צוואר ארוך? נסו להתייחס לשלבים בתהליך.

האם תכונות נרכשות עוברות בתורשה?

- האם, לדעתכם, תכונות שיצורים רוכשים במהלך חייהם עוברות בתורשה? תנו דוגמה שתתמוך בקביעתכם.

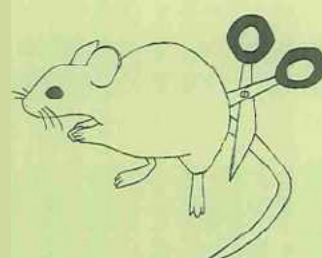
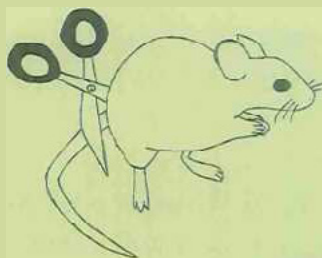
החוקר אוגוסט וייסמן שחי ופעל בסוף המאה ה-19 ובתחילת המאה ה-20 בדק בדיוק את השאלה הזו.

אוגוסט וייסמן היה מדען גרמני שחי לפני כמאה שנה (1834-1914). הוא רצה לבדוק אם תכונות שיצורים רוכשים במהלך חייהם עוברות בתורשה לצאצאיהם. לשם כך הוא ערך את הניסוי הבא: הוא לקח עכברים, חתך את זנבותיהם ואפשר להם להתרבות בינם לבין עצמם. הוא חתך גם את זנבות הצאצאים ואפשר גם להם להתרבות. כך עשה לכל הצאצאים במשך כשישים דורות.

משך דור הוא פרק הזמן שחולף מלידתו של יצור חי ועד שהוא מעמיד צאצאים. באדם, מקובל להתייחס לעשרים וחמש שנה כמשך דור. אצל עכברים, משך הדור הוא כחודשיים.

1. האם אצל כל האנשים שאתם מכירים משך הדור זהה?
2. האם בכל התרבויות האנושיות משך הדור זהה?
3. האם, לדעתכם, חל שינוי במשך הדור במהלך הקיום האנושי? השוו בין האדם הקדמון לאדם המודרני.
4. מהם, לדעתכם, היתרונות בביצוע הניסוי דווקא בעכברים?

הניסוי של וייסמן



- כיצד, לדעתכם, נראו זנבות הצאצאים כעבור דור אחד של חיתוך זנבות ההורים?

בחרו אחת מהאפשרויות שלפניכם ונמקו.

הצאצאים נולדו ללא זנב.	קצרים בהרבה מהזנבות המקוריים של ההורים.	מעט קצרים יותר מהזנבות המקוריים של ההורים.	דומים לאורך הזנבות המקוריים של ההורים.
------------------------	---	--	--

- כיצד, לדעתכם, נראו זנבות הצאצאים כעבור שישים דורות של חיתוך זנב?

בחרו אחת מהאפשרויות ונמקו.

הצאצאים נולדו ללא זנב.	קצרים בהרבה מהזנבות המקוריים של ההורים.	מעט קצרים יותר מהזנבות המקוריים של ההורים.	דומים לאורך הזנבות המקוריים של ההורים.
------------------------	---	--	--

- וייסמן חתך את זנבות העכברים במשך שישים דורות. אילו היה ממשיך לחתוך את זנבות העכברים במשך מאתיים דורות, כיצד, לדעתכם, היו נראים זנבות הצאצאים בתום הניסוי האחרון? בחרו אחת מהאפשרויות ונמקו.

הצאצאים נולדו ללא זנב.	קצרים בהרבה מהזנבות המקוריים של ההורים.	מעט קצרים יותר מהזנבות המקוריים של ההורים.	דומים לאורך הזנבות המקוריים של ההורים.
------------------------	---	--	--

- גם לפני וייסמן היו שטענו שתכונות נרכשות אינן עוברות בתורשה (לצד אחרים שטענו שהן עוברות בתורשה). מה הוסיף הניסוי של וייסמן על הדיון בשאלה זו?

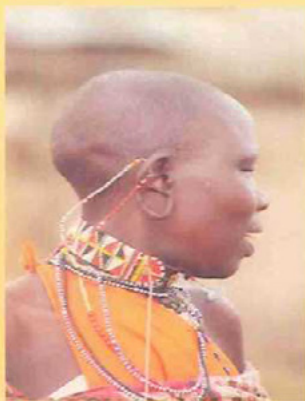
וייסמן אמנם לא המשיך בניסוי במשך מאתיים דורות אולם אנו יכולים להסתכל על מנהגים שונים של בני אדם שנערכים במשך מספר גדול אף יותר של דורות. כך, למשל, בסין נחשבו בעבר כפות רגליים קטנות של נשים ליפות יותר. על מנת להגביל את גדילת כפות הרגלים, נהגו לחבוש את רגלי הבנות חבישה הדוקה. בעקבות העיוות שיצרה הקשירה בעצמות כף הרגל נותרו כפות רגליהן של הבנות קטנות מאוד גם בבגרותן. מנהג החבייה שהתקיים לאורך דורות רבים.

גם ברית המילה הוא מנהג שנערך כבר דורות רבים.

● מנהגים נוספים מוצגים בתמונות שלפניכם. נסו לחשוב, לגבי כל מנהג, האם התכונות שבני האדם משנים בצורה מכוונת מופיעות גם אצל הצאצאים?



בנות שבטים מסוימים בתאילנד עונדות טבעות מתכת רבות סביב צווארן, שגורמות לצווארן לה־תארך. מנהג זה קיים במשך דורות רבים.



במשך דורות רבים בני שבט המסאי שבקניה מנקבים חורים באוזניהם ועונדים עגילים כבדים, שגורמים לתנוכי אוזניהם להתארך.



בגנים שונים מעצבים את העצים והשיחים על ידי גיזום חוזר ונשנה.



בעלי כלבים השייכים לגזעים מסוימים נוהגים לקצץ לכלבם את הזנב. גם מנהג זה קיים כבר עשרות רבות של שנים.

- האם, לדעתכם, בכל אחת מהדוגמאות, השינוי מופיע גם בצאצאים? חשבו על כפות הרגליים הקטנות, היעדר העורלה, הצוואר המוארך, התנוכים המוארכים, הזנב הקצוץ וצורת השיח המעוצבת. הסבירו את קביעתכם.
- הביאו דוגמאות נוספות של תכונות שיצורים רוכשים או מאבדים במהלך חייהם והחליטו אם הן עוברות בתורשה לצאצאים.

נחזור לשאלת ההתארכות של צוואר הג'ירפה.

- נניח שג'ירפה מסויימת מתחה את צווארה, וצווארה התארך בסנטימטר. האם, לדעתכם, צאצאיה יהיו אף הם בעלי צוואר ארוך בסנטימטר?

מדוע תכונות מסויימות עוברות מדור לדור ואחרות לא?

אתם בודאי מכירים תכונות שעוברות מדור לדור. למשל, באדם – צבע העיניים או סוג הדם, בארנבון – צבע הפרווה ובפרח – מספרם וצבעם של עלי הכותרת.

- חשבו על תכונות נוספות שעוברות מדור לדור.
- נסו לשער מה מאפשר לתכונות אלו לעבור בתורשה?

כאשר תכונה שכיחה בקרב בני משפחות מסויימות ושכיחה פחות בקרב בני משפחות אחרות, מתעורר חשד שמדובר בתכונה תורשתית.

אתם בוודאי מכירים משפחות בהן רבים מבני המשפחה מצטיינים בספורט, עוסקים בעריכת דין, בעלי עיניים כחולות, יודעים לדבר צרפתית, חולים בסוכרת, בעלי מזג חם, מעשנים או בעלי נימוסי שולחן טובים. לעיתים התכונות הללו מופיעות במשך כמה דורות.

- האם כל תכונה שמופיעה אצל רבים מבני אותה משפחה לאורך דורות, היא תכונה תורשתית? נמקו את קביעתכם.

תכונות תורשתיות עוברות מהורים לצאצאים ונקבעות על ידי החומר הגנטי – ה-DNA.

ה-DNA מהווה מעין רשימת הנחיות להתפתחות היצור החי ולקיומו. באדם, למשל, התכונה של צורת האף נמצאת ב-DNA, ולכן עוברת מהורים לצאצאים. לעומת זאת, עיצוב האף באמצעות ניתוח פלסטי אינו משנה את ה-DNA ולכן צורת האף החדשה לא תעבור לצאצאים. ההורה מוריש לצאצאיו את ה-DNA ולא את התכונות עצמן (במקרה זה את האף).

כדאי לזכור שתכונות רבות נקבעות הן על ידי התורשה (כלומר על ידי ה-DNA) והן על ידי גורמים סביבתיים. כך, למשל, היכולת ללמוד שפה היא תורשתית ומשותפת לכל המין האנושי אך רכישת שפה מסויימת (למשל עברית או צרפתית) היא תוצאה של חיים בסביבה בה מדברים שפה זו.

דוגמה נוספת: בקרב בני משפחות שבהן התגלו מקרים רבים של חולים בסרטן ריאות, זוהו שינויים מסוימים ב-DNA שמעורבים בהופעת המחלה. יחד עם זאת, הוכח שלעישון (שהוא גורם סביבתי) יש השפעה מובהקת על התפרצות המחלה.

שכיחות סרטן השד בקרב נשים ביפן נמוכה בהרבה בהשוואה לנשים החיות בארצות הברית. בשנות התשעים זוהו מקטעי DNA המעורבים בהופעתו של סרטן שד בנשים. כאשר עקבו אחרי אוכלוסייה יפנית שהיגרה לארצות הברית (וחבריה התחתנו בינם לבין עצמם) נמצא, שבמהלך הדורות עלתה שכיחות סרטן השד בקרב הנשים היפניות ובדור השלישי – היא השתוותה לזו של כלל הנשים בארצות הברית.

● מה תוכלו לומר על הגורמים להופעת מחלת סרטן השד?

ה – DNA משפיע על תכונות שונות:

- על הצורה החיצונית (למשל, צבע העין, צורת העלים או צורת האוזן).
- על המבנה הפנימי (למשל, מבנה הריאות או קיומם של חללי אוויר בגבעול).
- על תהליכים שמתרחשים בגוף (יצירת רעל בפטריות, יצירת ארס בנחשים, עמידות כנגד אנטיביוטיקה בחיידקים, סוג הדם באדם, ועוד).
- על ההתנהגות (צורת החיזור, טיפול בצאצאים, שמירה על טריטוריה, בניית רשת צייד על ידי עכבישים, ועוד).

1. האם כל תכונה תורשתית באה לידי ביטוי החל מרגע הלידה?

2. האם כל תכונה נרכשת ניכרת רק כעבור זמן כלשהו לאחר הלידה?

שאלות לסיכום

1

מיינו את התכונות הבאות לכאלה שעוברות בתורשה, לכאלה שאינן עוברות בתורשה ולכאלה שעוברות בתורשה ומושפעות מהסביבה: שיער אדמוני (ג'ינג'י); קוצר ראייה; עור יבש בכפות הרגליים; עיניים מלובסנות; שרירים מפותחים; צבע עור; אורך צוואר הג'ירפה.

2

במשפחת קסם, משפחת מכשפות ידועה, לכל הנשים יש גיבנת. הגיבנת מתפתחת רק כאשר המכשפה מגיעה לגיל 50. מתילדה, מכשפה מוכשרת בת 18, טוענת כי הגיבנת היא תכונה נרכשת, מכיוון שזו לא תכונה שנולדים איתה.

3

האם מתילדה צודקת, לדעתכם? הסבירו את תשובתכם.
עידו ושמואל הם תאומים זהים (כלומר הם בעלי DNA זהה) בני ארבעים. עידו הוא רואה חשבון ועובד במשרד ואילו שמואל עובד כמציל בבריכה. לפני כשנתיים חלה שמואל בסרטן העור.

א. למי יש סיכוי רב יותר, לדעתכם, לחלות בסרטן העור:

א. לילדיו של שמואל

ב. לילדיו של עידו

ג. לא ניתן לקבוע

הסבירו את תשובתכם.

ב. האם חשוב לדעת, אם ילדיו של שמואל נולדו לפני או אחרי שחלה בסרטן העור כדי לענות על השאלה הקודמת?

יוסי כהן מרים משקולות כבר עשר שנים. הוא פיתח שרירים ואפילו היה אחד המתמודדים בתחרות "מר ישראל". בחדר הכושר הוא הכיר את אשתו אלישבע גוטפריד (שהוכתרה במשך שנתיים רצופות בתואר "מרת ישראל"). לשניים נולד תינוק.

4

א. כיצד נראה, לדעתכם, תינוקם של בני הזוג – בעל שרירים מפותחים או בעל שרירים רגילים?

התינוק היום הוא בן שלוש. לאחר הולדתו, לא היה לזוג כהן זמן להתאמן, שריריהם אינם מפותחים כמו בעבר ולמר כהן אף צמחה כרס קטנה.

ב. השניים מצפים שוב לתינוק. כיצד ייראה, לדעתכם, תינוקם - בעל שרירים מפותחים או בעל שרירים רגילים?

ג. השוו בין תשובותיכם לסעיף א' ולסעיף ב' והסבירו אותן.

אילו עובדות שלמדתם תומכות בקביעה שתכונות נרכשות אינן עוברות בתורשה לצאצאים?

5

סיכום

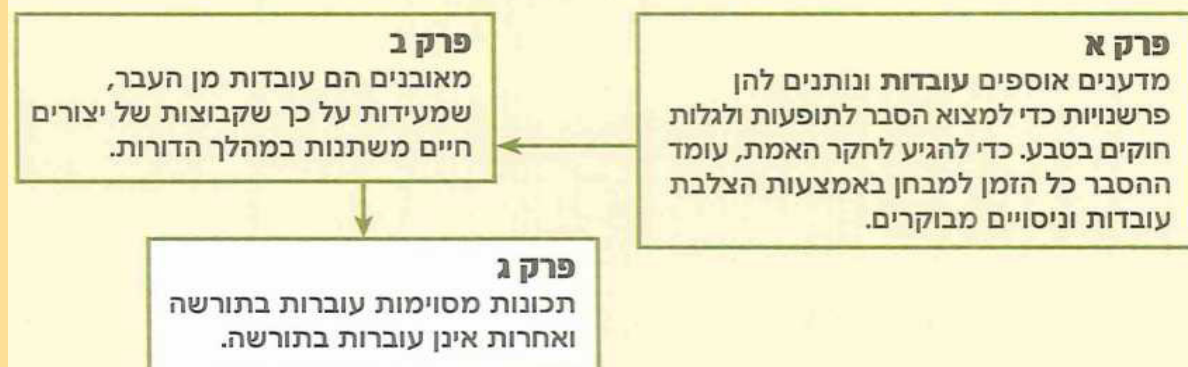
פרק זה התמקד ברעיון שתכונות מסוימות עוברות בתורשה ואחרות אינן עוברות בתורשה. תכונות תורשתיות נקבעות על ידי ה-DNA ומשפיעות על תכונות שונות בקרב יצורים חיים. תכונות נרכשות אינן משנות את ה-DNA ולכן אינן עוברות בתורשה. כיוון שבעבר היו הג'ירפות בעלות צוואר קצר בהרבה מאלה שחיות כיום, נשאלת השאלה כיצד הוא התארך.

תכונת אורך הצוואר בג'ירפות היא תכונה תורשתית הנקבעת על ידי ה-DNA, בדומה לתכונות אחרות הקשורות למבנה הגוף. לעומת זאת, צוואר שמתארך כתוצאה ממתחתו אינו משנה את ה-DNA ולכן לא יעבור בתורשה. יתכן, אם כן, שאבותיהן של הג'ירפות ניסו ואולי אף הצליחו למתוח מעט את צווארם אולם צאצאיהם לא נולדו עם צוואר "מתוח". באופן דומה, נשות השבטים המאריכות את צווארן בעזרת טבעות אינן משנות את החומר התורשתי שלהן ולכן אינן מורישות לצאצאיהן צוואר מוארך. ובכל זאת, אנו יודעים שאבות אבותיהם של הג'ירפות היו בעלי צוואר קצר יותר מאשר הג'ירפות החיות כיום.

- לאור העובדה שאורך הצוואר בג'ירפות היא תכונה תורשתית, האם תוכלו לשנות את תשובתכם לשאלה שנשאלה בתחילת הפרק - כיצד התארך צווארן של הג'ירפות?

בפרקים הבאים נתקדם בגילוי ההסבר. נתמקד בעובדות נוספות המצויות בידינו ונבדוק, האם יש להן קשר להתארכות צוואר הג'ירפה.

מפת למידה:



פרק ד': האם כל הפילים דומים? על יתרונות השונות

החיים על הנייר והחיים במציאות

כמה צאצאים יכולים להיות לזוג פילים? ולזוג זבובים? לחיידק? ולעצי תפוז?

חוקרים שונים חישובו את מספר הצאצאים שיכולים להיווצר מזוג הורים (או מהורה אחד, אם מדובר ברביה אל-זוויגית) במהלך כמה דורות. החוקרים הניחו שבכל דור, כל הצאצאים שורדים ומתרבים. הם מצאו ש:

- זוג פילים יכול ליצור אוכלוסייה בת 19 מיליון פילים תוך 750 שנה.
- זוג זבובים, שמשך הדור שלהם קצר יותר, יכול ליצור אוכלוסייה בת 10^{18} זבובים תוך חמישה חודשים.
- חיידק, שמשך הדור שלו קצר אף יותר, יכול ליצור אוכלוסיית חיידקים שתבסה את פני כדור הארץ בשכבה בעובי של שני מטרים תוך 48 שעות בלבד.

עד כאן החישובים. העובדות בשטח הן אחרות כמובן.

חשבו על השאלות הבאות:

1. כינים יכולות לחיות כ-45 ימים (חודש וחצי). כל כינה מטילה במהלך חייה כ-250 ביצים ומהן מתפתחות כינים נוספות. חשבו כמה כינים ישנן כעת על ראשו של ילד, אם קפצה לראשו כינה אחת לפני חצי שנה והוא לא טיפל בהן.

2. האם, לדעתכם, מספר הכינים שנמצא על ראש הילד לאחר חצי שנה יהיה קרוב למספר שחיבתם? הסבירו את תשובתכם.

כמה פרטים על המושג "פרטים"

פרט הוא חלק מדבר מורכב, יחידה אחת מיני רבות. כאשר מתבוננים, למשל, בתמונה מורכבת של רחוב, ניתן להתמקד בפרט מסוים בתמונה: אדם, חלון של אחד הבתים, תיבת דואר וכדומה. בביווגיה מקובל להשתמש במילה "פרט" כדי לתאר יצור אחד מתוך קבוצה (אוכלוסייה) של יצורים. את המשפטים המופיעים בפיסקה הקודמת, אפשר, אם כן, לנסח גם באופן הבא:

- זוג פילים יכול ליצור אוכלוסייה בת 91 מיליון פרטים תוך 570 שנה.
 - זוג זבובים יכול ליצור אוכלוסייה בת 10^{18} פרטים תוך חמישה חודשים.
- אפשר לומר, שבאופן תיאורטי פרטים בטבע יכולים להתרבות ולהעמיד מספר עצום של צאצאים. במקרה זה, הכוונה במילה פרטים היא לפילים, זבובים, צנוניות, נשרים, חרציות וכו'.

ההבדל בין המצוי לחזוי

בתרגיל הבא תוכלו לחשב את הפוטנציאל של צמח מסוים להתרבות. התבוננו בפרי המונח על שולחנכם. אפשר לבחור בכל פרי שיש לו יותר מזרע אחד: עגבנייה, מלון, קלמנטינה וכו'.

1. ספרו ורשמו את מספר הזרעים שבפרי.
2. אם כל אחד מהזרעים ינבוט, כמה צמחים יהיו בדור השני?
3. אם כל אחד מצמחי הדור השני ייצר אותו מספר זרעים כמו זה שיש בפרי שבידכם, כמה זרעים יהיו בדור השלישי? וכמה צמחים (בהנחה שכל אחד מהזרעים ינבוט)?
4. אם כל אחד מצמחי הדור השלישי ייצר אף הוא אותו מספר זרעים, כמה צמחים חדשים יהיו בדור הרביעי?
5. שרטטו גרף של מספר הצאצאים האפשרי כתלות במספר הדורות (ציר Y ייצג את מספר הצאצאים וציר X את מספר הדור).
6. מהי המגמה שניתן לראות בגרף ששרטטתם?
- במציאות, מכל צמח יישאר בדור הבא רק צמח אחד! כלומר, בסופו של דבר מהפרי שבידכם ישרוד בדור הבא רק פרי אחד וכך גם בדור שלאחריו.
7. האם נתון זה תואם את חישוביכם?
8. מה יכולות להיות הסיבות להבדלים בין החזוי למצוי?
9. האם סיבות אלה יכולות להסביר את ההבדלים בין המספר המחושב למספר המצוי גם באוכלוסיות הפילים, הזבובים והחידקים?

במציאות, העולם אינו מלא בפילים, בזבובים ובחידקים. למעשה אנו יודעים, שגודל האוכלוסיות נשאר קבוע פחות או יותר לאורך הדורות. מכאן, שבכל דור, מספר הצאצאים ששורדים ומתרבים קטן בהרבה ממספר הצאצאים האפשרי. הפילים, הזבובים, החידקים והצמחים שבדקתם מעמידים הרבה יותר צאצאים ממה שיכולים לשרוד ורובם מתים. חלק מהפרטים מתים לאחר שיצאו לעולם וחלק לפני כן – בשלב העוברי או אפילו בשלב שלפני ההפריה. אז מי שורד? וכיצד מתקשר כל זה להתארכות צוואר הג'ירפה?

דומים, אך האם זהים?

אם נתבונן בקבוצה של צפרדעים נמצא שלכולן שתי עינים, ארבע רגלים ועור בגוון ירקרק. אם נתבונן בקבוצת חמציצים, נבחין ללא קושי בצבעם הצהוב של עלי הכותרת ובעליהם הירוקים. לכאורה, כל הפרטים בקבוצת הצפרדעים ובקבוצת החמציצים זהים. אך אם נתבונן היטב נבחין כי בכל קבוצה קיימים הבדלים קטנים בין הפרטים. בפעילות הבאה תצפו בהבדלים האלה באוכלוסייה של בוטנים.

לפניכם ערמה של תרמילי בוטנים. בכל תרמיל מצויים זרע או מספר זרעים, שכל אחד מהם מוקף בקליפה דקה. הזרעים הם החלק האכיל של הבוטן.



תרמילי בוטנים.

1. עבדו בזוגות והציעו שתי תכונות המשותפות לכל תרמילי הבוטנים ושתי תכונות המבדילות ביניהם.
2. א. בחרו עשרה תרמילי בוטנים בצורה אקראית מן הערימה.
ב. מדדו את אורך תרמילי הבוטנים. בנו טבלה לפי הדוגמה ורשמו את התוצאות במקום המתאים.
- ג. פתחו את תרמילי הבוטנים וספרו את מספר הזרעים בכל תרמיל. רשמו את התוצאות במקום המתאים בטבלה. דוגמה:

מספר הזרעים בתרמיל	אורך התרמיל	מספר הבוטן
3	2.9 ס"מ	1
2	2.7 ס"מ	2
		3
		4

- ד. בנו טבלה המתארת כמה תרמילים מצאתם באורכים שונים. התייחסו לקבוצות של אורכים, לפי הדוגמה הבאה:

מספר התרמילים שמצאתם בטווח	הטווח של אורך התרמילים (בס"מ)
1	2.0-2.4
4	2.5-2.9
3	3.0-3.4

- ה. בצעו את סעיף ד גם לגבי מספר הזרעים בכל תרמיל.
- ו. רכזו את התוצאות הכיתתיות בטבלאות (בצעו את סעיפים ד-ה על פי הנתונים של כל התלמידים בכיתה).

ז. על פי הטבלה הכיתתית, שרטטו גרף עמודות המציג את היחס בין אורך התרמילים לבין מספר התרמילים באורך זה שנמצאו בכיתה. ציר X ייצג את הטווח של אורך התרמילים (בס"מ) וציר Y – את מספר התרמילים שמצאתם בכל טווח.

ח. שרטטו גרף עמודות המציג את היחס בין מספר הזרעים בכל תרמיל לבין מספר התרמילים המכילים מספר זה. ציר X "צג את מספר הזרעים וציר Y – את מספר התרמילים בעלי מספר זה שמצאתם.

שאלות לדיון:

1. מה אפשר ללמוד מצורת הגרפים שקיבלתם? התייחסו לפיזור הנתונים: היכן ממוקמים מרבית הפרטים והיכן מיעוטם?

2. איזה גרף, לדעתכם, הייתם מקבלים לו היו בידכם נתונים של 100 כיתות?

הגרפים ששרטטתם מבטאים את השונות בקבוצת הבוטנים לגבי התכונות "אורך התרמיל" ו"מספר הזרעים בתרמיל". שונות היא מדד המתאר עד כמה שונים פרטים בקבוצה זה מזה.

3. א. כיצד ייראה הגרף באוכלוסייה שבה השונות קטנה יותר – האם הוא יהיה צר וגבוה יותר או רחב ונמוך יותר? נסו להסביר מדוע.

ב. כיצד ייראה הגרף באוכלוסייה שבה השונות גדולה יותר?

4. השוו בין הגרף המתייחס לאורך התרמיל והגרף המתייחס למספר הזרעים. באיזה מקרה השונות בין הפרטים גדולה יותר?

5. האם היו בכיתה שני תרמילי בוטנים זהים הן מבחינת אורך התרמיל והן מבחינת מספר הזרעים? האם, לדעיתכם, ניתן למצוא שני תרמילי בטנים זהים זה לזה בכל תכונותיהם (כלומר, גם בתכונות כמו: מידת החיספוס של התרמיל, גווניו וכו')? מדוע?

הטבלה הבאה מציגה את מספר התינוקות שנולדו במרכז הרפואי "כרמל" בחיפה בשנים 2001 ו-2002 על-פי משקלם בעת הלידה:

משקל (בגרמים)	שנת 2001	שנת 2002
פחות מ- 1000	18	21
1000-1500	21	23
1500-2000	60	49
2000-2500	154	120
2500-3000	488	463
3000-3500	944	974
3500-4000	590	580
4000-4500	128	125
יותר מ- 4500	14	12

הנתונים באדיבות חדר הלידה, מרכז רפואי כרמל, חיפה.

1. התבוננו בנתונים משנת 2001. מה תוכלו לומר על פיזור הנתונים?
2. לו היינו משרטטים גרף של מספר הילודים כפונקציה של המשקל, מה הייתה צורתו?
3. השוו בין הנתונים של שנת 2001 ובין אלו של 2002. מה משותף לנתוני השנתונים הללו?

בכל אוכלוסייה של יצורים, גם כזו שהפרטים בה נראים זהים, קיימת שונות. באוכלוסיית חלזונות, למשל, אפשר להבחין בהבדלים בצבעי הקונכיה ובכיווני הפיתול שלה בין הפרטים השונים; לכלבים דלמטיים יש דגם כתמים שונה על פרוותם; כלניות שונות נבדלות זו מזו בגוון העלים.

● במה, לדעתכם, יכולה להתבטא השונות באוכלוסיות המוצגות בתמונות שלפניכם?



שונות יכולה להתבטא בתכונות רבות, לאו דווקא כאלה המשפיעות על הצורה החיצונית. למשל, במבנה האיברים הפנימיים, במולקולות המצויות בתא, בדרכי התנהגות ועוד. אפילו בין חיידקים קיימים הבדלים!

מה המשמעות של השונות באוכלוסייה?

חשבו על עדר צבאים שהפרטים בו נבדלים זה מזה, בין היתר, במהירות ריצתם. במשך שנים רבות חי העדר בא־זור מסוים באין מפריע, עד שהגיעו לשם נמרים.

1. מתי הייתה למהירות הריצה של הצבאים חשיבות רבה יותר – לפני שהגיעו הנמרים או מאז הופעתם? מדוע?
2. מה קרה לצבאים מאז הופעת הנמרים? חשבו על סיכויי ההישרדות של הצבאים השונים לעומת סיכוייהם בתקופה שלפני הופעת הנמרים. למי מהם יש יתרון?
3. האם למהירות ריצה גבוהה יש תמיד (כלומר, בכל תנאי סביבה) אותה חשיבות?

בפעילות הבאה נעקוב אחר יתרונותיה של תכונה בתנאי סביבה שונים.

האם יתרון עכשיו מבטיח יתרון בעתיד?

פעילות זו היא הדמיה של ליקוט מזון על ידי ציפורים באוכלוסייה שיש בה שונות רבה. אנו נתרכז בהבדלים בצורת המקור.

- חשבו על תכונות בהן עשויה להיות שונות באוכלוסייה של ציפורים מלבד צורת המקור.

התחלקו לקבוצות. אחד מחברי הקבוצה יקצוב את הזמן (45 שניות בכל פעם). כל אחד משאר חברי הקבוצה ייצג ציפור בעלת צורת מקור מסוימת. לשם כך יקבל כל תלמיד כלי אחסון שישמש לו בתור פה וכלי איסוף שישמש לו כמקור (אטב, שיפוד, קש וכו').

בעזרת "המקור", עליכם ללקט את ה"מזון" (חרוזים, סוכריות, צימוקים וכו') שיונח על הדשא הסינתטי שלפניכם ולהכניסו ל"פה".



הדמיה של ליקוט מזון על ידי ציפורים.

חוקי הצייד:

1. אפשר לאסוף כל סוג מזון.
2. המזון חייב להילקח בעזרת המקור בלבד.
3. יש להרים (ולא לגרור) את המזון ולהכניסו לתוך הפה.
4. יש לאסוף פריט אחד בכל פעם.
5. אפשר לגנוב מזון מתלמיד אחר, כל עוד הוא לא הוכנס לתוך הפה (אסור לגנוב מזון שכבר הוכנס לפה).

שלב ראשון

בשלב זה יש בנמצא שפע של מזון מסוגים שונים.

1. פזרו את פריטי המזון שקיבלתם מהמורה על הדשא.
2. בחרו כלי איסוף שישמש אתכם כמקור. עמדו כשגבכם לדשא.
3. בהינתן האות (על ידי התלמיד שנבחר לעשות כן), הסתובבו ונסו לתפוס מספר רב ככל האפשר של פריטי מזון עד שיינתן האות להפסיק. איסוף המזון יימשך 45 שניות.
4. ספרו את מספר פריטי המזון שאסף כל אחד מכם ורכזו את הנתונים בטבלה לפי הדוגמה הבאה:

מספר פריטי מזון שנאספו	סוג מקור
	אטב
	מלקטת
	כפית
	שיפוד

5. ארגנו את הנתונים בטבלה כיתתית (יש להוסיף טורים כמספר הקבוצות בכיתה)

סוג מקור	מספר פריטים (קבוצה 1)	מספר פריטים (קבוצה 2)	מספר פריטים (קבוצה 3)	מספר פריטים (קבוצה 4)	מספר פריטים (קבוצה 5)	ממוצע מספר הפריטים
אטב						
מלקטת						
כפית						
שיפוד						

- האם מספר פריטי המזון שנאספו על ידי בעלי המקורים השונים דומה או שונה? כיצד תסבירו זאת?
- האם אפשר להצביע על צורת מקור מסוימת (אחת או יותר) שיש לה יתרון על פני היתר? על סמך מה קבעתם?
- האם תשובתכם לשאלה הקודמת תהיה זהה גם אם תנאי הסביבה ישתנו? הביאו דוגמה.

שלב שני

אסון פקד את אוכלוסיית הציפורים! בצורת קשה השמידה את רוב היבולים והותירה רק סוג אחד של מזון. כיצד ישפיע הדבר על אוכלוסיית הציפורים?

חזרו על הפעולות שבסעיפים 1-5, אלא שהפעם פזרו על יריעת הדשא רק סוג מזון אחד שתקבלו מהמורה.

1. האם מספר פריטי המזון שנאספו על ידי בעלי המקורים השונים דומה או שונה? כיצד תסבירו זאת?
2. האם אפשר להצביע על צורת מקור מסוימת (אחת או יותר) שיש לה יתרון על פני היתר? האם אפשר להצביע על צורת מקור מסוימת (אחת או יותר) שהיא בבחינת חיסרון? על סמך מה קבעתם?
3. לגבי כל צורת מקור, השוו את מספר פריטי המזון שנאספו בשלב הראשון לעומת השלב השני. התייחסו לממוצעים. כיצד תסבירו את ההבדלים (אם ישנם)?
4. התייחסו לצורת מקור שהייתה פחות יעילה באיסוף המזון בשלב השני. חשבו על תנאים שבהם יהיה דווקא לצורה זו יתרון באיסוף מזון.
5. מה תוכלו להסיק מההדמיה על השפעת הסביבה על חשיבותן של תכונות מסוימות?

בדוגמאות שהבאנו ראינו שקיימת שונות בכל אוכלוסייה, ושכונות מסוימות יכולות להקנות יתרון לפרטים הנושאים אותן על פני פרטים אחרים. היתרון ניכר בתנאי סביבה מסוימים, אך יכול להצטמצם או להתבטל, כאשר משתנים התנאים.

בתרגיל הבא, ננסה לחזות כיצד ישפיעו ההבדלים הקיימים בין אריות זכרים על הצלחתם בטבע ועל הדורות הבאים.

איך אומרים "הצלחה" בביולוגית?

האריות באפריקה חיים בלהקות. לרוב, מורכבת כל להקה משני זכרים, מספר נקבות בוגרות וגורים. לצורך התרגיל המחשבתי הבא, נדמיין מבנה פשוט יותר של להקה לפיו יש בלהקה זכר אחד בלבד. לפניכם תיאור של ארבעה זכרים החיים באותו אזור, כל אחד מהם מנהיג להקה אחרת:

שם האריה	כפיר	ליובה	אסאד	לאון
גודל	3 מטרים 220 ק"ג	2.6 מטרים 200 ק"ג	2.7 מטרים 205 ק"ג	2.7 מטרים 200 ק"ג
מספר הגורים שנולדו לו	19	25	20	20
אורך חיים	13 שנים	16 שנים	12 שנים	9 שנים
מספר הגורים שהגיעו לבגרות	15	14	14	19
הערות	כפיר הוא האריה החזק ביותר.	לליובה יש את מספר הנקבות הגדול ביותר.	כאשר אזור המחיה נהרס בשריפה, אסאד הוביל את הלהקה לאזור מחיה חדש.	לאון מת מזיהום כתוצאה מחתך ברגלו.

1. איזה אריה, לדעתכם, הוא ה"מוצלח" ביותר? הסבירו את קביעתכם.



2. לו הייתם צריכים להמר על האריה שמספר צאצאיו בעוד דורות רבים יהיה הגדול ביותר, במי הייתם בוחרים?

מבחינה ביולוגית, פרט מוצלח אינו דווקא היפה, החזק, המהיר, העשיר ביותר ואפילו לא הפרט ששורד זמן רב יותר. פרט מוצלח הוא מי שמעמיד את מספר הצאצאים הגדול ביותר שמגיע לבגרות. הצלחה זו מכונה כשירות. לאון, אם כן, הוא האריה הכשיר ביותר מבין הארבעה.

לגודל, לחוזק הפיזי, לאורך החיים ולתכונות נוספות המאפשרות את הישרדותו של הפרט, יש יתרון רק במידה והם תורמים ליכולתו להעמיד יותר צאצאים המגיעים לבגרות.

3. מה ההבדל בין פרט מוצלח מבחינה ביולוגית לבין פרט מוצלח במובן התרבותי, חברתי, אנושי?

כשירות היא מונח יחסי, המשמש להשוואה של פרט מסוים עם פרטים אחרים מאותו המין החיים באותה הסביבה. אי אפשר להשוות בין כשירות של דולפין לכשירות של אדם, של זבוב או של כלנית אלא רק בין כשירות של דולפין מסוים לדולפינים אחרים באותה סביבה.

4. האם נכון להשוות את הכשירות של לאון לכשירות של אריה שחי בסביבה אחרת, שבה תנאי המחיה אחרים? תארו לעצמכם, למשל, אריה שחי בסביבה שתנאיה קשים יותר. אריה זה העמיד רק שני צאצאים שהגיעו לבגרות (בניגוד ללאון שהיו לו, כזכור, 19 צאצאים כאלה). האם אריה זה הוא בהכרח פחות כשיר מלאון? האם ניתן לדעת כמה צאצאים היה לאון מעמיד בתנאים כאלה?

5. האם נכון להשוות בין הכשירות של לאון לכשירותה של אחת הנקבות בלהקתו? מדוע?

6. חזרו והתבוננו בטבלה המציגה את ארבע הלהקות האריות. השוו בין מספר הגורים שנולדו לכל אריה לבין מספר הגורים שהגיעו לבגרות. מה המשותף לכל הלהקות? נסו להסביר את הממצאים.

7. כיצד מתקשרת תופעה זו לתרגיל שעשיתם בתחילת הפרק ובו חישובתם את פוטנציאל ההתרבות של צמח מסוים?

שאלות לסיכום

1

2

האם התכונות שמדדתם בתרמילי הבוטנים (אורך התרמילים ומספר הזרעים בתרמיל) משפיעות על כשירות זרעי הבוטן?

קבוצה גדולה של חתולים חיה בקרבת פחי-הזבל הגדולים אשר ממוקמים מאחורי רי חדר האוכל בקיבוץ. חתולים אלה ניזונים בעיקר משאריות העוף המוגש בחדר האוכל מידי יום. לפניכם רשימה של תכונות תורשתיות, עבורן קיימת שונות בין החתולים בקבוצה. רשמו, עבור כל אחת מהתכונות, האם, לדעתכם, תהיה לתכונה זו השפעה על הכשירות של החתולים. הסבירו את קביעתכם.

א. מחלה שמחלישה את הגורים עד כדי כך, שאין להם כוח לינוק.

ב. צבע פרווה ג'ינג'י.

ג. היכולת להיזון, בנוסף לעוף, גם משניצלים, קבבים והמבורגרים, שגם הם מוגשים בחדר האוכל.

ד. שיבוש הורמונלי, שמאפשר מספר כפול של הריונות במהלך החיים.

ה. אוזניים מחודדות במיוחד.

ו. היכולת להיזון רק משניצלים (שמוגשים בימי רביעי בלבד).

ז. מחלה שמחלישה את החתולים הקשישים (שכבר לא מעמידים צאצאים) עד כדי כך, שאין להם כוח לאכול.

ח. שפם ארוך בסנטימטר אחד משפם רגיל.

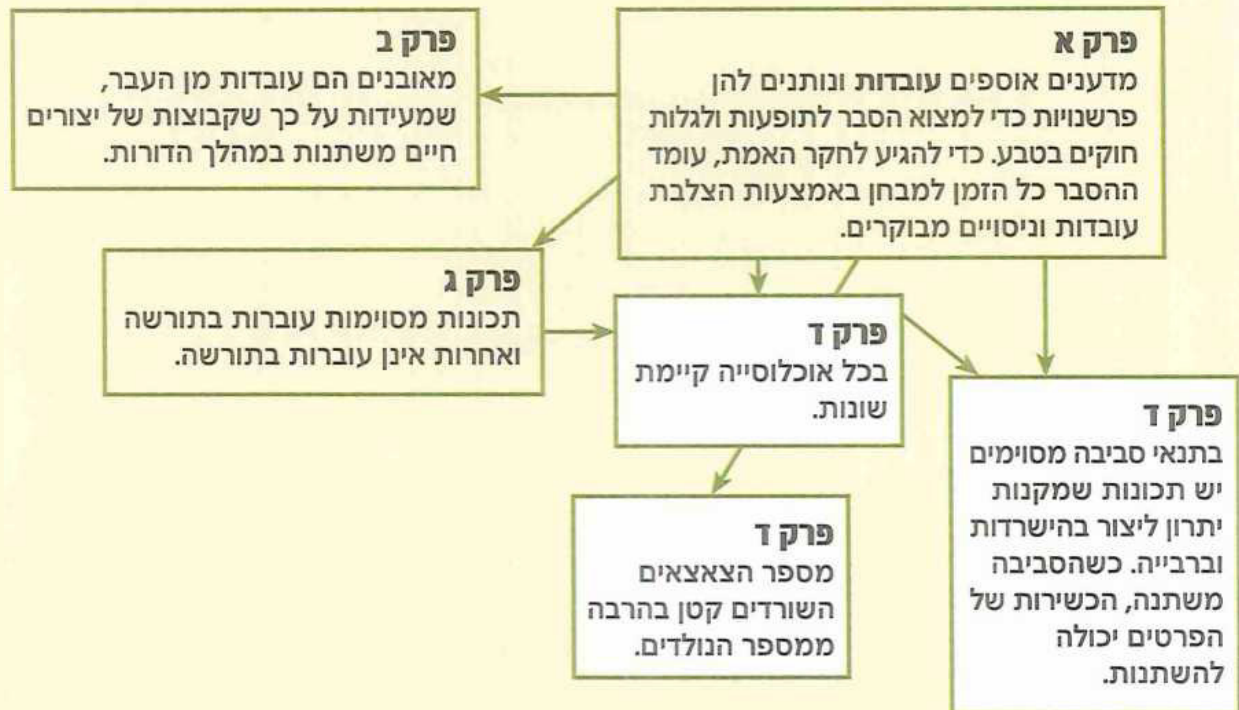
ט. שיבוש הורמונלי שמאריך את החיים אך גם גורם לעקרות.

קראו את סיכום הפרק, וסמנו את העובדות (התצפיות) המצויינות בו.

3

בפרק זה התמקדנו בכמה רעיונות עיקריים: למדנו שרוב הצאצאים בטבע מתים, שבכל אוכלוסייה קיימת שונות ושיתכונות מסוימות עשויות להקנות יתרון לפרטים הנושאים אותן על פני פרטים אחרים. ראינו, שיתרונותיה של תכונה נמדדים לפי תרומתם ליכולתו של הפרט להעמיד צאצאים המגיעים לבגרות, וכן שיתרון בתנאי סביבה מסוימים יכול להצטמצם או להתבטל בתנאים אחרים. בפרקים הבאים נראה כיצד קשורות תצפיות אלה זו בזו ומסבירות גם כיצד התאריך צוואר הג'ירפות במהלך הדורות.

מפת למידה:



פרק ה' כיצד משתנות אוכלוסיות עם הזמן? אבולוציה והברירה הטבעית

ראינו שבכל אוכלוסייה יש שונות בין הפרטים, ושפרטים שיש להם יתרון בסביבה מסוימת הם ששורדים ומעמידים צאצאים. בפרק זה נבדוק, מה קורה לאוכלוסייה כולה בסביבה כזאת לאורך דורות רבים.

נחזור לדוגמה המלווה אותנו מתחילת הספר: כיצד התארך צווארן של הג'ירפות?

פסלנו את ההסבר על פיו האריכו הג'ירפות את צווארן על ידי מתיחה והמתיחה עברה לדור הבא. זאת בגלל שראינו שתכונות נרכשות אינן עוברות בתורשה לצאצאים. בשלב זה יש לכם די עובדות, כדי למצוא הסבר אחר לשאלת התארכות הצוואר.

תארו לעצמכם את אוכלוסיית הג'ירפות כפי שנראתה בעבר, לפני מיליוני שנה. לפי המאובנים שברשותנו אנו יודעים שהיו לג'ירפות צווארים קצרים יחסית לאלה של הג'ירפות היום. נניח, שבמשך הזמן השתנתה הסביבה כך שכמות העלים המשמשים לג'ירפות כמזון הידלדלה מאוד בענפים הנמוכים של העצים ובשיחים.

מה קרה, לדעתכם, לאוכלוסיית הג'ירפות במשך הזמן? כדי לענות על השאלה, היעזרו בשאלות הבאות.

1. האם הייתה קיימת שונות באוכלוסיית הג'ירפות בעבר? הביאו דוגמאות.
2. אנחנו מתעניינים בתכונה של אורך הצוואר. מהי השונות שהייתה קיימת לגבי תכונה זו?
3. כיצד עשויה הייתה תכונה זו להשפיע על כשירות הג'ירפות באזורים בהם היה שפע של מזון לג'ירפות, הן בענפים הנמוכים והן בגבוהים?
4. איך נראתה, לדעתכם, אוכלוסיית הג'ירפות בדור הראשון לאחר שהמזון התחיל להידלדל בענפים הנמוכים?
5. מה קרה, לדעתכם, לאוכלוסיית הג'ירפות במשך עשרת אלפים שנה שבהם המזון על הענפים התחתונים הלך והדלדל?
6. האם השתנתה האוכלוסייה במהלך הדורות? כיצד?
7. האם השתנו הפרטים (כלומר הג'ירפות עצמן)?
8. האם הסביבה היא שגרמה לשינוי באוכלוסייה?
9. האם הסביבה היא שגרמה לשונות בין הפרטים?
10. שני תלמידים ניסו לשער מה קרה במהלך מאתיים דורות.
תלמיד א' אמר: "בכל דור, לכל הג'ירפות היה צוואר מעט יותר ארוך מאשר בדור הקודם. לאחר מאתיים דורות הצוואר של כולן היה ארוך באופן משמעותי".
תלמיד ב' אמר: "לחלק מהג'ירפות היה צוואר ארוך יחסית לאחרות. בכל דור היו יותר ויותר ג'ירפות בעלות צוואר ארוך ופחות ג'ירפות בעלות צוואר קצר. לאחר מאתיים דורות הצוואר של כולן הפך לארוך יותר".
עם מי מהתלמידים אתם מסכימים?
11. לא כל הג'ירפות בעלות הצוואר הקצר מתו מיד עם הידלדלות המזון בענפים הנמוכים. נסו לשער מדוע.
21. האם, לדעתכם, עדיין קיימת שונות באוכלוסיות ג'ירפות שחיות כיום?

בפעילות הבאה, נדמה טריפה של חרקים דמיוניים על ידי ציפורים ונבחן מה קורה לחרקים לאחר מספר דורות.

אבולוציה של חרזנים

החרזנים הם חרקים דמיוניים החיים בשדות פרחים. הגורם היחידי למותם של פרטים באוכלוסייה זו הוא אכילתם על ידי ציפורי טרף. בכל שנה נטרפת כמחצית מאוכלוסיית החרזנים. אך בכל שנה האוכלוסייה, המתרבה ברבייה אל-זוויגית, גם מכפילה את עצמה: פעם בשנה כל חרזן מעמיד צאצא אחד הזזה לו בדיוק.

מהלך העבודה:

במהלך ההדמיה חרוזים ייצגו את החרזנים, בד פרחוני ייצג את שדה הפרחים בו הם חיים ואתם תייצגו את הציפורים הטורפות.

1. פזרו באופן שווה 20 חרזנים מכל צבע (40 בסך הכל) על הבד הפרחוני שקיבלתם.

2. האם קיימת שונות באוכלוסיית החרזנים שלכם? אם כן, מהי?

3. מהי השכיחות באחוזים של כל אחד מסוגי החרזנים?

חשבו כך: $\frac{\text{מס' החרזנים מצבע מסוים} \times 100}{\text{סך כל החרזנים משני הצבעים}}$

סך כל החרזנים משני הצבעים

4. טריפת החרזנים על ידי ציפורי הטרף תעשה בדרך זו: נציג מהקבוצה יהיה הטורף ויעמוד כשגבו מופנה מהבד. נציג אחר יתן לטורף סימן לטורף על ידי נגיעה בכתף. כדי לטורף, יסתובב הטורף אל הבד ויקח במהירות את החרזן הראשון שהוא מבחין בו. הטורף יחזור על כך 20 פעמים (כך שבסופו של דבר ייטרפו 20 חרזנים). שמרו שהבד יהיה מתוח כל זמן הטריפה.



פעילות החרזנים – הדמיה של תהליך הברירה הטבעית.

5. סיפרו כמה חרזנים נשארו מכל צבע וחשבו יחס מספרי באחוזים.

6. בשלב זה בצעו את הרבייה של החרזנים בדרך זו: הכפילו את מספר החרזנים שנותרו על הבד בהתאם לצבעם. למשל: אם נותרו על הבד 7 חרוזים צהובים, הוסיפו 7 חרוזים צהובים חדשים.

7. אספו את כל החרוזים ופזרו אותם על הבד באופן אחיד.

8. חיזרו על שלבים 3-7 פעמיים מספות (כך שבסך הכל תהיה הדמיה של שלושה דורות).

9. מלאו את הטבלה:

	צבע 1	צבע 2	
אוכלוסיה התחלתית	20	20	מס' החרזנים
	50	05	יחס מספרי באחוזים
דור 1			מס' החרזנים שנותרו אחרי הטריפה
			יחס מספרי באחוזים
דור 2			מס' החרזנים שנותרו אחרי הטריפה
			יחס מספרי באחוזים
דור 3			מס' החרזנים שנותרו אחרי הטריפה
			יחס מספרי באחוזים

שאלות:

1. אילו פרטים באוכלוסיית החרזנים היו הכשירים ביותר? מדוע?
2. אילו פרטים באוכלוסיית החרזנים היו כשירים פחות? מדוע?
3. שרטטו גרף עמודות שיציג את התוצאות. על ציר ה- X יופיע מספר הדור. על ציר ה- Y יופיע אחוז השורדים. לגבי כל דור שרטטו שתי עמודות - עמודה לכל אחד מצבעי החרזנים.
4. מה קרה לאחוז החרזנים בעלי היתרון (הכשירים) לאחר שלושה דורות?
5. מה קרה לאחוז החרזנים שלא היה להם יתרון לאחר שלושה דורות?
6. כיצד הייתם מסבירים את השינוי באחוזים של שני סוגי החרזנים?
7. מדוע חישבנו בכל פעם את אחוז החרזנים ולא הסתפקנו במספרם?
8. האם בגלל נוכחות הציפורים הטורפות חל שינוי בחרזנים (בפרטים עצמם)?
9. האם בגלל נוכחות הציפורים הטורפות חל שינוי באוכלוסיית החרזנים?
10. האם השפיעה הסביבה על צבע החרזנים? הסבירו.
11. מה היה קורה, לדעתכם, אם היינו ממשיכים בטריפה וברבייה עוד מספר דורות?
21. האם אתם חושבים שהתכונה שהקנתה יתרון בסביבה המסוימת הזאת הייתה בהכרח מקנה יתרון גם בסביבות אחרות? הסבירו והביאו דוגמה. תארו מה יקרה להרכב האוכלוסייה בסביבה שהבאתם כדוגמה.
31. מה קורה לשונות באוכלוסייה לאחר מספר דורות?

- סכמו, כיצד חלו השינויים בשתי האוכלוסיות שבחנו: החרזנים והג'ירפות. מי השתנה - הפרטים או האוכלוסייה? כיצד?

הברירה הטבעית

השתנות הצבע באוכלוסיית החרזנים והתארכות צוואר הג'ירפות הן דוגמאות לשינויים החלים באוכלוסיות. תהליך ההשתנות של אוכלוסיות יצורים לאורך הדורות נקרא אבולוציה. בידי המדענים עדויות רבות לכך שאוכלוסיות של יצורים משתנות במהלך הדורות. חלק מהעדויות באות מהמאובנים וחלק מתצפיות ישירות באוכלוסיות של יצורים. למעשה, בידי המדענים עדויות כה רבות לכך שאוכלוסיות משתנות לאורך דורות עד כי הם מתייחסים להשתנות האוכלוסיות, כאל עובדה.

איסוף ותייעוד של עובדות ותופעות, הוא חלק חשוב מעבודתם של מדענים. אך זו אינה מטרת עיסוקם. מה שמניע מדענים הוא הרצון להסביר את העובדות ואת התופעות ולהבין כיצד פועל העולם.

צ'ארלס דארווין, הוא שהציע את ההסבר לאבולוציה וגם הציג ראיות רבות התומכות בו. ההסבר הזה נקרא "הברירה הטבעית".

לפי תהליך הברירה הטבעית שהציע דארווין, רק הפרטים המתאימים ביותר לסביבה מסוימת שורדים בה ומעמידים צאצאים. השאר – מתים. הפרטים המתאימים לסביבה מצליחים לשרוד ולהעמיד יותר צאצאים שמגיעים לבגרות. כתוצאה מכך, משתנה הרכב האוכלוסייה: שכיחות הפרטים המתאימים יותר עולה ואילו שכיחות הפרטים הפחות מתאימים יורדת. השינוי בשכיחות היחסית הוא בדרך כלל הדרגתי ומתרחש במשך דורות רבים. תהליך הברירה הטבעית מביא לכך שאוכלוסיות של יצורים הופכות למותאמות יותר לסביבתם העכשווית.

● מדוע נקרא התהליך "ברירה טבעית"?

- הדמית החרזנים מדמה את תהליך הברירה הטבעית. המציאות כמובן מורכבת יותר וההדמיה (כמו כל הדמיה, אנלוגיה או מודל) מוגבלת ביכולתה לדמות את המציאות. במה, לדעתכם, היא מוגבלת?

שימו לב: האוכלוסייה היא שעוברת תהליך של התאמה. הפרטים אינם מתאימים את עצמם. באוכלוסיית החרזנים, למשל, הפרטים עצמם לא שינו את הצבע שלהם. פרטים בעלי צבע מסויים מתו ואחרים שרדו, כך ששכיחות הצבע באוכלוסייה השתנתה.

באוכלוסיית הג'ירפות, ההתאמה לסביבה המשתנה באה לידי ביטוי לא בהשתנות אורך הצוואר אצל כל ג'ירפה בנפרד, אלא בשכיחות גבוהה יותר של ג'ירפות בעלות צוואר ארוך: ג'ירפה קצרת-צוואר לא שינתה את אורך צווארה, אלא לא שרדה את תקופת היובש הממושכת (ואולי הצליחה לשרוד אך לא התרבתה). גם ג'ירפה ארוכת-צוואר לא שינתה את אורך צווארה, אולם הצליחה לשרוד ולהתרבות. כך השתנה הרכב אוכלוסיית הג'ירפות לאורך הדורות, באופן שחלקן היחסי של הג'ירפות ארוכות-הצוואר, הלך ועלה. תהליך זה הפך את האוכלוסייה כולה למותאמת יותר לסביבה בה המזון הסמוך לקרקע מועט יחסית.

- מה משותף לדוגמאות שראינו עד עכשיו (ג'ירפות וחרזנים) בהקשר של הברירה הטבעית? השתמשו במושגים: יתרון, כשירות, סיכויי הישרדות, סביבה, שינוי ב-DNA, שונות, שכיחות.

תהליך הברירה הטבעית הוא הדרגתי וממושך בדרך כלל. עוצמת הברירה היא שקובעת את קצב השינוי של הרכב האוכלוסייה: ככל שהברירה חזקה יותר יהיה השינוי מהיר יותר (מבחינת מספר הדורות) ולהיפך. למשל, לו היינו משתמשים במשחק ההדמיה ביריעת בד בצבע אחיד, הזהה לאחד הצבעים של המחרזנים, הייתה עוצמת הברירה חזקה יותר מאשר במקרה בו השתמשנו בבד הפרחוני. השינוי בהרכב האוכלוסייה היה אז מהיר יותר.

- נסו להסביר, בעזרת מנגנון הברירה הטבעית, כיצד התפתחה הריצה המהירה של האיילים. התחילו מאוכלוסייה של איילים איטיים למדי שחיו בעבר הרחוק. הניחו שבשלב מסוים הופיעו טורפים בסביבת האיילים. התייחסו לשונות באוכלוסייה, להשפעת הסביבה, לתכונות התורשתיות המעורבות בשינוי ולהדרגתיות השינוי.
- חשבו על אוכלוסייה אמיתית של חרקים שחיה בשדה פרחים. אילו תכונות יכולות להקנות להם יתרון, אם יש בסביבה ציפורים המסתמכות על חוש הראייה כדי לטרוף אותם.

תהליך הברירה הטבעית מתואר לעיתים קרובות כתחרות אכזרית בין פרטים או כמלחמת קיום עקובה מדם. במלחמה זו הבריאים, החזקים ובעלי הכושר הגופני הגבוה הם ששורדים על חשבון פרטים פחות חזקים. אולם, יש לזכור שבמרבית המקרים לא מדובר בתחרות פיזית או במלחמה, ולא החוזק הוא שקובע בהכרח אלא תכונות אחרות המעלות את הכשירות (כמו אורך הצוואר בג'ירפות). כפי שהדגשנו, הצלחה בטבע נמדדת רק במספר הצאצאים שמעמיד הפרט.

מה קורה לשונות?

כאשר תנאי הסביבה נותרים קבועים, השונות בין הפרטים בתכונות המשפיעות על הכשירות, הולכת וקטנה. תכונה המקנה יתרון בסביבה המסוימת תתפשט (כלומר, תהפוך לנפוצה יותר) באוכלוסייה לאורך הדורות, כיוון שהפרטים בעלי התכונה ישרדו ויעמידו יותר צאצאים, בעוד שפרטים שאינם בעלי התכונה, יעמידו פחות צאצאים.

התכונה שמהווה חיסרון באותה סביבה תופיע פחות ופחות באוכלוסייה לאורך הדורות, כיוון שסיכוייהם של פרטים בעלי התכונה לשרוד ולהתרבות יהיו קטנים יותר מאשר סיכוייהם של אלה שאינם בעלי התכונה. כתוצאה מכך, עם הזמן יהפכו הפרטים דומים זה לזה יותר ויותר מבחינת התכונות המשפיעות על הכשירות. הקבוצה תהפוך להיות אחידה יותר (השונות קטנה יותר) והיא תהיה מותאמת יותר לסביבה.

- האם, לדעתכם, השונות בין פרטים תצטמצם עד שתתבטל לחלוטין?
- לו היו החרזנים יצורים אמיתיים בטבע, מה, לדעתכם, היה קורה לאוכלוסיית הציפורים הטורפות אותם במהלך הדורות? ומה היה קורה כתוצאה מכך לאוכלוסיית החרזנים?

חשיבותה של תיאוריה

למה אנחנו מתכוונים כשאנחנו אומרים שיש לנו תיאוריה בקשר למשהו? הרבה פעמים אנחנו מתכוונים לכך שיש לנו השערה שלא מבוססת בהכרח על ידע, על עובדות או על ניסיון. אנחנו יכולים להגיד, למשל, שיש לנו תיאוריה איזו מורה תלמד את הכיתה שלנו בשנה הבאה או שיש לנו תיאוריה מי הרוצח בסרט המתח שאנחנו רואים. התיאוריות האלה מאוד זמניות. אנחנו לא בטוחים שהן נכונות ומציעים אותן בניחושים. מדענים משתמשים במילה תיאוריה באופן שונה לחלוטין. תיאוריה מדעית היא הסבר שמקובל על הקהילה המדעית ומבוסס על עובדות וראיות רבות.

חשבו, למשל, על העובדות (התופעות) הבאות: כאשר בוחשים את הקפה הסוכר שבו "נעלם"; כאשר גלידה נמצאת מחוץ למקפיא היא הופכת לנוזל; עוגת שוקולד הנאפית בתנור מפיצה ריח נפלא; משקלה של קוביית קרח זהה למשקל המים שיצרו אותה; נוזלים – כמו מים, מיץ פטל או שמן – מקבלים תמיד את צורת הכלי בו הם נמצאים. האם יש קשר בין כל התופעות הללו? האם אפשר לחשוב על תיאוריה – למצוא פרשנות טובה – שתסביר את כולן? כן. את כולן אפשר להסביר על ידי הרעיון הפשוט, שכל חומר מורכב מחלקיקים הנמצאים בתנועה מתמדת. רעיון זה מוכר כ"מודל החלקיקי של החומר", והוא התיאוריה המסבירה את תהליך ההמסה, את השינויים במצבי צבירה ואת חוק שימור החומר.

ואיך אפשר להסביר שתפוחים תמיד נופלים מהעץ על האדמה ושכדור הארץ סובב סביב השמש? בעבר חשבו, שהתפוחים שואפים להגיע למקומם הטבעי, ושהשמש נוצרה כדי להסתובב סביבנו. אבל ניוטון מצא הסבר אחר, שקושר יחד את התופעות ברעיון אחד – חוק המשיכה. בעזרת התיאוריה של ניוטון, שבין כל שני גופים קיים כוח משיכה, אפשר להסביר הרבה מאוד תופעות, אפילו כאלה, שלא היו ידועות בזמנו של ניוטון כמו שמשקלנו על הירח נמוך בהרבה מזה שעל כדור הארץ או שבקו המשווה משקלנו נמוך מאשר בקטבים. אף אחד לא ראה מעולם את כוח המשיכה, אבל קיומו מסביר היטב כל כך הרבה תופעות חשובות, עד שהוא מקובל ללא סייג.

תיאוריה מדעית טובה היא כזו שנבדקה פעמים רבות ונתמכת על ידי מגוון גדול של תצפיות. היא מסבירה נתונים ידועים ויכולה להסביר גם עובדות חדשות. לעתים אפשר לנבא בזכות התיאוריה את מציאותה של עובדה חדשה, וכאשר זה קורה, התיאוריה מתחזקת ומקבלת משנה תוקף. כך, למשל, מדענים ניבאו את מציאותו של כוכב מסוים במערכת השמש, במרחק מסוים מהשמש, חיפשו אותו ומצאו. ובעזרת המערכת המחזורית, נבאו את קיומם של יסודות מסוימים הרבה לפני שמצאו אותם בפועל.

תיאוריית האבולוציה נחשבת לתיאוריה טובה כי היא מבוססת על עובדות רבות שבאות מתחומים רבים ושונים כמו אנטומיה, גנטיקה וחקר המאובנים. התיאוריה מספקת את ההסבר להרבה מאוד תופעות שונות, כמו: הדמיון המפתיע בין כל היצורים על פני כדור הארץ, ההתאמה המופלאה לעתים בין יצורים לבין הסביבה שבה הם חיים, קיומם של מאובנים שדומים אך גם שונים מהיצורים הקיימים היום. נוסף על כך, תיאוריית האבולוציה מצליחה להסביר לא רק את העובדות והתצפיות שהיו ידועות בזמנו של דארווין אלא גם עובדות רבות שהתגלו שנים רבות לאחר שפותחה (למשל, העובדה שהחומר התורשתי של כל היצורים זהה!).

● אילו עובדות שלמדתם בפרק הקודם ובפרק זה תומכות ברעיון הברירה הטבעית?

הרעיון כי קיימת אבולוציה, כלומר שאוכלוסיות של יצורים חיים משתנות במהלך הדורות, נהגה עוד לפני דארווין. תרומתו האדירה של דארווין היא בהצעת ההסבר לאבולוציה ובהצגת ראיות רבות מאוד התומכות בו.

שאלות לסיכום

1

שני תלמידים מנסים להסביר איך התארך צוואר הג'ירפה.

דני: "כתוצאה מהרצון של ג'ירפה קדומה להתפתח והצורך שלה להגיע לצמרות העצים, נוצר במשך האבולוציה צוואר ארוך אצל הג'ירפות. זה קרה לאט כי בכל דור הג'ירפות האריכו רק במעט את צווארן".

ברוך: "בקרב הג'ירפות הקדומות (שלרובן היה צוואר קצר יחסית) היו גם כמה כאלו בעלות צוואר ארוך יותר. לג'ירפות אלה היה יתרון ולכן במשך הדורות שרדו יותר ויותר מהן, והן העמידו יותר צאצאים שגם להם היה צוואר ארוך יחסית".

ההסבר של מי נראה לכם נכון יותר? דני / ברוך

מה לא בסדר בהסבר שקבעתם שאינו נכון?

2

על פי מה שלמדתם בפרק זה, מי מהבאים יכול לעבור שינויים אבולוציוניים בתהליך של ברירה טבעית:

א. עדרי בקר החיים בשומרון

ב. החיידקים במעיים שלכם

ג. פרגים בשדה בגלבוע

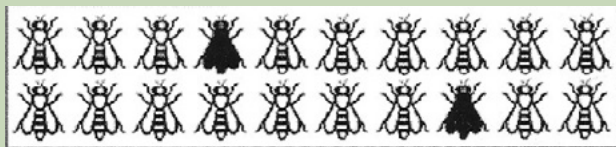
ד. עץ אלון בכפר-סבא

ניתן לבחור יותר מתשובה נכונה אחת. הסבירו את תשובתכם.

3

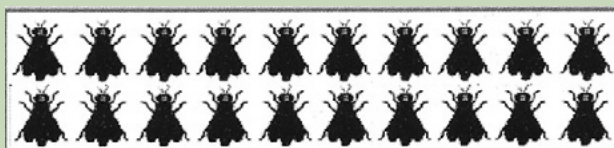
מדענים ישראלים גילו מין חדש של זבובים בניו-יורק. הם הבחינו שהזבובים הבורגרים מזדווגים בכל קיץ, והנקבות מטילות ביצים. בסוף הקיץ כל הזבובים הבוגרים מתים. הזבובים החדשים בוקעים מהביצים באביב ויוצרים את דור הבוגרים הבא. המדענים הביאו לישראל 20 זבובים ושחררו אותם בשדה מחקר מבודד על מנת להמשיך את מחקרם. כנפיהם של שניים היו שחורות ושל כל היתר – לבנות.

דור ראשון:



בדור העשירי היו כל הזבובים שחורים:

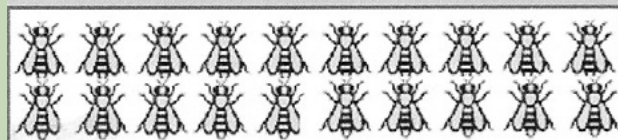
דור עשירי:



החוקרים הסיקו שבתנאים של שדה המחקר, לזבובים השחורים יש יתרון על פני הלבנים. לאור העובדה שבשדה המחקר צמחו פרחים כהים מאוד ושהזבובים בילו עליהם את רוב זמנם, שיערו החוקרים שזבובים שחורים מוסווים טוב יותר ולכן נטרפים פחות.

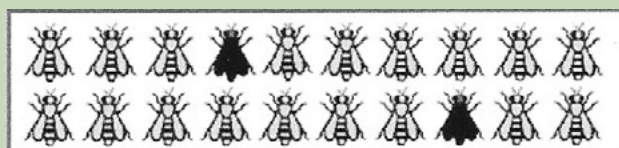
- על פי השערה זו, איזה מהאיורים שלפניכם מראה קבוצה מייצגת של זבובים בדור השני? הסבירו את בחירתכם.

א. דור שני:



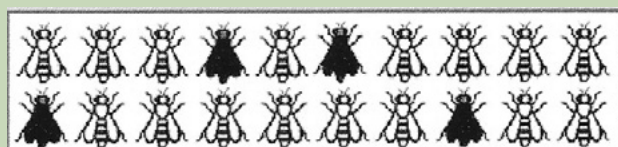
(בכל דור, כל הזבובים היו כהים יותר ויותר)

ב. דור שני:



(בכל דור, הזבובים היו כהים יותר ויותר, אבל היו גם כמה פרטים שחורים)

ג. דור שני:



(בכל דור, שכיחות הזבובים השחורים עלתה)

- נניח שהחוקרים היו משחררים את עשרים הזבובים המקוריים שהביאו מניו-יורק בשדה כותנה במקום בשדה שבו נערך הניסוי (צבע הרקע הבולט בשדה כותנה הוא לבן). מה, לדעתכם, היה קורה אז לאוכלוסיית הזבובים ומדוע?

4

בניסוי של וייסמן, שתואר בפרק השלישי, קוצצו זנבות עכברים במשך שישים דורות. למרות זאת, אורכם הממוצע של זנבות הצאצאים לא השתנה באופן משמעותי.

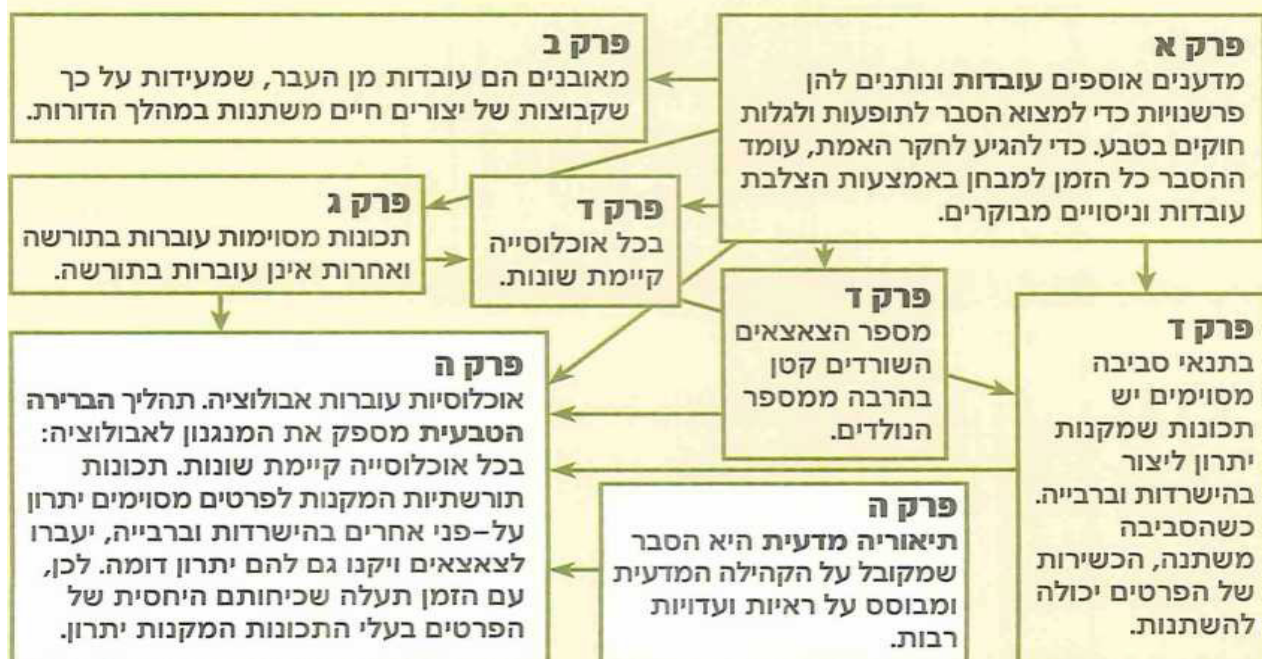
- תארו לכם אוכלוסיית עכברים שחיה בשטח מסוים שאליו הגיעו תנים. מתברר, שככל שזנב העכבר ארוך יותר, הוא מסרב את תנועתו, וכך קל יותר לתנים לצוד אותו. האם, לדעתכם, ישתנה האורך הממוצע של זנבות העכברים באזור במהלך הדורות לאחר הגעת התנים? כיצד?
- מה ההבדל בין הסיפור על העכברים הנטרפים על ידי התנים לבין העכברים בניסוי של וייסמן?

בפרק זה הכרנו את רעיון הברירה הטבעית שמסביר כיצד משתנות אוכלוסיות עם הזמן. תהליך הברירה הטבעית מביא לכך שאוכלוסיות של יצורים הופכות למותאמות יותר לסביבתם. תהליך ההתאמה הוא (על פי רוב) הדרגתי וממושך. עוד למדנו כי תיאוריה מדעית היא הסבר שמקובל על הקהילה המדעית ומבוסס על ראיות ועדויות רבות. תיאוריית האבולוציה מסבירה גם את העובדות והתצפיות שהיו ידועות בזמנו של דארווין וגם עובדות שהתגלו שנים רבות לאחר שפותחה.

בבואנו להסביר כיצד פועלת הברירה הטבעית באוכלוסייה מסוימת, כדאי להתייחס לנקודות הבאות:

- השונות באוכלוסייה (באוכלוסיית הג'ירפות, למשל, הייתה שונות: היו בה פרטים בעלי צוואר קצר יחסית ולצדם גם פרטים בעלי צוואר ארוך).
- השפעת הסביבה - יש לזכור, שהסביבה אינה גורמת לשינוי של פרטים אלא של אוכלוסיות. היא מאפשרת את הישרדותם של הפרטים הכשירים ביותר ולא את זו של פרטים כשירים פחות. (בית הגידול שבו הידלדל היצע המזון במקומות הנמוכים לא גרם לצווארם של פרטים להתארך. בסביבה זו נבררו פרטים שהיו בעלי צוואר ארוך יחסית משום שהיו כשירים יותר).
- התכונה הרלוונטית שמשפיעה על הכשירות עוברת בתורשה (צאצאי הג'ירפות בעלות הצוואר הארוך יחסית היו אף הם בעלי תכונה זו).
- השינוי בשכיחות היחסית הוא הדרגתי ומתרחש במשך דורות רבים (בכל דור עלתה שכיחותם היחסית של בעלי הצוואר הארוך יותר וירדה שכיחותם של בעלי הצוואר הקצר).

מפת למידה:



פרק ו' ברירה טבעית בפעולה

בפרק הקודם הכרנו את תהליך הברירה הטבעית המסביר שינויים שמתרחשים באוכלוסיות של יצורים חיים לאורך דורות. בדרך כלל, תהליך הברירה הטבעית הוא הדרגתי ואיטי מכדי שנבחין בו במשך חייו. אבל לו תוחלת החיים שלנו הייתה בת מיליוני שנים, סביר להניח שהיינו מבחינים בתהליכים של הברירה הטבעית כמו למשל התארכות צוואר הג'ירפות.

בפרק זה, נעסוק במספר תצפיות ישירות שנעשו על ידי מדענים, המתעדות את הברירה הטבעית תוך כדי התרחשותה. תיעוד זה התאפשר בזכות המהירות הרבה יחסית שבה התרחשו השינויים.

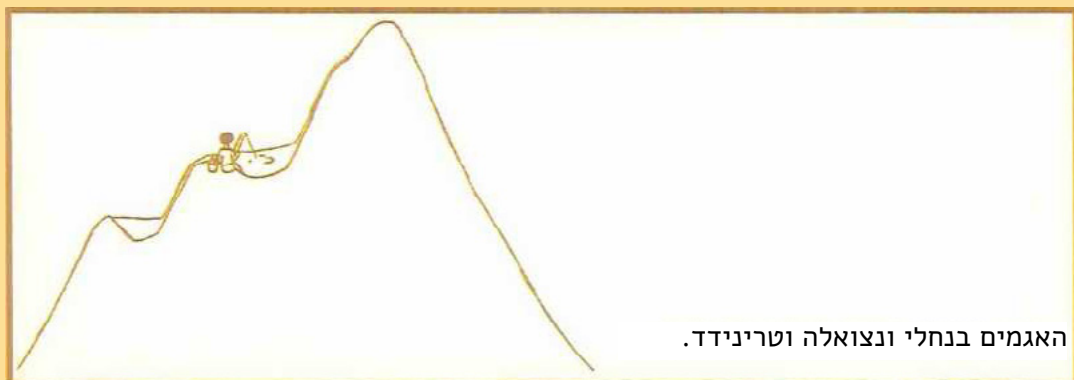
על צבעים, על טורפים ועל גופים

ישנם מקרים רבים בטבע שבהם הנקבות הן שבוחרות את הזכרים שאיתם יזדווגו וכך קובעות את כשירותם של הזכרים (כלומר, את יכולתם להעמיד צאצאים). במינים רבים כאלה, הנקבות "בוחנות" את המראה או את התנהגות החיזור של כמה זכרים, לפני שהן בוחרות בזכר מסוים.

גופים הם דגים טרופיים, שאנשים נוהגים לגדל באקווריומים. בטבע, הם חיים באגמים ובנחלים של ונצואלה והאיים הקריביים. הזכרים הם באורך של 2.5-3 סנטימטרים, ולרבים מהם נקודות זוהרות בשחור, ירוק, כחול, כתום ואדום. הנקבות הן אפורות. הן בוחרות את הזכרים על פי צבעיהם ועל פי תנועות החיזור שלהם: ככל שצבעי הזכר בולטים יותר ותנועותיו נמרצות, סיכוייו להיבחר על ידי הנקבות ולהזדווג איתן גבוהים יותר.

1. אילו זכרים כשירים יותר? האם הם יהיו כשירים יותר בכל תנאי סביבה?

החוקר ג'ון אנדלר (John Endler) חקר בשנות השבעים אוכלוסיות של גופים שחיות בנחלים במורדות ההרים בונצואלה ובטרינידד. הנחלים הללו מחולקים למקטעים, המופרדים ביניהם על ידי מפלים.



בכל מקטע כזה חיה אוכלוסיית גופים נפרדת מכיוון שאין מעבר של גופים בין מקטע למקטע. אנדלר זיהה את הטורפים הטבעיים של הגופים – בעיקר דגים גדולים – והבחין שהם אינם מפוזרים באופן שווה במקטעי המים: ככל שיורדים במורד ההר, יש יותר טורפים במים – הן מבחינת המספר הכולל והן מבחינת המגוון (יותר סוגים של טורפים). אנדלר לקח דגימה של גופים מכל מקטע ושם לב, שבמקטעים הקרובים לראש ההר יש לרוב הזכרים צבעים זוהרים, ואילו במקטעים שבתחתית ההר יש לרוב הזכרים צבעים "דהויים" (פחות בולטים).



זכרים ממורד ההר: צבעים דהויים ובורקים פחות. פחות נקודות באזור הזנב.



זכרים ממעלה ההר: צבעים חזקים ובעלי ברק. יותר נקודות באזור הזנב.

2. נסו להסביר כיצד משפיע הפיזור השונה של הטורפים במורד הנחל על שכיחות הזכרים בעלי הצבעים הזוהרים במקטעים השונים.

3. כיצד הייתם בוחנים את ההסבר?

כדי למצוא את הסיבה לפיזור השונה של הזכרים הצבעוניים, עשה אנדלר את הדבר הבא: הוא לקח גופים ממקטעים שונים, בולטים ודהויים, ערבב אותם ואפשר להם להתרבות במעבדה במשך מספר דורות (משך הדור אצל הגופים הוא כארבעה עד שישה שבועות). הצאצאים שהתקבלו היו שונים זה מזה במידת צבעוניותם, והם גודלו בעשר בריכות מלאכותיות. בכל בריכה הייתה אוכלוסייה התחלתית של מאתיים גופים, זכרים ונקבות, ובכל אחת, הזכרים הציגו שונות רבה במידת הצבעוניות שלהם (במילים אחרות, לחלק היו צבעים בולטים ולחלק דהויים). לחלק מהבריכות הכניס אנדלר טורפים. לאחר חמישה חודשים הוא בדק את מידת הצבעוניות של הזכרים בכל בריכה.

4. איזו השערה, לדעתכם, ביקש החוקר לבחון באמצעות הניסוי?

5. אילו זכרים יהיו כשירים יותר, לדעתכם, בבריכות שאין בהן טורפים?

6. איזה זכרים יהיו כשירים יותר, לדעתכם, בבריכות שיש בהן טורפים?

7. מה יקרה להרכב האוכלוסייה (מבחינת הזכרים) במהלך הדורות בבריכות שיש בהן טורפים ובבריכות שאין בהן טורפים?

8. מדוע הקפיד החוקר שבכל בריכה תהיה אוכלוסייה התחלתית דומה (מבחינת מספר הפרטים והצבעוניות)?

על מנת לראות אם תהליך כזה מתרחש גם בטבע (ולא רק בתנאי מעבדה), לקח אנדלר מדגם של מאתיים גופים ממקטע בתחתית ההר. רובם היו, כזכור, בעלי צבעים דהויים (לא בולטים) יחסית. הוא שם את הגופים הללו במקטע אחר גבוה במעלה ההר, שלא היו בו גופים אחרים וגם לא היו בו טורפים. לאחר שנה (כחמישה עשר דורות) הוא בדק את הזכרים. הרכב האוכלוסייה היה שונה מההרכב באוכלוסייה המקורית: שכיחות הזכרים בעלי הצבעים הבולטים עלתה מאוד.

ראינו כבר שבקרב יצורים חיים, מספר הצאצאים המגיחים לעולם עולה בהרבה על מספרם של השורדים. לכן, נגזר על כל היצורים להיקלע לתחרות עם דומיהם על המשאבים הקיימים (למשל, מציאת מזון, בני זוג והגנה). בתחרות זו היצורים זקוקים לאותו המשאב, שכמותו אינה מספקת לכולם.

המאבק העיקרי מתנהל לא בין פרטים ממינים שונים (למשל, בין הטורף לנטרף) אלא בין פרטים השייכים לאותו המין (בין הנטרפים לבין עצמם). לפיכך, בדוגמה שראינו, המאבק המכריע אינו בין הגופים לבין טורפיהם, אלא בין הגופים השונים. רק המנצחים במאבק בקרב הגופים הם שיעמידו את הדורות הבאים.



חטי פילים באפריקה



חטים הם השיניים החותכות העליונות שבולטות מפי הפיל. החטים משמשים את הזכרים בהזדמנויות שונות בחייהם. במאבק עם זכרים אחרים על הנקבות, למשל, יש חשיבות רבה לנוכחות החטים ופילים ללא חטים מזדווגים פחות. הימצאות חטים היא תכונה תורשתית.

1. אילו זכרים הם כשירים יותר, בעלי חטים או חסרי חטים? האם הזכרים הללו יהיו כשירים יותר בכל תנאי סביבה?
2. ברוב אוכלוסיות הפילים בטבע, שכיחות בעלי החטים גבוהה. הסבירו זאת על פי מנגנון הברירה הטבעית.

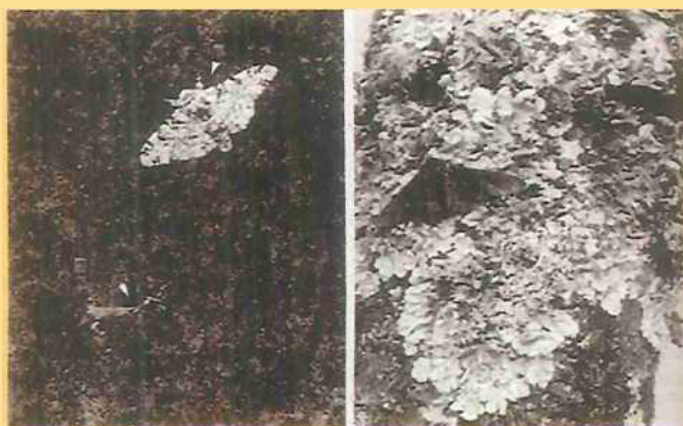
מאז שהאדם הלבן הגיע לאפריקה, הפכו חטי הפילים למצרך מבוקש. פילים רבים ניצודים מדי שנה כדי לספק את הביקוש לשנהב (החומר ממנו עשויים החטים) שממנו עושים אביזרי נוי. הציד המוגבר, הנמשך כבר יותר משבעים שנה, מהווה לחץ ברירה על הפילים, וככל שהחטים ארוכים יותר, כך הם קוסמים יותר לציידים. לחץ ברירה זה נוסף על לחץ הברירה הפועל על הזכרים בגלל השתתפותם במאבקים על הנקבות.

בשמורות מסוימות באפריקה יש פיקוח על הציד, כלומר הציד אסור, בעוד שבשמורות אחרות אין פיקוח.

3. אילו זכרים יהיו כשירים יותר בשמורות שבהן הציד אסור? אילו זכרים יהיו כשירים יותר בשמורות שאין בהן איסור?
4. מהו, להערכתכם, הרכב אוכלוסיית הפילים (מבחינת הזכרים) כיום, לאחר כמה עשרות שנים של ציד (וכמה דורות של פילים) בשמורות שאין בהן פיקוח?
5. האם התרחש במקרה זה תהליך של ברירה טבעית?
6. השוו בין הדוגמה של חטי הפילים והדוגמה של הגופים. מה המשותף לשתי הדוגמאות?

עשים באנגליה

הדוגמה המפורסמת ביותר שנחקרה (ועדיין נחקרת) באוכלוסיות בטבע ידועה בשם "השחרה תעשייתית". עשים הם פעילי לילה ואת שעות היום הם מבלים בעיקר במנוחה על גזעי עצים ועל סלעים. בעבר היו רוב העִשִּׂים המנוקדים בבריטניה בהירים יחסית. רק מיעוטם היה כהה. בתקופה זו היו מרבית גזעי העצים בהירים, ולכן בשעות המנוחה העשים כמעט שלא נראו לעין על רקע הגזעים והענפים.



עשים על גזעי עצים בבריטניה.

1. איזה יתרון הקנה הצבע הבהיר לעשים?

בתקופת המהפכה התעשייתית בבריטניה, במאה התשע עשרה, הוקמו מפעלים רבים. גזעי העצים התכסו בהדרגה בפיח ובעשן שנפלטו מארובות המפעלים. בתקופה זו עלתה באזורים המתועשים שכיחותם של עשים מנוקדים כהים, ובאזורים מסויימים היא הגיעה לשכיחות של למעלה מ-90% מכלל העשים.

2. נסו להסביר את השינוי בהרכב אוכלוסיית העשים.

3. האם תצפו לשינוי דומה גם באזורים לא מתועשים בבריטניה?

בשנות החמישים והשישים של המאה העשרים, ניסה החוקר האנגלי ברנארד קטלוול (Kettlewell) להסביר את השינוי באוכלוסיות העשים. הוא לכד פרטים כהים ופרטים בהירים של העש המנוקד, סימן אותם, שחרר אותם ושוב לכד אותם לאחר מספר ימים. הוא ביצע את הניסוי במספר מקומות: באזורים מתועשים שבהם היו גזעי העצים כהים ובאזורים לא מתועשים שבהם היו גזעי העצים בהירים.

4. מהי ההשערה שניסה החוקר לבדוק?

תוצאות הלכידה מחדש באזור ברמינגהם (אזור מתועש) מופיעות בטבלה שלפניכם:

	מספר העשים ששחררו	מספר העשים שנלכדו מחדש	% העשים המשוחררים שנלכדו מחדש
עשים כהים	154	82	52.3%
עדים בהירים	64	16	25%

5. מדוע, לדעתכם, לא נלכדו מחדש כל העשים ששחררו?

6. מדוע מצוין אחוז העשים שנלכדו ולא רק המספר?

7. הסבירו את ההבדל בין אחוז העשים הכהים שנתפסו לבין אחוז העשים הבהירים.

8. האם הייתם מצפים לממצאים דומים בניסויים שערך החוקר באזורים לא מתועשים? הסבירו.

תוצאות הלכידה מחדש באזור דורסט (אזור לא מתועש) מופיעות בטבלה שלפניכם:

	מספר העשים ששחררו	מספר העשים שנלכדו מחדש	% העשים המשוחררים שנלכדו מחדש
עשים כהים	473	30	6.3%
עדים בהירים	496	62	12.5%

9. האם הסביבה גרמה לפרטים להפוך לכהים? הסבירו.

10. האם ממצאי החוקר מתאימים למנגנון הברירה הטבעית? הסבירו.

הברירה הטבעית היא תהליך המתרחש בטבע ללא נוכחותה של יד מכוונת וללא מטרה ידועה מראש. השורדים בטבע הם אלה שתכונותיהם מתאימות לתנאי הסביבה ומאפשרות להם להעמיד יותר צאצאים ביחס לאחרים. פעמים רבות יש יותר מפיתרון אפשרי אחד המאפשר הישרדות בתנאי סביבה מסוימים. למשל, בתנאים בהם היצע המזון על הקרקע מידלדל, יכול להיות יתרון לג'ירפות בעלות צווארים ארוכים, אך גם לכאלה שיש להן רגליים ארוכות ולאחרות שניזונות גם ממזון מסוג אחר שעדיין מצוי בשפע. אלא שבמקרה, בזמן שהיצע המזון הידלדל, התקיימה באוכלוסיית הג'ירפות שונות ניכרת באורך הצווארים ולא באורך הרגליים או בהעדפת סוגי מזון. משום כך פעלה הברירה הטבעית על תכונה זו. במילים אחרות, הצווארים הארוכים נבררו לא כתוצאה מתכנון של מישהו שרצה דווקא יצור עם צוואר ארוך, אלא כיוון שבאותן הנסיבות, לפרטים בעלי הצווארים הארוכים הייתה כפי הנראה הכשירות הגבוהה ביותר.

בדוגמה הבאה נעסוק בתהליך אחר של ברירה, אך הפעם לא נעסוק בברירה טבעית אלא דווקא בברירה מלאכוֹ-תית שנעשית על ידי אדם שיש לו רצון, כוונה ומטרה ידועה מראש.

ברירה מלאכותית

כבר עשרות אלפי שנים נוקטים בני האדם דרכים שונות כדי לטפח בעלי חיים וצמחים המתאימים לצרכיהם. בכל דור פוסל האדם את הפרטים שאינם מתאימים לצרכיו (הורג אותם או לא מאפשר להם להתרבות) ושומר ומרבה את אלה שמתאימים לו. המתאימים, והם לבדם, שורדים ומעמידים את הדור הבא.

קחו את החיטה, למשל. בעבר הרחוק מאוד היה זה צמח בר, שהגרורים שלו ניתקו בקלות יחסית מהגבעול. אחרת, כיצד היו יכולים לעוף ברוח ולהתרבות? אבל יום אחד, ניתן לשער, בראשית התפתחות החקלאות, גילה האדם בשדה החיטה שלו שיבולים מסוימות שגרריהן היו צמודים לגבעול בחוזקה. הוא הבין שתכונה יוצאת דופן זו עשויה להביא לו תועלת: אם יהיה לו שדה מלא בשיבולים כאלה, הוא יוכל לקצור אותן מבלי לאבד בשדה גרורים יקרים שניתקים מהגבעול תוך כדי הקציר. כך יוכל לקבל יותר קמח. הוא לקח את הגרורים של השיבולים המיוחדות, הירבה אותם בינם לבין עצמם וקיבל שדה שהיו בו יותר שיבולים בעלות התכונה המבוקשת. הוא חזר על פעולה זו שוב ושוב, וכתוצאה מכך, הייתה ברשותו, לאחר מספר דורות, אוכלוסייה המורכבת רק משיבולים שגרריהן צמודים. אפשר לומר, שהאדם ברר את הפרטים שגרריהם היו צמודים והירבה רק אותם.

באופן דומה, ברר האדם גם בעלי חיים שהתאימו לצרכיו. הוא הבין, למשל, את היתרון שיש בגידול כבשים איטיות שאינן משוטטות בקלות בשטח. ההשגחה עליהן נוחה יותר והן אינן הולכות לאיבוד. לפני כמאתיים שנה, הבחינו במקרה איכרים באנגליה בכבשים בעלות רגליים קצרות במיוחד, שהיו איטיות בהשוואה ליתר הכבשים. לאחר שאיפשרו לכבשים אלה להתרבות במשך כמה דורות, התקבלה אוכלוסייה המורכבת רק מזן של כבשים "עצלות", שההשגחה עליהן נוחה וזולה יותר. זן זה קיים עד היום.

אי שם בעבר החלו האנשים להבין שאם יכליאו בכוונה תחילה פרטים שונים שלכל אחד מהם תכונה רצויה אחרת (למשל, תות מתוק עם תות שאיננו נמעך בקלות), עשויים הצאצאים לשלב את מכלול התכונות הרצויות. אחר כך הכליא האדם רק את הצאצאים האלה בינם לבין עצמם (כלומר, רק תותים מתוקים שאינם נמעכים בקלות, ולא, למשל, תותים שהם רק מתוקים), ומבין הצאצאים שוב ברר את הצאצאים המבוקשים.

תהליכים כאלה של ברירה והכלאה נקראים ברירה מלאכותית. ברירה זו, בניגוד לברירה הטבעית, מתבצעת מתוך כוונה ומטרה מסוימת של האדם, שיודע מראש אילו תכונות הוא מבקש לברור. לא רק תכונות בעלות חשיבות חקלאית נבררות בברירה המלאכותית. לעיתים נבררים פרחים בעלי צבע עלי כותרת מסוים או כלבים בעלי אזנים ארוכות, רק כי תכונות אלו נחשבות יפות בתקופה מסוימת.

השוו בין תהליך של ברירה מלאכותית לתהליך הברירה הטבעית והתייחסו לנקודות הבאות:

1. מיהם הפרטים השורדים?
2. מה קורה להרכב האוכלוסייה?
3. מה קורה לשונות?
4. באיזה תהליך ברירה, מלאכותית או טבעית, תצפו שתתקבל בסופו של דבר אוכלוסייה אחידה יותר בתכונותיה?
5. איזה תהליך מהיר יותר, לדעתכם – הברירה הטבעית או הברירה המלאכותית? הסבירו.
6. מה ההבדל העיקרי בין הברירה הטבעית למלאכותית?
7. סכמו, מה המשותף ומה ההבדל בין הברירה הטבעית למלאכותית?

פעמים רבות, הברירה המלאכותית מאפשרת את הישרדותם של פרטים שהיו נכחדים אילו היו חיים בטבע. שיבולי חיטה, למשל, שגרגריהן צמודים לגבעול בחוזקה, היו בעלי כשירות נמוכה בטבע, שכן גרגריהן אינם מתפזרים. קרוב לודאי שגם הכבשים האיטיות בעלות הרגלים הקצרות לא היו שורדות בטבע. צ'ארלס דארווין חקר את התהליך של ברירה מלאכותית של זנים והושפע ממנו מאוד כשהגה את רעיון הברירה הטבעית.

8. הביאו דוגמאות נוספות לברירה מלאכותית.

9. גם בדוגמה שעסקה בחטי הפילים באפריקה, האדם הוא שיצר את לחץ הברירה. האם, לדעתכם, העלייה בשכיחות הפילים חסרי החטים היא דוגמה לברירה מלאכותית? הסבירו את קביעתכם.

כדאי לציין, שההתפתחויות המדעיות בעשרות השנים האחרונות, מביאות את החקלאות המודרנית לשינויים דרמטיים ומהירים ביותר בצמחים ובעלי חיים. מניפולציות ב-DNA – (הנדסה גנטית) הביאו ליצירת תכונות חדשות וליצירת זנים חקלאיים חדשים שלא היו יכולים להיווצר בדרך של הכלאות טבעיות או מכוונות.

שאלות לסיכום

1

באזור הצפון מערבי של האוקיינוס השקט מתפרנסים הדייגים מדיג של דגי סלמון. ב-1945 השתנתה שיטת התשלום לדייגים: במקום לשלם להם על פי מספר הדגים שדגו, החלו לשלם להם על פי משקל הדגים. בתגובה, עברו הדייגים להשתמש ברשתות בעלות חורים גדולים המאפשרים דיג של דגי סלמון גדולים בלבד. בעקבות המעבר לרשתות אלו ירד בהדרגה (במשך עשרים וחמש שנים) המשקל הממוצע של דגי סלמון בכמה נהרות באזור. הסבירו את השינוי בעזרת מנגנון הברירה הטבעית.

2

תכשירים להשמדת כינים היו יותר יעילים לפני מספר שנים מאשר היום. מדענים טוענים כי חלק מהכינים כיום עמידות בפני התכשיר. כיצד, לדעתכם, נוצר מצב זה?

3

בישראל, דור הצאצאים גבוה, בממוצע, מדור ההורים. האם ניתן לקבוע ששינוי זה הוא תוצאה של ברירה טבעית?

4

ברמת הגולן חיה קבוצת פרות. לחלק פרווה בצבעים שחור-לבן ולחלק פרווה בצבעים חום-לבן.

בניח שקיים מין של קרציות חומות, הגורם למחלת פרות קשה (שבדרך-כלל מוביל לה למוות). קרציות אלה תוקפות בעיקר את הפרות שיש להן כתמים חומים, משום שעל רקע כתמים אלה הן מוסוות היטב. בניח גם שקבוצה גדולה של קרציות כאלה הגיעה לאזור רמת הגולן.

האם, לדעתכם, יחול שינוי בקבוצת הפרות בעקבות הגעת הקרציות החומות לאזור? הסבירו את תשובתכם.

5

באחד מרכסי ההרים במערב קנדה, חיה אוכלוסיית איילים. לפני מספר שנים, בעקבות ציד מוגבר של איילים, החליטה הממשלה הקנדית להגביל את ציד האיילים ולהתיר רק ציד של זכרים בעלי קרניים גדולות ומפותלות במיוחד. מכיוון שרק מעט מאוד מהאיילים הם בעלי התכונה הזו, יש שנים שאף אייל לא ניצוד. חוקרים עוקבים בשלושים השנים האחרונות אחרי גודל הקרניים של הזכרים באוכלוסייה. הם מצאו שהגודל הממוצע ירד ברבע.

א. אילו זכרים כשירים יותר, לדעתכם, לאחר הגבלת הציד?

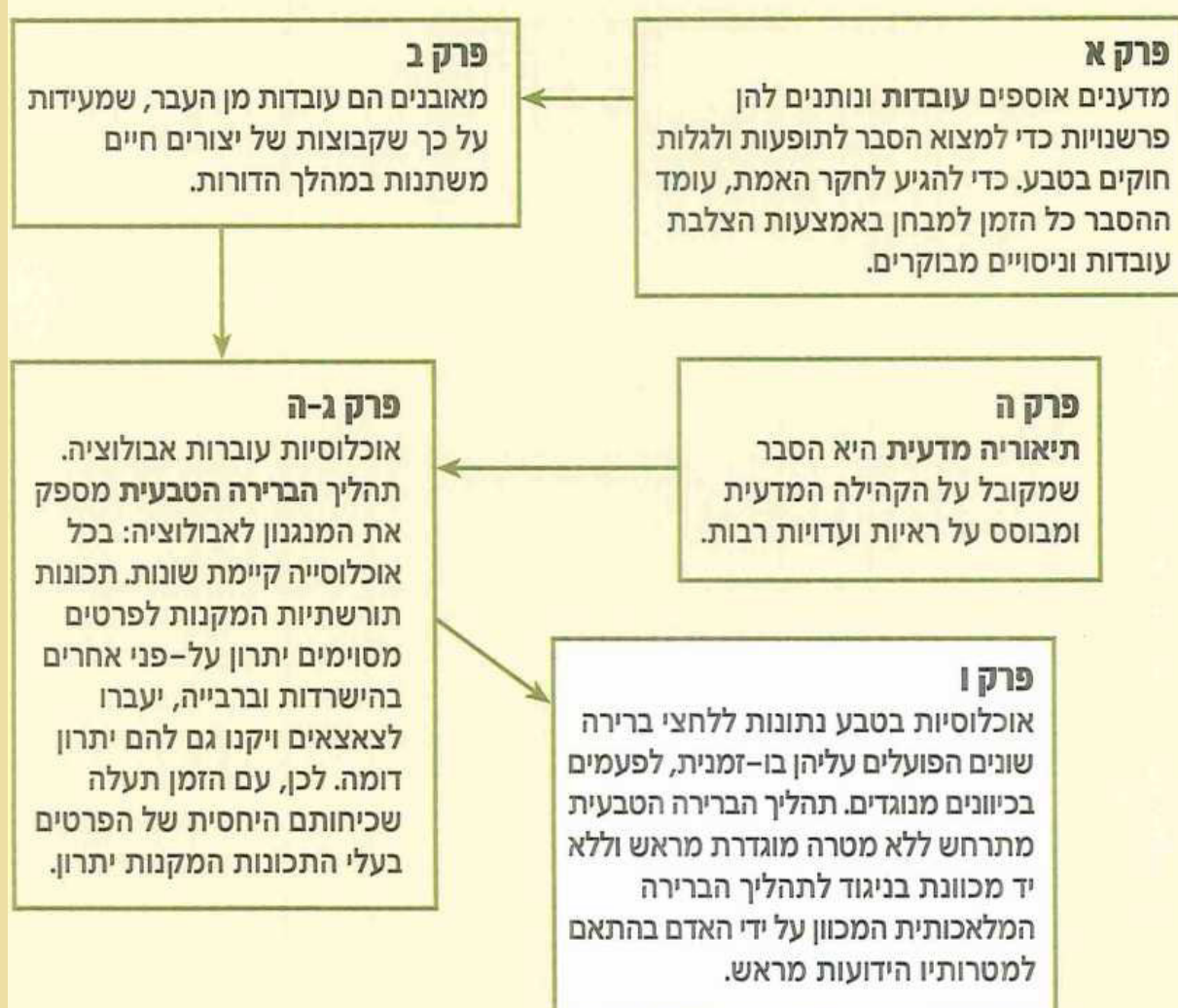
ב. מדוע, לדעתכם, ירד גודל הקרניים הממוצע של הזכרים ברבע?

ג. גם לאחר שהתחילו להגביל את הציד, הגודל הממוצע של הקרניים באוכלוסייה לא חזר לגודל המקורי. נסו להסביר מדוע.

בפרק זה בחנו מספר דוגמאות של תהליכים אבולוציוניים ושל מנגנון הברירה הטבעית האחראי להם. הדוגמאות שראינו מאופיינות הן במשך הזמן הקצר יחסית שבו התרחשו השינויים והן בתוצאה הניכרת שלהם.

ראינו, שהברירה הטבעית עוסקת בתחרות המתקיימת בין פרטים השייכים לאותו המין. למדנו, שאוכלוסיות בטבע נתונות ללחצי ברירה שונים הפועלים עליהן בו-זמנית, לפעמים בכיוונים מנוגדים. הדגשנו שתהליך הברירה הטבעית מתרחש ללא מטרה מוגדרת מראש וללא יד מכוונת בניגוד לתהליך הברירה המלאכותית המכוון על ידי האדם ובהתאם למטרותיו הידועות מראש.

מפת למידה:



פרק ז' כיצד נוצרת שונות?

בפרק הקודם ראינו, שבעקבות תהליכי ברירה (הן ברירה טבעית והן ברירה מלאכותית) הפרטים נעשים יותר ויותר דומים זה לזה (בתכונות המקנות להם כשירות), והאוכלוסייה הופכת למותאמת יותר לסביבתה. במילים אחרות: ראינו, שהשונות באוכלוסייה קטנה. מצד שני, אמרנו גם שהברירה הטבעית פועלת על השונות הקיימת בכל אוכלוסייה (כלומר, מאפשרת לפרטים כשירים לשרוד ולהעמיד יותר צאצאים מאשר הפרטים הפחות כשירים). אבל אם השונות קטנה כל הזמן, על מה תפעל הברירה הטבעית כשישתנו תנאי הסביבה? לפניכם תיאור של כמה תופעות. נסו למצוא מה משותף ביניהן:

בשבט המסאי בקניה, שכל חבריו כהי עור, נולד תינוק לבקן (אלבינו) שעורו לבן, מאחר שהוא חסר פיגמנטים בעור. הוריו הביולוגיים הם כהי עור.

בספרו "הגמד של מנדל" מספר סיימון מאואר את סיפורו של מדען גמד שנולד להורים בעלי גובה נורמלי.

בקרב אוכלוסייה של זבובים בקע זבוב שהיה תקין לחלוטין בכל מערכות גופו, אך זוג מחושיו היה מנוון.

בעיתון דווח על מקרה של חיידק אלים שחדר לרקמות גופה של אישה וגרם למותה. חיידק זה זכה לכינוי "החיידק הטורף". בדרך כלל, חיידקים מסוג זה אינם אלימים ואף מאכלסים דרך קבע את חלל הפה ואת דרכי הנשימה של האדם.

האם מצאתם את המשותף?

הלבקנות, הגמדות, המחוששים המנוונים והאלימות בחיידקים הן תכונות שהופיעו באוכלוסייה פתאום, באופן ראשוני. הן גורמות לנושאים אותן להיות שונים מאוד מהוריהם ומיתר הפרטים באוכלוסייה.

● נסו להציע הסבר להופעת הפרטים יוצאי הדופן באוכלוסייה. האם תוכלו להציע הסבר אחד לכל התופעות (הופעת התינוק הלבקן באוכלוסיית המסאים, הגמדות של המדען, המחוששים המנוונים והחיידק האלים)?

כפי שכבר למדנו, ה-DNA הוא החומר התורשתי המצוי כמעט בכל אחד מתאי הגוף של כל היצורים החיים, והוא מהווה מעין רשימה של הוראות והנחיות להתפתחות היצור החי ולתכונותיו. ה-DNA הוא מולקולה ארוכה הבנויה מרצף של יחידות. היחידות דומות זו לזו, אך אינן זהות. למעשה יש ארבעה סוגים שונים של יחידות כאלה, והן נקראות: נוקליאוטידים.

אפשר להשוות את ה-DNA לחוברת הוראות הכתובה בשפה העברית. אך בעוד שבשפה העברית יש 22 אותיות, ברצף ה-DNA יש רק ארבע "אותיות" - ארבעת הנוקליאוטידים. כל "מילה" בשפת ה-DNA - מורכבת מרצף של שלושה נוקליאוטידים. וכמו שבשפה העברית רצף האותיות הוא שיוצר את משמעות המילים והמשפטים, כך גם הרצף בו מסודרים הנוקליאוטידים קובע את ההוראות הגלומות בו. שינוי של אחד הנוקליאוטידים עשוי לעיתים לשנות את ההוראה או לשבש אותה כך שתהיה חסרת כל מובן.

לצורך האנלוגיה של השפה העברית עם שפת ה-DNA, הרכבנו משפט שכל המילים בו הן בנות שלוש אותיות:

גדי אכל לחם יבש

למשפט זה יש משמעות ברורה. אם תשתנה את האותיות, למשל, האות "י" המסומנת תהפוך ל"ע", יתקבל המשפט: גדי אכל לחם עבש. משפט זה שונה במובנו מהמשפט המקורי, אך לא באופן ניכר (אתם מוזמנים לחפש במילון). לעומת זאת, אם תשתנה האות "ל" המסומנת ובמקומה תופיע האות "פ", יתקבל המשפט גדי אכל פחם יבש. גם משפט זה הוא בעל משמעות, אך משמעותו שונה לחלוטין מהמשפט המקורי.

אם תופיע פתאום בתוך המשפט אות חדשה, למשל, האות "ג" לפני האות "ל" המסומנת, יתקבל המשפט: גדי אכל גלח סיב ש (כזכור, כל מילה מורכבת מרצף של שלוש אותיות).

המשפט החדש הזה הוא חסר מובן.

שינוי ברצף ה-DNA (למשל, בעקבות החלפה של אחד הנוקליאוטידים המרכיבים אותו באחר) נקרא: מוטציה.

כאמור, ה-DNA קובע את תכונותיו של היצור. מקטעים שונים ב-DNA, שלכל אחד מהם רצף ייחודי, מעורבים בקביעתן של תכונות שונות. כל מקטע כזה נקרא גן. שינוי ברצף הגן (מוטציה) יכול להשפיע על התכונה שהוא קובע ביצור. בדומה לשיבוש משפט בשפה העברית, השינוי בשפת ה-DNA יכול לא לשנות, לשנות מעט, לשנות הרבה ואפילו לשבש לחלוטין את התכונה המתקבלת.

מרגע היווצרות התכונה החדשה, היא מהווה תכונה לכל דבר: במכלול תכונות היצור אין הבדל בינה לבין תכונות "ותיקות" שנוצרו בעבר הרחוק יותר. אם תכונה זו משפיעה על כשירותו של היצור, הברירה הטבעית פועלת עליה כמו על שאר התכונות.

מוטציות הן מקור תמידי לשונות באוכלוסייה.

השוו בין השפה העברית ל-DNA. היעזרו בטבלה הבאה:

השפה העברית	ה-DNA
אות (יש 22 אותיות)	
	רצף של שלושה נוקליאוטידים
משפט	
חוברת הוראות	
שינוי כתיב	

על גנים ושכפול אמין

ה-DNA עובר מדור לדור, והוא שמאפשר את העברתן של תכונות תורשתיות מהורים לצאצאים. אלא שההורים אינם "מוסרים" את ה-DNA שלהם לצאצאיהם ונותרים ללא DNA משלהם: בתהליך התורשה משוכפלים רצפי ה-DNA (הגנים) הנושאים את ההוראות לתכונות. השכפול מתרחש אצל ההורים, וכל צאצא מקבל עותק מכל גן. הסיבה לכך שצאצאים דומים להוריהם – החל מהעובדה שנשים יולדות ילדים ולא חמניות או פילונים ועד לדמיון בצורת האף בין הורים לילדיהם – טמונה באמינות השכפול של ה-DNA.

- מה, לדעתכם, יקרה אם יתרחש שיבוש בתהליך השכפול וכתוצאה ממנו ישתנה רצף ה-DNA (תתרחש מוטציה)? היעזרו באנלוגיה שערכנו קודם בין ה-DNA לשפה העברית.

מוטציות מתרחשות בתאים בתדירות נמוכה ביותר במהלך שכפול ה-DNA. מדענים מעריכים, שעל כל מיליון תאי זוויג (תאי זרע או תאי ביצה) נוצר תא אחד שמכיל מוטציה. גורמים סביבתיים מסוימים מעלים את תדירות התרחשותן של מוטציות ונקראים מוטגנים (= יוצרי מוטציות). כאלה הם, למשל, קרינת UV (שמגיעה מהשמש), קרינת רנטגן, קרינה רדיואקטיבית, חומרים כימיים שונים כמו אלה הנמצאים בסיגריות ובעשן מכוניות ואף וירוסים מסוימים.

הקשר בין מוטציות לתכונות – תרגיל מחשבתי

חשבו על אוכלוסיית החרזנים שפגשתם בפרק ה. דמיינו שאוכלוסייה זו מתקיימת באזור של עשב ירוק, והיא מורכבת מפרטים צהובים ומפרטים כחולים. במשך דורות נבררים בתהליך הברירה הטבעית פרטים כחולים המוסווים בעשב טוב יותר מפרטים צהובים, ומשום כך הם מהווים כיום את רוב האוכלוסייה.

יום אחד, התרחשה מוטציה ב-DNA של אחד הפרטים הכחולים באוכלוסייה, שגרמה לשינוי בצבע צאצאיו.

קראו את שלוש האפשרויות הבאות:

1. בעקבות המוטציה נוצר פרט ירוק.
 2. בעקבות המוטציה נוצר פרט לבן (הצבע הלבן בולט יותר על רקע העשב משאר הצבעים).
 3. בעקבות המוטציה נוצר פרט כחול בעל נקודות שחורות (מידת הסוואתו של פרט זה אינה שונה מזו של פרט כחול).
1. לגבי כל אחת מהאפשרויות, קבעו:
 - א. האם המוטציה העלתה את כשירותו של הפרט, הורידה אותה או לא השפיעה עליה כלל. הסבירו.
 - ב. האם, לדעתכם, ישפיע הדבר על הרכב האוכלוסייה במהלך הדורות? הסבירו.
 2. חזרו לסוף הפרק הקודם לקטע "ברירה מלאכותית" וקראו שוב את הדוגמה על החיטה. האם המוטציה שגרמה לגרגרי השיבולים להיות צמודים יותר לשיבולת הקנתה יתרון לפרטים שהשתנו?

האם הסביבה היא שקובעת אילו מוטציות יתרחשו?

בסוף המאה ה-19 יצאה קבוצת אנשים למסע אל הקוטב הצפוני. אף אחד מהם לא שרד את המסע, וגופותיהם אבדו בשלג. לפני כחמש עשרה שנה התגלו גופותיהם הקפואות של שניים מחברי הקבוצה. כיוון שבגופו של כל אדם מצויים באופן טבעי חיידקים, נמצאו חיידקים גם בגופות הקפואות. חיידקים, בניגוד ליצורים רב-תאיים, אינם מתים בהקפאה, וכאשר הם מועברים לטמפרטורה המתאימה ובנוכחות מזון, הם משגשגים ומתרבים. מדענים בדקו את העמידות לאנטיביוטיקה של החיידקים שנלקחו מהגופות.

1. האם, לדעתכם, יכלו המדענים למצוא חיידקים עמידים, על אף העובדה שהאנטיביוטיקה הראשונה (פניצילין) התגלתה רק בשנת 1928, כלומר, שנים רבות לאחר שהחיידקים קפאו? הסבירו.
2. מה אפשר ללמוד מהסיפור לגבי הופעת העמידות לאנטיביוטיקה אצל החיידקים: האם היא תגובה להימצאות אנטיביוטיקה בסביבה או שהיא מתרחשת ללא קשר לאנטיביוטיקה? הסבירו.

הניסוי של לדברג

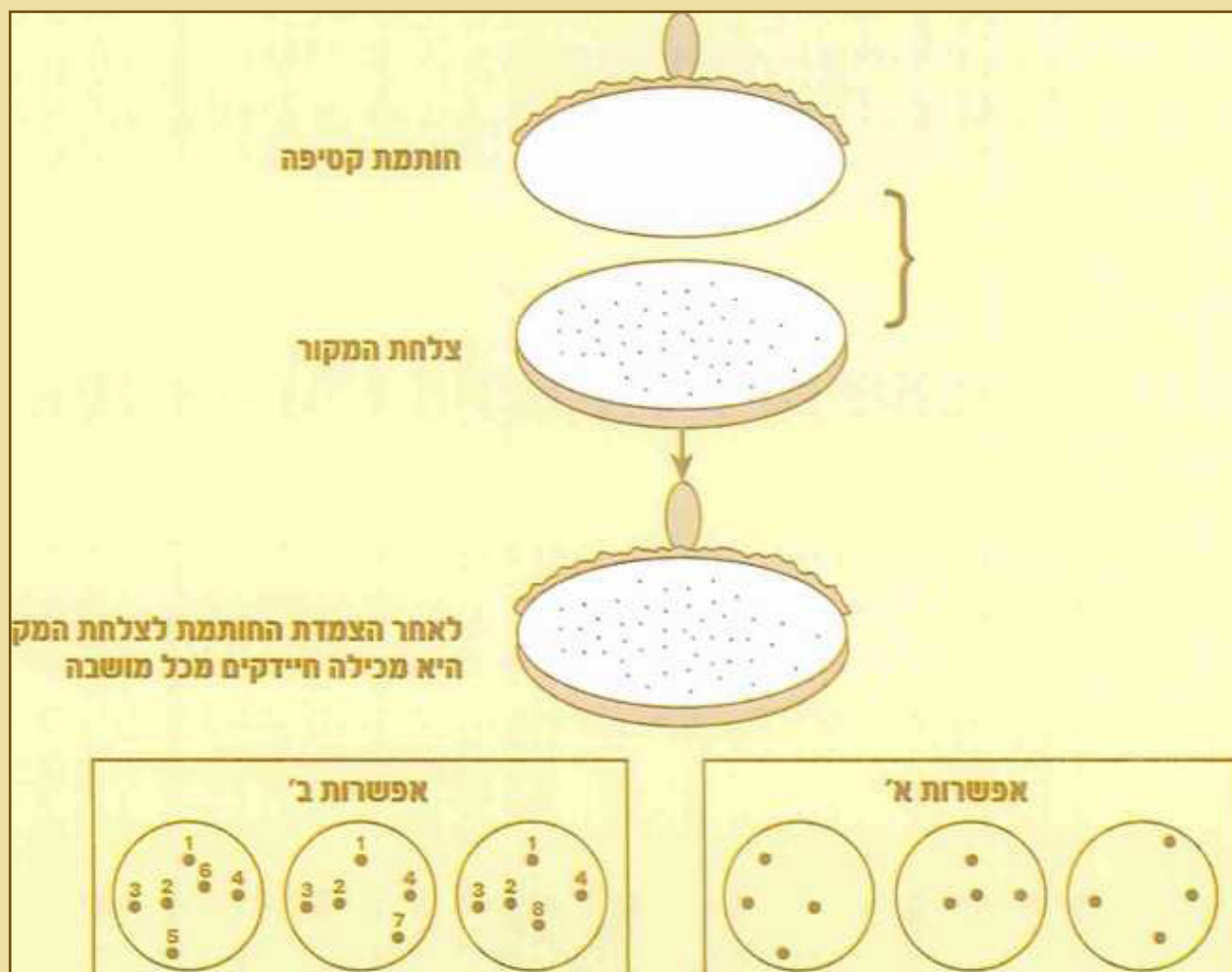
השאלה של אקראיות המוטציות הטרידה חוקרים רבים במהלך השנים. יהושע ואסתר לדברג (Joshua Lederberg ו-Esther Lederberg) בדקו את הנושא ואף ערכו ניסוי מפורסם שעזר בפתרון השאלה. הם ניצלו את העובדה שאפשר לגדל חיידקים במעבדה על צלחת פטרי (שמכילה מזון מוצק). כאשר החיידקים מתרבים, יוצר כל אחד מהם מיליוני צאצאים זהים שמרוכזים באותו מקום על הצלחת ויוצרים "מושבה" קטנה, שאפשר לראות בעין (בניגוד לחיידק בודד שאי אפשר לראות ללא מיקרוסקופ). מה שמקבלים הוא, אם כן, מושבות שכל אחת מהן מקורה בחיידק אחד.

הזוג לדברג שאל את השאלה הבאה: האם מוטציה המקנה לחיידק עמידות לאנטיביוטיקה נוצרת בתגובה לנוכחות אנטיביוטיקה או ללא קשר לאנטיביוטיקה? כדי לענות עליה הם ביצעו את הניסוי הבא: הם גידלו חיידקים בצלחת פטרי, והחיידקים התרבו ויצרו מושבות. צלחת זו נקראת "צלחת המקור". המדענים לקחו חתיכת עץ עטופה בד קטיפה סטרילי ונגעו בעזרתה בעדינות בצלחת המקור. מעט חיידקים מכל מושבה נצמדו לחוטי הקטיפה. אז הניחו המדענים את "חותמת" הקטיפה על מספר צלחות חדשות וכך "שיכפלו" את הצלחת למספר צלחות חדשות. במילים אחרות, הם העבירו חיידקים מצלחת המקור לסדרה של צלחות חדשות. בכל הצלחות נזרעו בדיוק אותם החיידקים באותו מיקום ממש. כל הצלחות החדשות הכילו אנטיביוטיקה מאותו סוג.

המדענים נתנו לחיידקים להתרבות ובדקו אם והיכן גדלו המושבות העמידות בכל צלחת.

- החיידקים המקוריים ששימשו בניסוי היו רגישים לאנטיביוטיקה. האם, לדעתכם, יופיעו מושבות על הצלחות עם האנטיביוטיקה? אם כן, מה מקורן?

מה גרם להופעת המוטציות? נבדוק את האפשרויות:



הניסוי של הזוג לדברג.

אפשרות א: המוטציות המקנות עמידות לאנטיביוטיקה נוצרות בתגובה לאנטיביוטיקה. במקרה כזה, המוטציות יתרחשו רק על צלחות האנטיביוטיקה (ולא על צלחת המקור שאינה מכילה אנטיביוטיקה). אם אפשרות זו נכונה, אפשר לצפות שהמושבנות העמידות יגדלו במקומות שונים בכל צלחת שיש בה אנטיביוטיקה. למשל, בצלחת אחת יתרחשו מוטציות במושבנות 1, 4, 7 בשנייה במושבנות 2, 3, 10 וכו'. זאת בגלל שמוטציות הן נדירות ביותר ולא סביר שהן תתרחשנה באופן בלתי תלוי בדיוק באותם מקומות. אפשרות ב: המוטציות המקנות עמידות לאנטיביוטיקה נוצרות באופן ספונטני, ללא קשר לאנטיביוטיקה. אם אפשרות זו נכונה יגדלו המושבות העמידות באותם המקומות בכל הצלחות, כי מקורן באותם חיידקים שבהם התרחשו מוטציות כבר בצלחת המקור. למשל, בכל הצלחות המושבות העמידות יהיו 2, 6, 10.

התוצאות שהתקבלו תאמו לאפשרות השנייה שהצגנו, והמסקנה היתה שהמוטציות לעמידות התרחשו בחיידקים כבר בצלחת המקור, ולא בתגובה לאנטיביוטיקה. במילים אחרות, המוטציות התרחשו באופן ספונטני ולא כתגובה לסביבה. הן לא נוצרו כדי להקנות יתרון לחיידקים.

האם מוטציות מעלות את הכשירות או מורידות אותה?

ראינו שתכונת העמידות לאנטיביוטיקה מעלה את הכשירות של החיידק בנוכחות אנטיביוטיקה. האם תמיד מוטציות מעלות את הכשירות?

חשבו על משפט בשפה העברית. מה, לדעתכם, יקרה, אם אחת האותיות במשפט תשתנה באופן אקראי? למה יש סיכוי גבוה יותר – שהמשפט ישמור על משמעותו, שיקבל משמעות חדשה או שיהפוך לחסר משמעות? הסבירו.

- מוטציות מתרחשות באופן אקראי, כלומר, בכל מקום ברצף ה-DNA של היצור. אילו מוטציות, לדעתכם, יתרחשו בשכיחות הגבוהה ביותר – מוטציות שמורידות את כשירות הפרט, מוטציות שמעלות את הכשירות או מוטציות ניטרליות (כלומר, כאלה שאינן משפיעות על הכשירות)? הסבירו.

האם כל מוטציה עוברת בתורשה?

ראינו (בפרק ג), שתכונה צריכה להיות טבועה ב-DNA כדי שתעבור לצאצאים. אך האם זהו תנאי מספיק?

- לפניכם שלוש דוגמאות של מוטציות שהתרחשו בגופם של שלושה בני אדם. לגבי כל מוטציה חשבו: האם היא תעבור בתורשה לצאצאיו של הפרט הנושא אותה?
 1. מוטציה בתא עור שנוצרה כתוצאה מחשיפה ממושכת לשמש וגרמה לסרטן עור.
 2. מוטציה בתא בריאה שנוצרה כתוצאה מעישון סיגריות וגרמה לסרטן ריאות.
 3. מוטציה בתא מין (תא זרע או תא ביצה) שנוצרה כתוצאה מחשיפה מוגברת לקרינה רדיואקטיבית.

בכל הדוגמאות הללו התרחש שינוי בתומר הגנטי של האנשים. למרות זאת, שתי המוטציות הראשונות לא תע- בורנה בתורשה, שכן השינוי התרחש בתאי הגוף ולא בתאי המין. מוטציות עוברות בתורשה, רק אם הן מתרחשות בתאי המין (תאי זוויג).

מחלות תורשתיות מתפתחות בעקבות מוטציה שאירעה בתאי המין של פרט מסוים. מוטציה כזאת עוברת לצא- צאים ולצאצאי הצאצאים באופן שמשפחות שלמות לאורך הדורות נושאות אותה מוטציה. בקהילות שבהן נישואים מתרחשים רק בתוך הקהילה, יש מוטציות אופייניות לקהילה. כך, למשל, בקרב יהודים שמוצאם ממזרח אירופה, רווחות מוטציות מסוימות הגורמות למחלה התורשתית "טאי זקס". לעומת זאת, בקרב לא-יהודים שחיו באותה סביבה ובקרב יהודים שמוצאם מקהילות אחרות בעולם מוטציות אלה נדירות יותר. בקרב שחורים באר- צות הברית שכיחה יחסית המוטציה האחראית למחלה "אנמיה חרמשית".

● יוסף, שמשפחתו מוצאה מתימן, חולה במחלת הפנילקטונוריה. זוהי מחלה תורשתית, ובקרב יהודים שמוצאם מתימן שכיחותה גבוהה יחסית. בדיקות של חולים רבים הראו, שהמחלה נגרמת בעיקר בגלל מוטציה מסוימת אחת, וגם אצל יוסף נמצאה מוטציה זו. האם, לדעתכם, אירעה המוטציה אצל הוריו של יוסף או לפני דורות רבים?

טאי זקס – הפגם הגנטי גורם לפגיעה באנזים שאחראי לפירוק אחד מסוגי השומנים. כתוצאה מכך, מצטבר השומן במערכת העצבים ויכול לגרום לפיגור, שיתוק, עיוורון ואף למוות בגיל צעיר. כיום אין טיפול במחלה, אך יש אפשרות לאבחן עובר שחולה במחלה.

פניל קטונוריה – הפגם הגנטי גורם לפגיעה באנזים שהופך את החומצה האמינית פניל אלנין לטירוזין. כתו- צאה מכך, מצטבר פניל אלנין בגוף ונגרמת פגיעה במערכת העצבים ובאיברים פנימיים. יילוד המזוהה כחולה ניזון מדיאטה המכילה חלבונים נטולי פניל אלנין ויכול לחיות חיים רגילים.

אנמיה חרמשית – הפגם הגנטי גורם לייצור לקוי של המוגלובין, שהוא המולקולה המצויה בתאי הדם האדו- מים ונושאת חמצן לכל תאי הגוף. כתוצאה מכך, צורתם של תאי הדם האדומים מעוותת, והם נראים כמו חרמש.

כאמור, גנים שחלה בהם מוטציה (ולכן השתנו), משפיעים על התכונות של היצור כמו כל גן אחר. מכיוון שמו- טציות מתרחשות כל הזמן, הן מהוות מקור תמידי לשונות באוכלוסייה, והברירה הטבעית פועלת על התכונות החדשות שנוצרות.

האם כל שונות נובעת ממוטציות?

רובנו דומים להורינו אך איננו זהים להם. גם בין אחים הנולדים לאותם הורים קיים דמיון רב אך אין זהות. מה מקורם של הבדלים אלה? האם אפשר להסבירם במוטציות רבות שהתרחשו בדור אחד?

בתרגיל הבא נייצר, בעזרת ממתקים וחפצים אחרים, משפחה של יצורים – זוג הורים וצאצאיהם – ונעקוב אחר התפתחות השונות במשפחה.

מדוע לכל האחים שלי עינים חומות ולי כחולות?

המורה יציג בפניכם זוג הורים, שנקרא להם ריבופים. גופם וראשם עשויים מחתיכות מרשملו, שני מחושיהם - מסיכות אדומות, שתי עיניהם עשויות מנעצים ירוקים, אף מנעץ אדום, שתי דבשות מסיכות צבעוניות, רגליים מסיכות כחולות, וזנב מסולסל שעשוי ממנקה מקטרות.

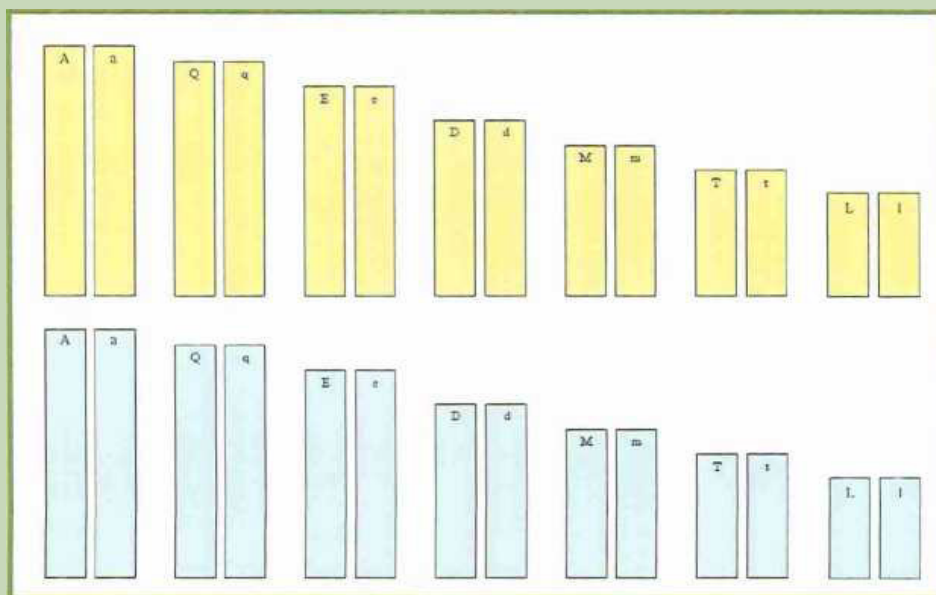


זוג הורים ריבופים.

לכל היצורים החיים יש כרומוזומים שהם רצפים ארוכים של DNA. כל כרומוזום מכיל גנים רבים הקובעים את תכונות היצור. אצל בעלי חיים המתרבים ברבייה זוויגית מופיעים הכרומוזומים בזוגות - אחד הכרומוזומים בכל זוג מקורו באם, והאחר - באב. כל תכונה נקבעת, אם כן, על ידי זוג של גנים - אחד שמקורו באם ואחד באב.

לריבופים יש שבעה זוגות כרומוזומים.

כל זוג תלמידים יקבל שתי מעטפות שמכילות רצועות נייר. אלה הם הכרומוזומים של ההורים שהמורה הראה לכם - מעטפה אחת (הצהובה) מכילה את הכרומוזומים של האם, והשנייה (הכחולה) את הכרומוזומים של האב. על כל רצועה מופיעה אות המייצגת גן אחד שאחראי לתכונה מסוימת. שימו לב: כל זוגות התלמידים בביתה יקבלו אותם כרומוזומים בדיוק (של ההורים שפגשתם)!



הכרומוזומים של בני הזוג.

1. **סידור הכרומוזומים:** מיינו את הכרומוזומים לזוגות, כל צבע בנפרד. רצועות באותו האורך מייצגות כרוֹמוזומים מאותו הסוג. כך תקבלו 7 זוגות צהובים (של האם) ו-7 זוגות כחולים (של האב). הפכו אותם באופן שהאותיות שעליהם יפנו כלפי מטה.

2. **יצירת תאי זוויג:** בשלב זה נדמה את התהליך שבו נוצרים תאי הזוויג אצל כל הורה. בסופו של התהליך, כל תא זוויג מכיל רק כרומוזום אחד מכל סוג.

מכל זוג כרומוזומים בחרו באופן אקראי כרומוזום אחד. תלמיד אחד יבחר כרומוזומים מהזוגות הצהובים (מהאם), ותלמיד אחר – מהכחולים (מהאב). החזירו את רצועות הנייר שלא נבחרו למעטפות.

3. **הפריה:** בשלב זה נדמה את ההפריה, שכתוצאה ממנה נוצר צירוף של הכרומוזומים שנתרמו מהאם עם הכרומוזומים שנתרמו מהאב. צירוף זה מהווה את מכלול הכרומוזומים של הצאצא, ולכן גם את מכלול הגנים שלו.

הניחו את כל הכרומוזומים שבחרתם על השולחן. עליכם לקבל 7 זוגות, כל אחד מורכב מכרומוזום צהוב ומכרומוזום כחול.

4. **יצירת הצאצא:** הפכו את הכרומוזומים באופן שייראו "הגנים" שעליהם (האותיות שעל רצועות הנייר). בנו בעזרת החומרים שברשותכם צאצא ריבופ על פי האותיות ובעזרת המפתח הבא:

AA – מחוש אדום אחד.
Aa – 2 מחושים אדומים.
aa – ללא מחושים.
MM – דבשת ירוקה אחת.
Mm – 2 דבשות ירוקות.
mm – 3 דבשות ירוקות.
QQ – אף כתום.
Qq – אף אדום.
qq – אף צהוב.
TT או Tt – זנב מסולסל.
tt – זנב ישר.
EE או Ee – 2 עיניים ירוקות.
ee – 3 עיניים ירוקות.
LL או Ll – רגלים כחולות.
ll – רגלים אדומות.
DD או Dd – 3 מפרקי גוף.
dd – 2 מפרקי גוף.

מפתח לבניית צאצאי הריבופים.

5. **הצגת הצאצאים:** הניחו את הריבופים הצאצאים ש"נולדו" לכם על שולחן המורה. התבוננו בריבופים ה"אחים" (שנוצרו על ידי זוגות אחרים בכיתה).

דיון בתוצאות

במה דומים הריבופים זה לזה? ממה נובע הדמיון ביניהם?

ממה נובע השוני בין הריבופים?

האם תוכלו למצוא שני צאצאים זהים לחלוטין?

האם תוכלו למצוא צאצא הזהה לחלוטין לאחד ההורים?

5. מלאו את הטבלה הבאה שמשווה בין ההדמיה לבין רבייה זוויגית.

רבייה זוויגית	הדמית הריבופים
	רצועות הנייר
	האותיות על רצועות הנייר
יצירת תאי הזויג בנפרד אצל כל הורה על ידי צירוף אקראי של כרומוזומים	
תאי זויג	
	צירוף שתי הסדרות של רצועות הנייר
	בניית הריבופ על פי המפתח

6. מה הקשר בין מגוון הריבופים שקיבלתם לבין העובדה שהרבייה הייתה זוויגית?

7. לו הייתה ההדמיה מתבצעת גם בכיתה המקבילה, והייתם מתבוננים בכל הריבופים הצאצאים, האם אז הייתם יכולים למצוא שני צאצאים זהים לחלוטין זה לזה? האם הייתם יכולים למצוא צאצא הזהה לחלוטין לאחד ההורים? נסו להסביר את תשובתכם.

8. במציאות יש, כמובן, לכל יצור הרבה יותר משבע תכונות. מה תוכלו לומר על הסיכוי לקבל צאצאים זהים בדיוק להוריהם (או זה לזה) במציאות?

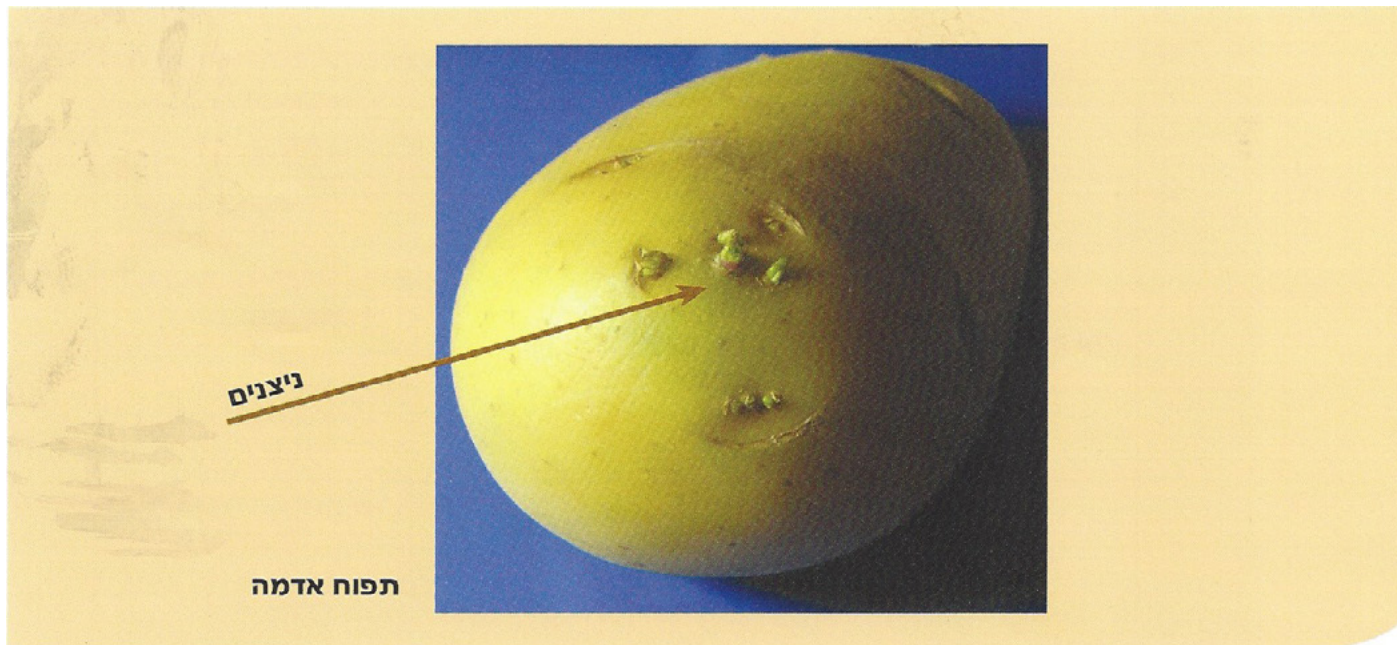
9. כמו בכל הדמיה, גם הדמיה זו אינה מדמה את המציאות באופן מושלם, וקיימים הבדלים בינה לבין המציאות. במה שונה הדמיה זו מרבייה זוויגית במציאות?

בהדמיה ראינו שצאצאים של הורים המתרבים ברבייה זוויגית דומים להוריהם אך אינם זהים להם. גם בין אחים יש דמיון אך לא זהות. ראינו שהבדלים אלה נובעים מהמספר העצום של צירופים אפשריים של גנים. בכל צאצא בא לידי ביטוי צירוף אחר שקובע את מכלול תכונותיו הייחודי ובזאת קובע את כשירותו.

צירופי תכונות הן מקור תמידי לשומת באוכלוסייה שמתרבה ברבייה זוויגית. כפי שראינו בתחילת הפרק, גם מוטציות הן מקור תמידי לשונות. אבל בעוד שהמוטציות הן נדירות יחסית, צירופים חדשים של גנים מתרחשים כל הזמן (כאשר מדובר ברבייה זוויגית). הברירה הטבעית פועלת על השונות ללא קשר לדרך שבה נוצרה, ובוררת את המתאימים ביותר.

מי צריך מין?

צמחים רבים יכולים להתרבות הן ברבייה זוויגית והן ברבייה אל-זוויגית. תפוח האדמה הוא צמח כזה. בדרך כלל הוא מתרבה בדרך הרבייה האל-זוויגית. בדרך זו, צומחים על תפוח האדמה ניצנים (אלו הם ה"עיניים" שעליו), שמתפתחים לצמחים בוגרים. אם לא חלו מוטציות, צמחים אלה זהים לחלוטין לתפוח האדמה ההורה.



כאשר תפוח האדמה מתרבה ברבייה זוויגית (במעבדה), מאביקים גרגרי האבקה הזכריים את השחלה הנקבית, וכתוצאה מכך זרעים, שמכל אחד מתפתח צאצא בעל צירוף תכונות ייחודי.

1. היכן תצפו שתהיה שונות גדולה יותר – בין הפרטים באוכלוסיית תפוחי אדמה שמתרבה ברבייה זוויגית או באוכלוסייה המתרבה ברבייה אל-זוויגית?

שונות נוצרת הן על ידי היווצרות של מוטציות אקראיות ב-DNA והן על ידי צירופים חדשים ואקראיים של גנים קיימים. אצל יצורים המתרבים ברבייה זוויגית מתקיימים שני המנגנונים, ולכן השונות ביניהם היא גדולה, יחסית. השונות בקרב יצורים המתרבים ברבייה אל-זוויגית נובעת ממוטציות בלבד, ולכן היא קטנה יותר.

2. למי יש סיכוי טוב יותר לשרוד אם ישתנו תנאי הסביבה – לאוכלוסייה המתרבה ברבייה זוויגית או לאוכלוסייה המתרבה ברבייה אל-זוויגית?

3. חבורה של פרדסנים מחדרה נסעה לקליפורניה והתרשמה מזן מסוים של עצי תפוז שמניב פירות טעימים. התלהבותם הייתה כה גדולה, עד שהם החליטו להחליף את כל העצים בפרדסים שלהם הכוללים מספר זנים, שחלקם מניבים הרבה פירות וחלקם מעט, בעצים מהזן הקליפורני. מה דעתכם, האם החלטתם נבונה? השתמשו בתשובתכם ברעיון הברירה הטבעית.

מבחינת האוכלוסייה, הן זו שמתרבה ברבייה זוויגית והן זו שמתרבה ברבייה אל-זוויגית, יש לשונות תפקיד מרכזי. לולא היו באפריקה פילים ללא חטים בצד הפילים נושאי החטים, ולולא היו קיימים באוכלוסיית החיידקים גם פרטים עמידים לאנטיביוטיקה (ולא רק רגישים), לא היו אוכלוסיות אלה ממשיכות להתקיים בתנאי הסביבה שבהם מופיע גורם ברירה המכחיד את רוב הפרטים האחרים (החיידקים במקרה של הפילים והאנטיביוטיקה במקרה של החיידקים). בגלל השונות, אוכלוסיות ממשיכות להתקיים גם כשתנאי הסביבה משתנים.

אז מדוע לג'ירף יש צוואר ארוך?

כעת, ניתן לתת תשובה מלאה לשאלה: כיצד התארך צוואר הג'ירפות במהלך הדורות? באופן כללי, אוכלוסיות משתנות לאורך דורות, כלומר עוברות אבולוציה, בעזרת שילוב של שני תהליכים בלתי תלויים אחד בשני:

- האחד אקראי לחלוטין – זהו תהליך יצירת השונות על ידי מוטציות ובאמצעות צירופים חדשים של גנים ברבייה זוויגית.
- השני אינו אקראי – זהו תהליך הברירה הטבעית שבתנאי סביבה נתונים יש לו כיוון (מי שמתאים לסביבה שורד).

שני התהליכים מתרחשים במקביל!

כיצד, אם כן, התארך צוואר הג'ירפות?

התהליך האקראי של יצירת השונות, הוא זה שהביא לכך שהייתה שונות באורך הצוואר של הפרטים באוכלוסיית הג'ירפות הקדומות.

בתהליך הלא אקראי – תהליך הברירה הטבעית – נבררו הפרטים בעלי הצוואר הארוך יותר שהיו מותאמים טוב יותר לסביבה.

מוטציות אקראיות התרחשו (ועדיין מתרחשות) כל הזמן. בכל פעם שהתרחשה מוטציה, שהביאה לשיפור הכ־שירות של ג'ירפה על ידי הארכת צווארה, היא נבררה. כך עלתה באופן הדרגתי במהלך הדורות שכיחותם של הפרטים בעלי הצוואר הארוך יותר ואורכם הממוצע של הצווארים עלה.

שאלות לסיכום

1

קיימים חיידקים מפרקי ניילון כדוגמת הפלובוקטריום. ניילון הוא המצאה חדשה יחסית (לפני שנת 1937 לא הייתה בעולם פסולת של ניילון), אולם מדענים סבורים כי הגן לפירוק ניילון בחיידקים נוצר הרבה לפני המצאת הניילון. לחיידקים לא הייתה כמובן יכולת לדעת שבעתיד יומצא החומר הקרוי ניילון שיוכל להוות מקור מזון עבורם. באיזה רעיון שלמדנו בפרק זה תומכת הדוגמה הזו?

2

שודד ים אחד החליט שמוטב שכל צאצאיו יוולדו עם חורים בתנוכי אוזניהם במ־קום שייאלץ לנקב את אוזניו של כל ילד מחדש. נניח ששודד הים היה יכול לבצע ב-DNA שלו את השינויים הגנטיים הדרושים ליצירת חורים בתנוכי האוזניים. באילו תאים כדאי לו לעשות את השינויים?



א. בתאי תנוך האוזן.

ב. בתאי המוח.

ג. בתאי הזוויג (תאי הזרע שלו).

3

אילו היינו חוזרים לאוכלוסיית הג'ירפות הקדומות (בעלות הצוואר הקצר), האם הייתה מתפתחת שוב תכונת הצוואר הארוך?

4

בחלזונות, צבע הקונכיה הוא תכונה תורשתית. באוכלוסייה מסוימת של חלזונות, שחיה בחולות הים באזור חשוף מצמחיה, יש לכל הפרטים קונכיה בצבע לבן. קונכיה לבנה מצמצמת את מידת ההתחממות מהשמש (כתוצאה מהחזרה מלאה של גלי האור), ולכן לחלזונות בעלי קונכיה לבנה יש יתרון בסביבה החשופה. לעומת זאת, קונכיה לבנה בולטת מאוד לעיני טורפים בסביבה עם צמחיה.

חוקר אחד העביר חלזונות עם קונכיה לבנה מאזור החולות לאזור עם צמחיה. הוא עקב אחריהם ומצא שדור אחר דור, הצאצאים היו בעלי קונכיה לבנה, ורובם נטרפו על-ידי מכרסמים. לאחר שעברו מספר דורות, מצא החוקר בנוסף לחלזונות בעלי קונכיה לבנה, גם חלזון אחד בעל קונכיה מנוקדת.

הוא הניח שהסיבה להופעת חלזון בעל קונכיה מנוקדת, היא מוטציה.

א. האם יש קשר בין הופעת החלזון הבודד שהייתה לו קונכיה מנוקדת לבין המעבר לסביבה בעלת הצמחיה? הסבירו את תשובתכם.

ב. האם החלזון בעל קונכיה המנוקדת היה מופיע אילו החוקר היה משאיר את אוכלוסיית החלזונות עם הקונכיה הלבנה בחולות הים (החשופים מצמחיה)? הסבירו את תשובתכם.

5

לפניכם שני תרחישים שכל אחד מהם כולל רצף של שלוש תמונות המתארות אוכלוסיית ארנבים בדורות שונים. שבעת הארנבים בכל תמונה מייצגים את האוכלוסייה כולה באותו הדור. באזור בו חיה אוכלוסיית זו, ארנב בעל פרווה בהירה מוסווה טוב יותר מארנב בעל פרווה כהה, ולכן יש לו יתרון בהישרדות מפני טריפה על-ידי עופות דורסים.

תרחיש מס' 1: המוטציה לצבע פרווה לבן קרתה לפני הופעת העוף הדורס.



תרחיש מס' 2: המוטציה לצבע פרווה לבן קרתה אחרי הופעת העוף הדורס.



הקיפו בעיגול את האפשרויות הנכונה:

א. קיימת סבירות גבוהה יותר שיקרה תרחיש מס' 1.

ב. קיימת סבירות גבוהה יותר שיקרה תרחיש מס' 2.

ג. לא ניתן לקבוע.

הסבירו את תשובתכם.

6

מה ההבדל בין שונות שנוצרת כתוצאה מרבייה זוויגית לבין שונות שנוצרת מהופעת מוטציות? התייחסו לתכונות שנוצרות.

7

חזרו לשאלה שבה פתחנו את הפרק: בהנחה שהשונות באוכלוסייה, ההולכת ונעשית מותאמת לתנאי הסביבה, קטנה עם הדורות, על מה תעבוד הברירה הטבעית כשישתנו התנאים? נסו לענות עליה עכשיו.

סיכום

תכונות תורשתיות חדשות נוצרות באמצעות שני מנגנונים: האחד, שקיים בכל היצורים החיים, כרוך בשינויים אקראיים ברצף ה-DNA – מוטציות. כיוון שהמוטציות הן אקראיות, רובן מורידות את הבשירות, אך יש כאלה שאינן משפיעות על הבשירות ואחרות שאף מעלות אותה. מוטציות הן ספונטניות ואינן מתרחשות כתגובה לתנאי הסביבה. הן עוברות בתורשה, רק אם הן מתרחשות בתאי הזויג.

המנגנון השני ליצירת שונות באוכלוסייה מתקיים רק אצל יצורים המתרבים ברבייה זוויגית, והוא נוצר כתוצאה מצירופים אקראיים של גנים קיימים.

שני מנגנונים אלה הם מקור תמידי לשונות באוכלוסיות. אבל בעוד שהמוטציות הן נדירות, יחסית, צירופים חדשים של גנים מתרחשים כל הזמן. הברירה הטבעית פועלת על השונות ללא קשר לדרך שבה היא נוצרה ובוררת את המתאימים ביותר. השונות באוכלוסייה מעלה את הסיכוי, שאם ישתנו תנאי הסביבה יהיו פרטים שיתאימו לסביבה החדשה ויעמידו צאצאים.

אוכלוסיות משתנות לאורך דורות על ידי שילוב שני תהליכים בלתי תלויים אחד בשני: האחד הוא תהליך יצירת השונות והוא תהליך אקראי, והשני הוא תהליך הברירה הטבעית והוא אינו אקראי.

מפת למידה:



פרק ח' ניסיון לשחזר את העבר

"ההנחה, שהברירה הטבעית יצרה את העין על כל מורכבותה ... נראית, אני חייב להודות, מגוחכת ביותר".
צ'ארלס דארווין בספרו "מוצא המינים".

בפרק הקודם נוכחנו שבכל אוכלוסייה של יצורים, גם בקרב אוכלוסיות של יצורים זהים לכאורה, נוצרת כל הזמן שונות כתוצאה ממוטציות ומצירופים שונים של גנים המתקבלים ברבייה הזוויגית. ראינו גם, שתהליך הברירה הטבעית פועל על השונות הזאת, ושבזכותו יכולות אוכלוסיות של יצורים להיעשות מתאימות יותר לסביבתם. אך האם מוטציות וצירופי גנים יכולים להיות אחראים גם ליצירת איברים מרשימים ומורכבים כמו העין, למשל? העין היא איבר מורכב ביותר הכולל מנגנון אופטי ומנגנון עצבי, ששילובם יחד מקנה לנו יכולות מופלאות, כגון: קליטת מידע, העברתו למוח, אומדן מרחקים, פענוח תמונות וזיהוי דמויות. ברור שתפקודם והתפתחותם של מנגנונים אלה תלויים במעורבותם של הרבה מאוד גנים. כיצד, אם כן, התפתחה העין – האם בבת אחת, על כל מורכבותה, או אולי בהדרגה, בצעדים קטנים ומדודים שהצטברו לבסוף לשינוי גדול? האם אפשר בכלל ששינויים מורכבים יהיו תוצאת הצטברות של מוטציות בודדות וצירופים אקראיים של גנים?

כדי לענות על השאלה בצעו את פעילות ההדמיה שלפניכם:

אבולוציה של דף-דגים

בפעילות הבאה נדמה שושלת של יצור דמיוני הקרוי "דף-דג" המתרבה בצורה אל-זוויגית.

- כיצד, לדעתכם, ייראו צאצאיו של יצור המתרבה בצורה אל-זוויגית לאחר מספר דורות – זהים למקור מבחינת ה-DNA, שונים מהמקור ואולי אי-אפשר לדעת?

מהלך הפעילות:

כל תלמיד שיושב בשורה הראשונה בכל טור יקבל דף ועליו ציור של דג. זהו הדף-דג. המורה ימדוד 15 שניות, שבהן יעתיק כל תלמיד על הדף החלק שברשותו את הדג (תוך הסתמכות על הראייה, לא על ידי הנחת הדף החלק על הדף המצויר). בתום 15 השניות יעביר כל תלמיד את הדף שעליו צייר לתלמיד היושב מאחוריו. בהמשך ימשיך דדו 15 שניות נוספות וכך הלאה, עד שהתלמיד האחרון בטור יעתיק את הדף-דג. כל תלמיד יעביר הלאה רק את הדף שצייר וישאיר ברשותו את הדף שקיבל.

1. השוו בין הציורים שהתקבלו בטור שלכם. מה אתם רואים?

2. מה מייצגת ההדמיה במציאות? מלאו את הטבלה שלפניכם:

ההדמיה	המציאות
הדף המקורי	
העותקים השונים	
ההעברה של הדף	
השינויים החלים בציור	

3. האם הצאצאים האחרונים שהתקבלו שונים מההורה הראשוני? במה?
4. האם יש הבדל במידת הדמיון בין צאצאים מדורות שונים (עותק שצויר בהעברה הראשונה, עותק שצויר בהעברה השנייה וכו') לבין הדג המקורי? הציעו הסבר לתופעה.
5. מה היה קורה, לדעתכם, לו הטור שלכם היה ארוך פי שניים ממה שהוא באמת? ופי ארבעה?
6. נסחו מסקנה כללית המקשרת בין מספר הדורות שעוברים לבין מספר השינויים שיכולים להצטבר בצאצאי הדף־דגים ביחס לדג המקורי. בססו את מסקנתכם על ההדמיה.
7. מצאו שינוי (מוטציה) שהופיע באחד הצאצאים הראשונים. האם שינוי זה הועבר תמיד גם לצאצאים המאוחרים יותר? האם כל שינוי בהכרח "מצטבר" ומועבר לדור הבא?
8. נניח שהיינו מבצעים את התהליך לאורך הרבה יותר דורות (נאמר, אלף). האם אפשרי, לדעתכם, שיצטברו כל כך הרבה שינויים, עד שלא יהיה כמעט שום דמיון בין הצאצא האחרון בשושלת הדף־דגים לצאצא המקורי? נמקו.
9. מהם קווי הדמיון והשוני בין ההדמיה של הדף־דגים לבין התהליך האמיתי המתרחש בטבע מבחינת דרך הרבייה, תדירות השינויים, סוג השינויים, הצטברות השינויים, כיווניות השינויים והדמיון בין היצורים השייכים לאותה שושלת.
10. הסבירו, לפי עקרונות הברירה הטבעית, מה פירוש האמירה שהשינויים מצטברים? תארו מה קורה באוכלוסייה לגבי שינוי אחד ואחר כך לגבי השינויים הבאים.
11. בהדמיה עקבנו אחר שינויים חיצוניים של הדף־דגים. האם תהליך דומה יכול להתרחש גם לגבי שינויים אחרים ביצורים חיים – במבנה של איבריהם הפנימיים, בהתנהגות, בתהליכים ביוכימיים? הסבירו.

הצטברות של שינויים בתהליכי הברירה הטבעית יכולה להביא ל"השתכללות" של יצורים חיים ולהתאמות מופלאות בין יצורים לסביבתם. בפרק זה נראה כמה דוגמאות של התאמות כאלה.

כיצד יכולים שינויים קטנים ליצור שינוי גדול?

התבוננו בתמונות שלפניכם. מה אתם רואים?



פרפר העלה המת – הדמיון לעלים הוא כמעט מושלם.

אלה הם פרפרים! הם דומים מאוד לעלים מתים בשל צבעיהם, צורת הכנפיים שלהם והדוגמאות המופיעות בצידן התחתון. לא מפתיע, אם כן, שהם מכונים פרפרי העלה המת (dead leaf butterflies). פרפרים אלה חיים בדרך כלל באזורים מיוערים וגשומים, ולעתים רחוקות ביותר הם נראים באזורים פתוחים.

1. במה מתבטאת ההתאמה של פרפרי העלה המת לסביבתם?

2. כיצד, לדעתכם, התפתחה ההסוואה של פרפרי העלה המת?

האם, לדעתכם, הדמיון לעלה התפתח אצל הפרפרים בבת אחת (כלומר, הופיעה מוטציה יחידה שהקנתה להם את יכולת ההסוואה המדהימה שאנו רואים כיום ושכיחותה עלתה באוכלוסייה), או בשלבים רבים, בהם היו מעורבות מוטציות שונות שכל אחת שיפרה את הדמיון לעלים במעט?

לפני שתענו על השאלה, חשבו על התרגיל הבא:

● נניח שבידכם חמש קוביות. מה הסיכוי שאם תטילו את כולן יחד, תקבלו רצף של מספרים מ-1 עד 5?



1. מה יקרה, אם נוכל להטיל את הקוביות כמה פעמים, ובכל פעם שאחת הקוביות תיפול על אחד ממספרי הרצף, נקבע אותה (לא נזיז אותה יותר), ונטיל רק את הקוביות הנותרות? האם הסיכוי לקבל את הרצף המבוקש יגדל או יקטן? האם הזמן שיארך עד שנגיע לרצף המבוקש יתארך או יתקצר?

2. מה הקשר בין הקוביות לבין פרפר העלה-המת?

3. נסו לשחזר את שלבי התהליך שהביא להתפתחות הדמיון בין הפרפרים לעלים המתים. נסו לפרט את שלבי התהליך.

4. מה הקשר בין הקוביות לבין השתנות יצורים בטבע באופן כללי?

5. מה ההבדל בין קבלת רצף מספרים בהטלת קוביות ובין התפתחות יצורים חיים?

6. לו היינו יכולים להזיז את הזמן לאחור, למשל, לזמן בו פרפרי העלה המת נראו כמו פרפרים רגילים או לזמן בו צוואר הג'ירפות היה קצר יחסית, ואז היינו נותנים לזמן "לרוץ" שוב קדימה עד ימינו, האם הייתה האבולוציה חוזרת על עצמה בדיוק? האם היו מתפתחים היצורים המוכרים לנו כיום? הניחו שתנאי הסביבה היו חוזרים על עצמם בדיוק.

7. הביאו עוד דוגמה לתכונה מורכבת (או לאיברים מורכבים) ביצורים חיים. נסו לשחזר את התהליכים האבולוציוניים שהובילו להתפתחותה.

לכל סיר יש מכסה

ההתאמות בין פרחים לבין החרקים המאביקים אותם הן דוגמה מרתקת לקשרי הדדיות, שהתפתחו בהדרגה במהלך האבולוציה. בקשרים אלה הפרח מספק לחרק המבקר בו מזון (צוף המכיל סוכרים וגרגרי אבקה עשירים בחלבונים), ואילו החרק מצדו מספק לפרח שירותי האבקה: בזמן שהוא פוקד את הפרח ואוסף את המזון, נצמדים אליו גרגרי האבקה של הפרח, והוא מעביר אותם (ללא ידיעתו, כמובן) אל פתח השחלה של הפרח הבא שבו הוא מבקר. כך מצוידים פרחים שונים בצבעים הבולטים לעיני החרקים ולעיתים – ב"שבילי צוף" המכוונים את החרקים כמו סימני דרך אל הצוף.



שבילי הצוף של הפשתה
"מכוונים" את הפרח לצוף.



ללוף המנומר יש ריח מצחין, והוא
מושך אליו זבובי תסיסה

פרח מאובק על ידי פרפר.

פרחים רבים ניחנו בריח חזק, המושך אליו את החרקים. לפעמים הריח מתוק ונעים גם לאפנו, ולפעמים הוא דווקא מסריח כמו ריחו של הלוף המנומר, המזכיר ריח של צואת בעלי חיים. הריח המצחין מושך אליו זבובים וחיפושיות זבל, שהם המאביקים העיקריים של הלוף המנומר.

במקרים רבים קיימת התאמה מופלאה בין מבנה הפרחים לבין מבנה החרקים הבאים להאביק אותם. כך, למשל, חיפושיות הן מעופפות מסורבלות למדי, ומבנה הפרחים שהן מאביקות – כלניות, נוריות ופרגים – מותאם היטב למגבלה זו. פרחים אלה הם בעלי מבנה של קערה עמוקה שבמרכזה, כמו סימון של מטרה, יש עיגול שחור. אין צורך בכושר תעופה מופלא כדי להגיע אל המטרה. ברגע שהחיפושית נוחתת על הפרח, היא מתגלגלת אל תחתית הקערה, היישר אל גרגרי האבקה המשמשים לה כמזון.

דוגמה נוספת היא מבנה החדק (איבר המציצה) של הפרפרים המצוי בין גפי הפה. זהו צינור ארוך המקופל בשעת מנוחה ונפרש למלוא אורכו בשעת האכילה ומשמש כקשית. בהתאמה לכך, בפרחים המואבקים על ידי פרפרים, נאגר הצוף שלהם עמוק בתוך הפרח הנראה בכלי קיבול צר וארוך. במקרים רבים יש התאמה מרשימה בין אורך "הקשית" של הפרפר לבין עומק הפרח שבו חבוי הצוף.

1. בתהליך שמביא להתאמה בין "קשית" הפרפר לבין עומק הפרח המואבק על ידו, האם פועלת הברירה הטבעית קודם על הפרפרים או על הפרחים?

2. התבוננו שוב בדוגמאות של התאמות בין פרחים למאביקיהם. רשמו בטבלה: אילו תכונות נבררו בכל אחת מהאוכלוסיות? האם יש לתכונה מסוימת אצל אחת האוכלוסיות יתרון ללא התכונה המתאימה לה באוכלוסייה האחרת? הסבירו.

מאביקים	פרחים
	צבע עז

3. כאשר צ'ארלס דארווין ביקר במהלך מסעו באחד האיים של דרום אמריקה, הוא ראה פרח צר ועמוק. הוא שאל את הילידים מיהו המאביק של פרח זה, אך הם לא ידעו לענות לו. דארווין אמר, שלדעתו המאביק הוא חרק שיש לו חדק מציצה ארוך. לימים התגלה המאביק והוא אכן התאים לתיאורו של דארווין. כיצד, לדעתכם, ניחש דארווין את מבנהו של המאביק?

4. נסו לשחזר, בעזרת מנגנון הברירה הטבעית, כיצד עשויה הייתה להתפתח ההתאמה בין אוכלוסיית הפרחים הצרים והעמוקים לבין אוכלוסיית הפרפרים המאביקים אותם.

לשינויים המתרחשים במקביל בשתי אוכלוסיות (או יותר) של יצורים שונים, כאשר שינויים בתכונותיהם של יצורים באוכלוסייה אחת משפיעים על האבולוציה של היצורים באוכלוסייה האחרת, קוראים קו-אבולוציה. כל אוכלוסייה מהווה חלק מהסביבה של האוכלוסייה האחרת ולכן הן מפעילות לחצי ברירה זו על זו.

5. איזו בעיה יכולה להיווצר כתוצאה מהתאמה שנוצרה בתהליך של קו-אבולוציה בין מבנה הפרח למבנה החרק המאביק אותו?

6. הביאו דוגמה נוספת ליצורים שעברו קו-אבולוציה. נסו לשחזר כיצד התפתחו.

מהו גילו של כדור הארץ?

אחת מהנחות היסוד של דארווין, שהסתמכה על מחקרים מתחום הגיאולוגיה, הייתה שכדור הארץ נוצר לפני מיליוני שנים. אך בזמנו של דארווין סברו רוב האנשים, שגילו של כדור הארץ הוא כחמשת אלפים שנה. זו הייתה בעיניהם הוכחה ניצחת כנגד רעיונות האבולוציה והברירה הטבעית: הרי לא ייתכן שהמנגנון שדארווין הציע (הצטברות שינויים קטנים לאורך דורות) התרחש במשך זמן כה קצר.

1. מדוע חייב היה דארווין להניח שגילו של כדור הארץ גדול מ-5000 שנה?

כיום, יכולים מדענים להעריך את גילו של כדור הארץ בעזרת שיטות מדידה מדעיות. גילו של כדור הארץ מוערך כיום בכ-4.5 ביליון שנה (4,500,000,000).

2. העדות הראשונה לקיומו של יצור חי היא מלפני 3.5 ביליון שנה. מה תוכלו לומר על גילם של היצורים החיים לעומת גיל כדור הארץ?

כפי שראינו, תהליכי הברירה הטבעית יכולים להביא להתאמות מופלאות ומורכבות עד מאוד בין יצורים חיים לסביבתם, אך מסתבר שלא כל היצורים מותאמים לסביבתם בצורה כל כך טובה.

האם הכול מושלם?

אווזים הם בדרך כלל עופות מים נודדים. הם מצוידיים בקרומי שחייה מפותחים בין אצבעות הרגליים המאפשרים להם לשחות. אווז הוואי (*Branta sandvicensis*), לעומת זאת, אינו שוחה ואינו נודד למרחקים. התקדמותו נעשית בעיקר בהליכה. רגליו ארוכות ואצבעותיו חזקות (יחסית למינים אחרים של אווזים) והן מותאמות להליכה מרובה. אבל למרות התאמות אלה, אווז הוואי אינו מותאם לחלוטין לסביבתו. הוא חי בעיקר על משטחי לבה, בית גידול יוצא דופן למדי עבור אווז, ולמרות זאת הוא מצויד בקרומי שחייה. לא זו בלבד שהקרומים אינם מקנים לו יתרון, אלא שהם מהווים חיסרון להולכים על משטחי לבה. הם מקטינים את גמישות האצבעות ונחתכים בקלות מהמשטח הקשה והמחוספס.



אווז הוואי.

1. כיצד אפשר להסביר את ההתאמה הלא מושלמת של אווז הוואי לבית גידולו? האם לא התרחש כאן תהליך של ברירה טבעית? נסו להסביר.
2. מדוע, לדעתכם, לא נוצרו אווזים ללא קרומים בתהליך של ברירה טבעית?
3. האם, לדעתכם, יתפתחו בעתיד אווזים נטולי קרומים? הסבירו.

כדאי להדגיש שבתהליך הברירה הטבעית נבררים המותאמים ביותר מתוך מגוון האפשרויות הקיימות. חומר הגלם לברירה הטבעית הוא השונות הקיימת באותו זמן בין הפרטים, ולכן מדובר בתהליך שפועל תחת אילוצים. חשבו על אדם שבונה שולחן אוכל. כל שעומד לרשותו הוא שני כיסאות ישנים שלאחד מהם יש רגל אחת הקצרה יותר מהשאר. האיש יכול, למשל, לקצר את הרגליים של שני הכיסאות לפי גובהה של הרגל הקצרה ביותר, להיפטר מהמשענות ולהצמיד את הכיסאות יחד. הוא יכול גם, במקום לנסר את רגלי הכיסאות, להשלים את גובהה של הרגל הקצרה בעזרת אבן או חבילת עיתונים. על כל פנים, השולחן שיתקבל יתפקד בהצלחה מסוימת בתפקידו החדש, אולם ברור שיהיו בו פגמים: הוא יהיה נמוך למדי, ייתכן שלא יהיה יציב דיו והמשטח העליון שלו לא יהיה רציף. מובן ששולחן כזה יהיה מוצלח פחות משולחן שנבנה מלכתחילה לשמש כשולחן.

האבולוציה פועלת כאותו אדם שמאלתר על הקיים. בתהליך האבולוציה אין יכולת לצפות מה יידרש בהמשך. אין יכולת "לתכנן" את הצעדים וליצור את היצורים החיים יש מאין. האבולוציה פועלת על מה שקיים. הדבר מביא לעתים לשרידתם ולשגשוגם של יצורים שהתאמתם לסביבה אינה מושלמת, ואפילו מאולצת לפעמים. דוגמה לכך היא צוואר הג'ירפה. למרות היתרונות שמקנה הצוואר הארוך, די להביט בג'ירפה המתכופפת לשותות כדי להבחין בקושי הגדול שנגרם על ידי אותו צוואר.



לג'ירפה קושי גדול בכיפוף הצוואר.

בעוד שבאדם המרחק בין הראש ללב הוא כ-40 ס"מ, אצל הג'ירפה מגיע מרחק זה ליותר משני מטרים! כדי שהדם יגיע לראש הג'ירפה ויזרום למרחק כה גדול בניגוד לכוח המשיכה, הלב מזרים אותו בלחץ גבוה מאוד. וכך, כאשר הג'ירפה מתכופפת כדי לשתות, עולה לחץ הדם בראשה אף יותר, ונימי הדם שבראשה היו יכולים להיות נתונים לסכנת התפקעות אלמלא ההתאמות שהג'ירפות מצוידות בהן.

כיום סבורים, שבעיות הגב התחתון שמהן סובלים רוב האנשים בשלב מסוים של חייהם נובעות מעומס יתר על השלד. עומס זה נובע מהעובדה שהאדם הולך זקוף, על שתי רגליו. היתרונות של הליכה זקופה ברורים: טווח הראייה גדל, הידיים פנויות לפעולות מגוונות כמו בנייה, שימוש בכלים ועוד. לו היו התהליכים האבולוציוניים פועלים בהתאם למטרה ולתכנון מראש, היה נוצר, אולי, שלד המותאם יותר לשאת את משקל הגוף הזקוף. אלא שהאבולוציה פועלת בשלבים, על מבנים קיימים, ולכן השלד שלנו מותאם להליכה זקופה, אך אינו מושלם.

דוגמה נוספת היא אזור הגרון אצל האדם שמשמש גם להכנסת מזון וגם להכנסת אוויר אל הגוף. סמיכות הפתחים של הוושט ושל קנה הנשימה שלנו התקבלה במהלך האבולוציה והיא רחוקה משלמות. קרבה זו יכולה להיות מסוכנת ואף קטלנית בגלל מזון שעלול להיכנס לקנה הנשימה.

נוסף על כך, כפי שכבר ראינו (למשל, במקרה של חטי הפילים), הברירה הטבעית פועלת בתגובה ללחצי ברירה שונים ולעתים מנוגדים. אי השלמות נוצרת לעיתים מפשרה בין לחצי הברירה.

● במה נבדל תהליך האבולוציה מהתהליך שבו אדם בונה שולחן מכיסאות?

האם רק הברירה הטבעית משפיעה על הישרדות?

אופס, דרכו עלי

במהלך התרגיל הבא נצפה שוב באוכלוסיית החרזנים ונראה מה קורה לה כאשר מופיע בשטח עדר פרות שתוך כדי צעידתן בשדה, רומסות למוות חרזנים. לצורך המשחק נחליט שבכל שנה נרמסת מחצית מאוכלוסיית החרזנים. אך בכל שנה האוכלוסייה, המתרבה ברבייה אל-זוויגית, גם מכפילה את עצמה: פעם בשנה כל חרזן מעמיד צאצא אחד הזהה לו בדיוק.

מהלך העבודה

במהלך ההדמיה ייצגו חרוזים את החרזנים, בד פרחוני ייצג את שדה הפרחים שהם חיים בו ואתם תייצגו את עדר הפרות.

1. פזרו באופן שווה 20 חרזנים מכל צבע (40 בסך הכול) על הבד הפרחוני שקיבלתם.

2. מהי השכיחות באחוזים של כל אחד מצבעי החרזנים?

חשבו כך: מס' החרזנים מצבע מסוים $\times 100$

סך כל החרזנים משני הצבעים

3. רמיסת החרזנים על ידי הפרות נעשית בדרך זו: עיניו של נציג מהקבוצה יהיו מכוסות, והוא יהיה הפר הרומס. על אצבעו יהיה כרוך נייר דבק באופן שקצהו הדביק יופנה כלפי חוץ. הוא ייגע בבד כך שיידבקו אליו חרזנים, ואז יכניס נציג אחר את החרזנים שנדבקו לקופסה. הרומס ימשיך להדביק לאצבעו חרזנים עד שבתוך הקופסה יהיו 20 חרזנים (אם עלה המספר מעל ל-20, יוריד הנציג באופן שרירותי חרזנים ויחזירם לשדה עד שיתקבל המספר המבוקש).

4. ספרו כמה חרזנים נשארו מכל צבע וחשבו יחס כמותי באחוזים.
5. בשלב זה בצעו את הרבייה של החרזנים בדרך זו: הכפילו את מספר החרזנים שנותרו על הבד בהתאם לצבעם. אם, למשל, נותרו על הבד 7 חרזנים צהובים, הוסיפו 7 חרזנים צהובים חדשים.
6. אספו את כל החרזנים ופזרו אותם על הבד באופן אחיד.
7. חזרו על שלבים 2-6 פעמיים נוספות (כך שבסך הכול תהיה הדמיה של שלושה דורות). 8. מלאו את הטבלה:

		צבע 1	צבע 2
אוכלוסייה התחלתית	מס' החרזנים	20	20
דור 1	יחס מספרי באחוזים	50	50
	מס' החרזנים שנותרו אחרי הרמיסה		
דור 2	יחס מספרי באחוזים		
	מס' החרזנים שנותרו אחרי הרמיסה		
דור 3	יחס מספרי באחוזים		
	מס' החרזנים שנותרו אחרי הרמיסה		
	יחס מספרי באחוזים		

עיבוד התוצאות

1. לאילו פרטים באוכלוסיית החרזנים היה יתרון בסביבה? מדוע?
2. שרטטו גרף עמודות שיציג את התוצאות. ציר ה-X ייצג את מספר הדור וציר ה-Y את אחוז השורדים. לגבי כל דור שרטטו שתי עמודות - עמודה לכל אחד מצבעי החרזנים.
3. מה קרה לאחוז החרזנים מכל צבע לאחר שלושה דורות?
4. האם השתנה הרכב האוכלוסייה מבחינת הצבעים?
5. כיצד אפשר להסביר את התוצאה?
6. השוו את התוצאות שקיבלתם עם תוצאות שאר הקבוצות. האם צורת הגרפים שלכם זהה? הסבירו.
7. מה היה קורה, לדעתכם, אילו היינו ממשיכים ברמיסה וברבייה עוד כמה דורות?
8. האם יכול להיווצר מצב שבו כל האוכלוסייה תהיה בצבע מסוים אחד לאחר מספר דורות? (התנאים נשארים אותם התנאים - האוכלוסייה נתונה לרמיסה אך לא לטריפה).

השוואה - הישרדות אקראית מול הביררה הטבעית

- השוו בין הגרפים שקיבלתם בהדמית החרזנים שערכתם בפרק ה' (שדימתה טריפה על ידי ציפורים) לבין הגרפים בהדמית החרזנים שביצעתם זה עתה (שדימתה רמיסה על ידי פרות).
1. מדוע הגרפים של הדמית הציפורים הטורפות היו דומים יותר אלה לאלה בין הקבוצות השונות בכיתה, ואילו הגרפים של הדמית הפרות שונים אלה מאלה?
 2. מה היה קורה, לדעתכם, אילו בשדה החרזנים היו בו־זמנית גם ציפורים טורפות וגם פרות?
 3. השוו בין שתי ההדמיות למציאות.

מתברר, שגם למזל יש השפעה מכרעת על הישרדותם של פרטים. חשבו על הדוגמאות הבאות:

- כשבחנו את כשירותם של האריות (בפרק ד), קבענו שליאון היה האריה הכשיר ביותר, כיוון שהעמיד את מספר הצאצאים הרב ביותר שהגיעו לבגרות. ליאון מת מדלקת ברגלו בגיל תשע, אך נניח שמסיבה אקראית לחלוטין היה ליאון מת מאותה דלקת בגיל שנתיים, לפני שהספיק להעמיד צאצאים, הרכב אוכלוסיית האריות היה שונה.

- בקבוצת יעלים, למשל, יכול לשרוד פרט שהוא איטי יחסית לפרטים אחרים, רק משום שבמקרה הנמר שחי באותה סביבה לא נתקל בו. פרט זה יעמיד צאצאים, ותכונותיו ישפיעו על הרכב הקבוצה בעתיד.

- בשדה פרחים יכול להיקטף במקרה הפרט המותאם ביותר לסביבתו. כל תכונותיו המופלאות לא יעזרו לו במקרה כזה, והוא לא יוכל להוריש אותן לדורות הבאים.

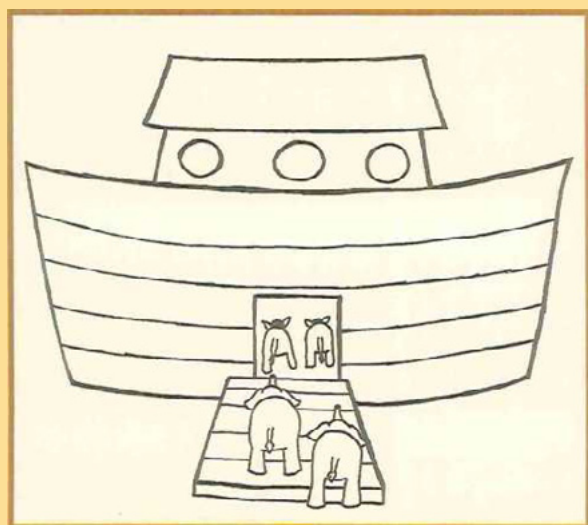
מדוגמאות אלו אנו למדים כי שינויים בהרכב התכונות של אוכלוסיות יצורים לאורך דורות מושפעים גם מתהליכים אקראיים. הישרדות ורבייה, אם כן, אינן רק תוצאה של תהליך הברירה הטבעית בו שורדים ומתרבים המותאמים ביותר, אלא גם של מזל פשוט.

השינוי בהרכב אוכלוסיות כתוצאה מהישרדות ורבייה אקראיים נקרא סחיפה גנטית (המילה "סחיפה" באה לציין תהליך אקראי, חסר כיוון. חשבו על אדם שנסחף בים). בעקבות סחיפה גנטית, מסולקים פרטים מסוימים ונותרים אחרים, פרטים מסוימים מתרבים ומעמידים צאצאים ואחרים לא, ללא קשר לתכונותיהם ולהתאמתם לסביבה. לכאורה, הסחיפה סותרת את עקרונות הברירה הטבעית, שלפיהם המתאימים הם אלה ששורדים ומעמידים את מספר הצאצאים הגדול ביותר. למעשה, הסחיפה היא כוח נוסף שפועל במקביל על אוכלוסיות ללא קשר לברירה הטבעית.

במציאות המורכבת פועלים על אוכלוסיות תהליכים רבים במקביל. יצורים חיים יכולים להיות נתונים למגוון של לחצי ברירה, שנובעים מתנאי האקלים, מנוכחות טורפים, מזמינות של מזון מסוים ועוד. נוסף על כל אלה הם נתונים לתהליכים אקראיים של סחיפה גנטית, שכתוצאה מהם שורדים ומתרבים פרטים ללא קשר לתכונותיהם.

בעוד שלא תמיד קיימים בסביבה לחצי ברירה, ולא תמיד קיימת באוכלוסייה שונות בתכונות הרלבנטיות ללחצי הברירה בסביבה, הסחיפה הגנטית מתרחשת כל הזמן: היא אינה תלויה בשונות באוכלוסייה ולא בתנאי הסביבה. היא משפיעה על הרכב התכונות באוכלוסייה בכל מיני כיוונים. התוצאה של ברירה טבעית היא התאמה טובה יותר של האוכלוסייה לסביבה, בעוד שסחיפה גנטית אינה מובילה בהכרח להתאמה כזאת.

על פי הסיפור המקראי, נוח אסף לתיבתו שני פרטים מכל מין, זכר ונקבה. זוגות אלו הם שהעמידו את דורות הצאצאים הבאים ומהם התפתחו קבוצות היצורים. אפשר לחשוב על סיפור זה כעל דוגמה לסחיפה גנטית. מאחר שנכח פעל בלוח זמנים צפוף, סביר שאסף אל התיבה את הפרטים שהיה קל ופשוט ביותר לתפוס, אולי אפילו את האיטיים או החלשים ביותר או את אלו שהזדמנו לאזור לג' מרי במקרה. אוסף מקרי זה הוא שהיווה את הבסיס להרכב האוכלוסיות בדורות הבאים.



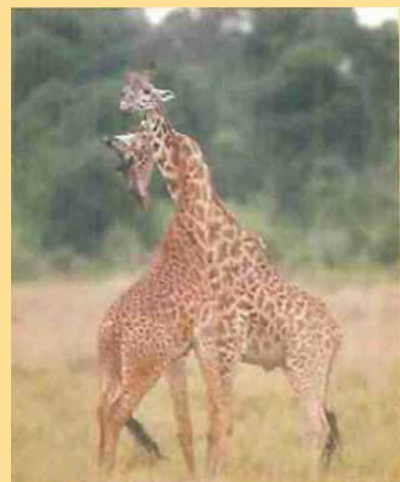
אז האם אפשר לשחזר את העבר?

מחקרים רבים בתחום האבולוציה עוסקים בהתאמות של יצורים לסביבתם. בפרק זה בחנו כמה דוגמאות של התאמות מורכבות וייחודיות וניסינו לשחזר את התהליך שהביא ליצירתן. אך למעט מקרים מעטים יחסית שבהם אפשר לעקוב אחר הברירה הטבעית בפעולה (חלקם הובאו בפרק 1), רוב ההתאמות התפתחו (או התחילו להתפתח) בעבר הרחוק, לפני מיליוני שנים. מכאן, שבדרך כלל אנו מנסים לשחזר תהליך זמן רב לאחר שהתרחש. לעתים יש בידינו עדויות לחלק מההשערות, אך נראה שיש דברים שלעולם לא נוכל לדעת בוודאות.

לא תמיד ידוע לנו, למשל, איזה יתרון הקנתה תכונה מסוימת לבעליה. איזה יתרון מקנות הדבשת לגמל או הרגליים המרובות למרבה הרגליים? אפשר כמובן להעלות השערות לגבי יתרונות אפשריים, אולם לא תמיד אנחנו יכולים להיות בטוחים בהן.

על היתרון שמקנים הפסים לזברה חלוקות הדעות בין המדענים. יש הטוענים כי דגם הפסים מקנה יתרון בחיזור, ויש הטוענים כי דגם זה מקשה על זבוב הצה-צה למקד את ראייתו ולעקוץ את הזברה.

לעתים יכול קיומה של תכונה מסוימת להיות מוסבר על ידי יותר מיתרון אחד: אמרנו, למשל, שצווארן הארוך של הג'ירפות קנה להן יתרון בכך שהוא אפשר להן למצוא מזון על ענפים גבוהים. אולם ישנם חוקרים רבים הסבורים שלצוואר ארוך וחסון יש יתרון אחר: נמצא, שצוואר הג'ירפות הזכרים ארוך בממוצע ב-30-40 סנטימטרים מצוואר הנקבות, וכן שהזכרים חובטים זה בצווארו של זה כאשר הם נלחמים, לעיתים אפילו עד מוות. "תכן, אם כן, שהצוואר הארוך מקנה יתרון לזכרים במלחמתם עם זכרים אחרים על הנקבות. תימוכין לכך נמצאו בעובדה שנקבות הג'ירפות אכן מעדיפות זכרים בעלי צוואר חסון.



שני פרטים זכרים בעת עימות.

ומה היתרון במבנה האף הבולט שלנו?

פאנגלוס, גיבור ספרו של וולטר, טען: "ברור שאפים נבראו לצורך הרכבת משקפי צבת (משקפיים ללא 'ידידות'), ועל כן אנחנו מרכיבים משקפי צבת. רגליים בבירור נועדו לצורך ביריות (גרביים), ועל כן אנחנו לובשים ביריות". הניסיון למצוא תמיד הסבר ליתרון של תכונה מסוימת יכול להיות, אם כן, אפילו מגוחך. לאור מה שלמדנו על הסחיפה הגנטית, ייתכן שהוא נדון לכישלון: לא כל תכונה שאנו מוצאים כאן ועכשיו, עברה בהכרח ברירה טבעית. לא לכל תכונה שאנו רואים יש יתרון. ייתכן שהיא שרדה בעקבות תהליכים אקראיים, ודי בכך שלא היה בה חיסרון ממשי שגרם לירידה בכשירותו של בעליה.

ייתכן אפילו שבשלב מסוים באבולוציה של יצורים חיים נוצרו דווקא תכונות מתאימות יותר (למשל, אוזניים בלי קרומי שחיה בהוואי), אך הן לא שרדו בגלל תהליך אקראי כלשהו שהכחיד אותן (כמו טורף, שיטפון או רעידת אדמה שהכחידו את היצור שהופיעה אצלו במקרה התכונה המתאימה יותר לפני שהעמיד צאצאים).

שאלות לסיכום

1

נסו לשחזר את השלבים השונים בהתפתחותן של כנפי התעופה הראשונות.

2

לו היה מסתבר ממחקרים מדעיים שגילו של כדור הארץ הוא רק 10,000 שנה, האם היה נתון זה מפריך את רעיונותיו של דארווין? בחרו את אחת האפשרויות הבאות והסבירו את קביעתכם.

א. הנתון היה מפריך. רק פרק זמן ארוך ביותר יכול לאפשר את הצטברותם של שינויים אקראיים עד ליצירתם של המבנים וההתנהגויות המורכבים, שאנו רואים כיום, בעיקר בקרב יצורים שמשך הדור שלהם ארוך.

ב. הנתון החדש לא היה מפריך. סביר שמבנים והתנהגויות מורכבים נוצרו בבת אחת על ידי מוטציה יחידה.

ג. אין כל קשר בין מנגנון הברירה הטבעית שהציע דארווין לבין גיל כדור הארץ.

3

לו היו מוצאים בשכבת אדמה שגילה הוא כ- 3.5 ביליון שנה (סמוך לזמן בו הופיעו היצורים החיים הראשונים) מאובן של יצור בעל איברים משוכללים מאוד, האם ממצא זה היה מפריך רעיונותיו של דארווין? הסבירו.

4

לו היינו חוזרים אחורה בזמן, למשל לתקופת הג'ירפות קצרות-הצוואר, האם בהכרח היו מתפתחות בסופו של דבר ג'ירפות ארוכות-צוואר? הסבירו.

5

השוו בין מנגנון הברירה הטבעית לסחיפה גנטית. התייחסו לתהליך עצמו ולתוצאותיו.

6

חשבו על עיצוב ארון על ידי נגר לעומת הסבת רהיט קיים לארון. איזה כיסא סביר שייראה טוב יותר וימלא את תפקידו בצורה מוצלחת יותר? איזה מהתהליכים הייתם בוחרים כאנלוגיה לתהליך הברירה הטבעית? הסבירו את תשובתכם.

סיכום

ראינו, ששינויים יכולים להצטבר כך שצאצאי הצאצאים יכולים להיות שונים יותר ויותר מהמקור. היכולת לצבור שינויים מאפשרת יצירה הדרגתית של מבנים ומערכות מורכבים ביותר, שלא היו יכולים להיווצר בבת אחת.

ראינו גם שלא כל היצורים מותאמים לסביבתם בצורה מושלמת מאחר שהברירה הטבעית פועלת מתוך אילוצים. ניתן אפילו לומר, שמרוב אילוצים ניתן למצוא אי-שלמויות בכל היצורים סביבנו.

נוכחנו לדעת, שבמקביל לכוח המכוון של הברירה הטבעית קיים גם כוח לא פחות חשוב והוא הסחיפה הגנטית. וכך, בעוד שהברירה הטבעית היא כוח כיווני, המוביל להתאמה הולכת וגדלה לתנאי הסביבה, הסחיפה הגנטית היא כוח שפועל באופן אקראי, ללא קשר לסביבה ולשונות הקיימת באוכלוסייה.

מפת למידה:



מותר האדם האם האדם עובר אבולוציה כמו שאר היצורים?



הסתכלו על התמונות שלפניכם. האם תוכלו להבחין בין הילדים? סביר שלא במבט ראשון. הם נראים דומים כל כך. אנשים מערביים מתקשים בדרך כלל להבדיל בין אנשים אסיאתיים או בין אנשים אפריקניים כי הם אינם רגילים למראה שלהם. גם ההיפך נכון: אסיאתיים ואפריקניים מתקשים להבחין בהבדלים בין אדם מערבי אחד למשנהו. מובן, שהקושי נעוץ בהרגלים שלנו ולא בהיעדר שונות באוכלוסייה.

- נניח שאתם רואים מרחוק קבוצה של תלמידים. על פי אילו תכונות תזהו תלמיד מסוים? ציינו לפחות חמש תכונות.
- איזו שונות קיימת בקרב בני אדם? ציינו 10 תכונות המבדילות בין אנשים.

האם יש אנשים כשירים יותר וכשירים פחות?

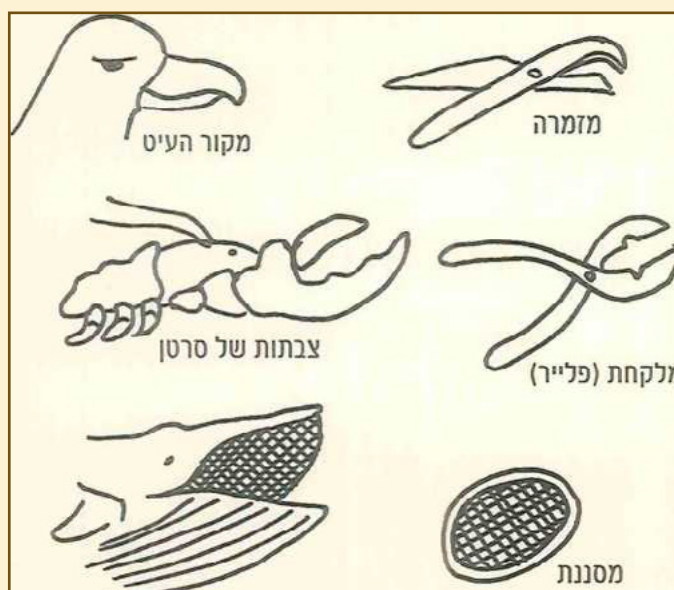
1. מחלת הטאי זקס היא מחלה תורשתית שגורמת למוות בגיל צעיר. האם מחלת הטאי זקס משפיעה על כשירות החולים בה (כלומר, על ההישרדות או הרבייה שלהם)? כיצד?
2. אלצהיימר היא מחלה המופיעה אצל אנשים בני חמישים ומעלה, ומתבטאת בהתנוונות תאים של המוח. האם מחלת האלצהיימר משפיעה על כשירותם של החולים בה? הסבירו.

3. המופיליה היא מחלה תורשתית שנובעת מפגם במנגנון הקרישה של הדם. בעבר מתו החולים בה בגיל צעיר מאוד, אולם כיום, בזכות תרופות וטיפולים רפואיים, תוחלת החיים של החולים שווה או קרובה לזו של בריאים. האם מחלת ההמופיליה משפיעה על כשירותם של החולים בה? הסבירו.
4. נניח שגם בקרב איילות קיימת מחלה תורשתית כמו ההמופיליה, שפוגעת במערכת קרישת הדם שלהן. האם המחלה תשפיע על כשירות האיילות החולות בה?
5. חשבו מה יקרה לקבוצה של בעלי-חיים או לקבוצת צמחים, במהלך חורף קשה במיוחד, בו הטמפרטורות נמוכות בהרבה מהרגיל באזור. חשבו מה יקרה לקבוצה של בני-אדם במהלך חורף כזה.
6. חשבו, מה קרה לג'ירפה בעלת צוואר קצר, שלא הצליחה להגיע לעלים הגבוהים של העצים בתקופה שהיצע המזון במקומות הנמוכים הידלדל? ומה קרה לאדם הקדמון, כשלא הצליח להגיע לפרי שגדל על עץ גבוה?
7. כיצד משיג האדם המודרני את מזונו?

מהר יותר, גבוה יותר, חזק יותר

בשאלות האחרונות הצגנו מצבים בהם האדם מתמודד עם אתגרים טוב בהרבה מיצורים אחרים. בשלושת המ-קרים-מחלת ההמופיליה, חורף קשה במיוחד והשגת מזון-האדם משפר את יכולותיו הטבעיות בעזרת אמצעים מלאכותיים. טיפולים רפואיים, בתי מגורים, פריטי לבוש, כלים ומכשירים - את כל אלה האדם מפתח, יוצר וממציא כדי שיסייעו לו להתקיים ולהתמודד עם תנאי הסביבה. במילים אחרות, האדם מוצא פתרונות טכנולוגיים, שהופכים אותו לפחות מושפע משינויי הסביבה, יחסית לבעלי-החיים או לצמחים.

איברים של בעלי חיים לצד כלים שהאדם יוצר על מנת לשפר את יכולותיו.



● הדוגמאות הבאות מציגות בעיות קיומיות, שהאדם פותר באמצעים טכנולוגיים. לגבי כל בעיה, תארו את הפתרונות הטכנולוגיים שהאדם פיתח, וציינו כיצד הם משפרים את כשירותו. הסבירו מה היה קורה ללא אמצעים אלה, ומה קורה אצל שאר היצורים החיים במצבים כאלה.

1. עקרות (אי פוריות).

2. נכות.

3. מחלות.

4. חיים באקלים קר או חם.

5. השגת מזון.

● הביאו דוגמאות נוספות של פיתוחים טכנולוגיים המשפרים (או שיפרו בעבר) את ההישרדות והרבייה של האדם.

האם הטכנולוגיה מבטלת את השפעתה של הברירה הטבעית על האדם?

1. הסתכלו שוב בטבלה המציגה את משקלי היילודים החיים שנולדו במרכז הרפואי כרמל בחיפה בשנים 2001-2002 (עמ' 24). נסו לשער, כיצד תיראה טבלה כזאת בקרב ילודים חיים שנולדו באותן שנים בחברות אנושיות שאינן טכנולוגיות (כלומר, אין בהן ניתוחים קיסריים, אינקובטורים וכו').

2. האם מנגנון הברירה הטבעית עדין פועל, לדעתכם, על משקלי יילודים בעולם המערבי? הסבירו.

3. חברות לא טכנולוגיות – כמו, למשל, שבטי ציידים באפריקה או מלקטי מזון באוסטרליה – משקפות במידה רבה את החברה האנושית כולה כפי שהייתה בעבר הרחוק, ולכן אפשר ללמוד מהן על החברה האנושית הקדומה. אילו תכונות משפיעות בחברות אלה על הכשירות?

מלאו את הטבלה הבאה: הסבירו לגבי כל תכונה כיצד היא משפיעה (והשפיעה) על סיכוייו של בעליה לשרוד ולהעמיד צאצאים. האם בחברות מערביות יש לתכונות אלה אותה השפעה על ההישרדות?

השפעתה על הכשירות בחברות המערביות	השפעתה על הכשירות בחברות לא טכנולוגיות ובחברה של האדם הקדמון	התכונה
		שרירים מפותחים (חוזק)
		ריצה מהירה
		תבונת כפיים
		פוריות גבוהה
		יכולת הנקה טובה

4. הביאו דוגמאות נוספות לתכונות שהשפיעו בעבר על הכשירות ואשר השפעתן כיום פחותה. הסבירו מדוע השפעת התכונות כיום פחותה.

התפתחות הטכנולוגיה

בחרו אחד מהנושאים הבאים (או נושא דומה שמעניין אתכם) והכינו כרזה המתארת את התפתחות הטכנולוגיה הקשורה בו. התחילו באדם הקדמון והתקדמו על ציר הזמן עד לאדם המודרני.

הנושאים:

1. התמודדות עם רעידות אדמה והתפרצויות הרי געש

2. התמודדות עם פגעי מזג אוויר (למשל, בצורת, קור עז, שריפות, שטפונות)

3. השגת מזון

4. מחלות



כל בעל חיים משאיר עקבות המעידות על פעולותיו. האדם משאיר גם עקבות של מה שיצר.

מעניין את הסבתא שלך

ערכו ראיון עם אדם מבוגר (אחד או יותר) בנושא: השינוי באמצעים הטכנולוגיים עם הזמן.

המרואין יכול להיות אחד ההורים, סבא או סבתא, סבא רבא או סבתא רבתא או כל מבוגר אחר. שאלו את המרואין, אילו שינויים טכנולוגיים חלו בתחומים שונים של החיים מאז שהיה ילד ועד היום. רשמו את השינויים והציגו אותם בפני הכיתה.

סכמו בביתה את הראיונות שערכתם. האם לשינויים שגיליתם יש או הייתה השפעה על כשירותם של בני האדם? אם כן, הסבירו מהי. אם לא, נסו להגדיר על מה כן השפיעו. מה תוכלו להסיק מהראיונות שערכתם לגבי התפתחות הטכנולוגיה?

- חוו את דעתכם על המשפט הבא: מותר האדם איננו יכולתו להסתגל לסביבתו אלא יכולתו לסגל את סביבתו אליו. האם אתם מסכימים עם המשפט? הסבירו והביאו דוגמה.

במקרים רבים, הפיתוח הטכנולוגי יוצר גם בעיות. התפתחות אמצעי התחבורה, למשל, הובילה ליצירת מכונות ומטוסים שמעורבים לעתים בתאונות קטלניות. שימוש בעץ לבנייה ולייצור רהיטים גורר אחריו כריתה מסיבית של יערות ופוגע במקורות החמצן העולמי. פיתוח כלי נשק קוטל אנשים ועלול אפילו, במקרה של שימוש בפצצת אטום, להביא לכלייה של המין האנושי.

- הביאו דוגמאות נוספות לחסרונות או לסכנות שנגרמות על ידי הטכנולוגיה.

- כיצד ניתן, לדעתכם, לצמצם את הבעייתיות? הסבירו.

ההימנעות מנזקי הטכנולוגיה קשורה ביכולתו הייחודית של האדם לחשוב על מעשיו, לבקר אותם ולתכנן את עתידו. בכל אלה עוסק החלק הבא של הפרק.

ערך מוסף

1. האם יש תכונות שאינן משפיעות על הכשירות של בני אדם? ציינו שלוש תכונות כאלה.
2. האם, לדעתכם, גובה משפיע על הכשירות בבני אדם? הסבירו.

קראו את הסיפור הבא:

משרה ממשלתית בסין היא דבר מבוקש ביותר. לאחרונה, הוחלט שם כי רק נשים מעל לגובה של 1.60 מ' וגברים מעל לגובה של 1.70 מ' יכולים להתקבל למשרה ממשלתית, בטענה שאנשים גבוהים הם ייצוגיים יותר. בעקבות ההחלטה, הפכו רווקים ורווקות גבוהים למבוקשים יותר לצורך נישואים ואילו הנמוכים למבוקשים פחות. מסתבר שהדבר השפיע על צעירים שעמדו להינשא, ורבים מהם ביטלו את נישואיהם לבני זוג נמוכים!

זהו סיפור אמיתי.

3. מהי מסקנתכם לגבי הקשר בין גובה לכשירות בבני אדם?
4. האם, לדעתכם, סוג דם משפיע על הכשירות בבני אדם? הסבירו.
5. מה המשותף לשתי הדוגמאות האחרונות – הגובה וסוג הדם?
6. האם תוכלו לחשוב על דוגמה נוספת בה הכשירות בבני אדם מושפעת מנורמות או ממנהגים? הסבירו את הדוגמה שבחרתם.
7. נסו לתאר חברה שבה מחלת האלצהיימר משפיעה על הכשירות.
8. האם קיים קשר בין כל אחת מהתכונות הבאות (שאינן תורשתיות) לבין כשירות בעליהן?
 1. העובדה שאדם עשיר.
 2. המקום בו אדם חי (התייחסו לכפר נידח לעומת עיר גדולה, למשל).
 3. העובדה שאדם הוא אתלט מוכשר.

כמו שראינו, ההגדרה הביולוגית ל"הצלחה" קשורה למספר הצאצאים שהפרט מעמיד. אך האדם אינו רק בעל חיים שמושפע מגורמים ביולוגיים. הוא חי בחברה שיש לה נורמות וערכים, המשפיעים על התנהגותו, ובניגוד לשאר היצורים האחרים יש לו יכולת בסירה. גם אם יש לו נתונים ביולוגיים שמאפשרים לו להעמיד הרבה צאצאים (חוזק, פוריות, אמצעים להזין אותם וכו') הוא בוחר לעתים קרובות שלא לממש את מלוא יכולתו. להגדרה "הצלחה" בחברה האנושית אין כמעט קשר להגדרה הביולוגית. עבור כל אדם, הצלחה נמדדת באופן אחר: יש שעבורם הצלחה קשורה ביצירה, אצל אחרים בכסף או בפרסום. יש שתופסים הצלחה כיכולת להגשים את עצמם בעבודה או לחיות חיים רוחניים. יש אנשים שעבורם הצלחה נמדדת בהגשמת יכולת הפוריות. עבור רוב האנשים הצלחה היא שילוב של כמה תחומים.

האדם כיצור חברתי

- איזה יתרון יש לעובדה שהאדם הוא יצור שחי בחברה? חשבו על השגת מזון, התגוננות מפני אויבים, הקמת מקום מחסה וגידול ילדים. הסבירו את היתרונות והביאו דוגמאות נוספות.

בחברה האנושית, לא כל אחד צריך את כל הידע והכישורים כדי להצליח. מספיק שבכפר מסוים יהיה רופא ילדים אחד ומורה אחד כדי לרפא את החולים וללמד את הילדים. אין צורך שכל אחד מהתושבים ידע לרפא וללמד. החברה האנושית מבוססת, אם כן, על התמחות. לכל אדם ההתמחות שלו – בהוראה, רפואה, עריכת דין, מסחר, כיבוי אש, ציד, בנאות, נגרות וכדומה. בצורה כזו, כל אחד מהאנשים בחברה תורם את כישוריו ונהנה מהכישורים של אחרים.

- אילו תכונות וכישורים מאפשרים לאדם להיות יצור חברתי?
- מיינו את התכונות והכישורים שהצעתם לתכונות תורשתיות ולתכונות נרכשות.
- כיצד מתבצעת למידה? השוו בין בעלי חיים לבני אדם.

העובדה שהאדם הוא יצור חברתי ושכל אחד מהאנשים בחברה תורם את כישוריו ונהנה מהכישורים של אחרים מקטינה את לחצי הברירה הפועלים על הפרט.

- חזרו לשאלה הפותחת את הפרק – האם בני אדם נתונים לברירה הטבעית כמו שאר היצורים? ענו עליה לאור הדוגמאות שבדקתם.

האם האדם יכול להיות נתון לברירה מלאכותית כשאר היצורים?

עד כה עסקנו בשאלה, האם האדם נתון לברירה הטבעית כמו שאר היצורים? אבל אפשר גם לשאול אותה שאלה לגבי ברירה מלאכותית: האם אפשר לשנות את תכונותיהם של קבוצות בני אדם, כמו שאפשר לעשות זאת לגבי כבשים, תותים וכלבים?

בפרק ו' ראינו, שעל ידי ברירה מלאכותית, שבה מכליא האדם רק בין הפרטים שהוא מעוניין בהם ומסלק את הפרטים הלא רצויים, מתקבלות אוכלוסיות של יצורים בעלי תכונות רצויות: חיטה שגרגריה צמודים, סוסים מהירים ועוד.

1. כשאנו מדברים על "אוכלוסיות של יצורים שיש להם תכונות רצויות", מי קובע אילו תכונות הן רצויות?

נשאלת השאלה, האם אפשר לעשות דבר דומה גם בבני אדם? האם אפשר להסתמך על השונות הקיימת באוכלוסיות של בני אדם, כדי לשנות את שכיחותן של תכונות רצויות?

2. נניח שיכולתם לתכנן תברה אידיאלית. תארו אותה. אילו אנשים הייתם רוצים שיחיו בה? תנו לדמיון ולמחשבה שלכם לפעול ללא הגבלות. הציגו את הצעותיכם בדיון בכיתה.
3. כיצד ניתן, לדעתכם, ליצור תברה כזאת (כמו שהצעתם)?

הנה כמה עובדות הסטוריות:

כבר בסוף המאה ה-19 נשמעו קולות שקראו להשביח את המין האנושי. ב-1883 טבע המדען האנגלי גלטון את המונח אאווגניקה, שכוונתו השבחת המין. הוא חילק את האנשים למעמדות ולגזעים – עליונים ותחתונים – והציע לבצע ברירה מלאכותית לטובת היפים, המשכילים והבריאים. גלטון רצה שהמוצלחים יתחתנו בגיל צעיר (כדי שיסיקו להביא לעולם הרבה צאצאים) ויתרבו ביניהם, ואילו הבלתי ראויים (המכוערים, הבורים והחלשים) יעברו לגור במנזרים, שם יקבלו יחס טוב אך תימנע מהם הזכות להתרבות.

1. מה דעתכם על הצעתו של גלטון? התייחסו למטרה ולאמצעים.
2. קראו שוב את הפרק. איזו דוגמה מתארת מצב שבו ניתנת עדיפות כלכלית לאנשים בעלי תכונה מסוימת ובכך מעודדת אותם להתרבות ביניהם?
3. האם יש הבדל בין החברה שמציע גלטון לבין החברה המתוארת בדוגמה שמצאתם?

האירועים המוכרים ביותר בתחום האאווגניקה הם, כמובן, אלה שהתרחשו בגרמניה הנאצית. כבר במאה ה-19 טבעו גרמנים את המונח טוהר הגזע, והכוונה הייתה ליצור תברה על טהרת הגזע הארי המשובח והעליון, לדע-תם. במאה ה-20 החלו הגרמנים גם בפעולות מעשיות. בתחילת שלטונה הורתה המפלגה הנאצית לעקר מפגרים, עיוורים וחרשים (שמחלתם גנטית), חולים במחלת הנפילה או בניוון שרירים, אלכהוליסטים וחולי נפש. בין מחלות הנפש כללה המפלגה הנאצית גם חברות במפלגה הקומוניסטית והתנגדות מצפונית למשטר.

השלב הבא היה רצח של בעלי המומים, המפגרים וחולי הנפש.

ב-1935 נחקקו "חוקי נירנברג" המפורסמים, שאסרו על נישואים בין יהודים, שנחשבו לגזע נחות, לבין גרמנים, שנחשבו לגזע העליון, ואף ביטלו נישואים קיימים. החוקים גם אסרו קיום יחסי מין עם יהודים כדי לא להעמיד צאצאים נחותים.

ב-1942 גובש "הפתרון הסופי" והתחיל הרצח השיטתי של היהודים.

4. האם אתם מכירים מקרים נוספים – מההסטוריה או מההווה – שקשורים לאאווגניקה? מה היו המטרות והאמצעים במקרים אלה?

האאווגניקנים הגרמנים ראו בעצמם מדענים וטענו שעיסוקם הוא מדעי טהור. כמו תומכי אאווגניקה רבים אחרים, גם הם הסתמכו על רעיונותיו של דארווין, וטענו, שהם בסך הכל מאפשרים לחוקי הברירה הטבעית של דאר-וין לפעול גם בחברה האנושית: הם מעדיפים את הפרטים הכשירים ומסלקים מהאוכלוסייה את הפרטים הבלתי כשירים. לפי גישה זו, שנקראה מאוחר יותר דארוויניזם חברתי, מתן עזרה לחלשים ולנזקקים, מדיניות רווחה ומעשי צדקה הם התנהגויות המנוגדות לחוקי האבולוציה והברירה הטבעית. מעשים אלה מאפשרים את קיומם של אנשים לא כשירים, מסייעים להם להעמיד צאצאים ומובילים לכן ליצירת תברה חלשה וחולה.

5. מה דעתכם – האם אכן מדובר בעיסוק מדעי טהור?

ראוי לציין, שדארווין מעולם לא דגל בדארוויניזם חברתי. להיפך, הוא טען, שאחד המאפיינים של החברה האנושית הוא המוסר, ושהעזרה ההדדית והדאגה לחלשים התפתחו במהלך האבולוציה כדי לאפשר לבני האדם לחיות בחברה ולהצליח בה.

החקיקה האאוגנית הראשונה בעולם נעשתה דווקא בשוודיה במאה ה-18, אז נאסר על חולים במחלת הנפילה להינשא. בתחילת המאה ה-20 נחקקו בארה"ב חוקים לעיקור חובה של רפי שכל שחיים בתוך מוסדות של המדינה.

הקטנת הסיכוי ללידה של תינוקות בעלי מומים היא סוג נוסף של אאוגניקה. היא נעשית על ידי אבחון של מומים מסוימים בעובר לפני הלידה (ואז מתבצעת לעיתים הפסקה של ההריון) ועל ידי מניעת חשיפה של העובר לגורמים שמעודדים מוטציות. מכיוון שמרבית המוטציות הן שליליות, הפחתה במספר המוטציות יכולה להביא לירידה בפגמים המולדים. ידוע, למשל, שאלכוהול הוא מוטגן, ולכן המלצה על אי שתיית אלכוהול בקרב נשים בהריון היא צעד אאוגני.

8. האם תוכלו לקבוע אם אאוגניקה היא חיובית או שלילית?

משפט: האם האדם עובר אבולוציה כמו שאר היצורים או שהוא שונה מהם?

ערכו משפט שיעסוק בדיוק בשאלה זו!

1. התחלקו לשלוש קבוצות.

- הקבוצה הראשונה תציג טיעונים שיתמכו בעמדה, שלפיה האדם הוא בעל חיים - מורכב ומפותח, אבל דומה לשאר בעלי החיים ונתון לאותם כוחות אבולוציוניים.

- הקבוצה השנייה תציג טיעונים שידגישו את מותר האדם מהיצורים האחרים ואת העמדה שכוחות אבולוציוניים פועלים הרבה פחות, אם בכלל, על האדם.

- הקבוצה השלישית תהיה חבר המושבעים ותפקידה יהיה לבחון את הטענות ולפסוק.

2. גבשו את טיעוניכם בעזרת הפרק ומקורות אחרים - קטעי עיתונות, סרטי טבע ועוד.

3. הציגו את הטענות בפני חבר המושבעים. הביאו עדים, ראיות וסיפורים שישכנעו את המושבעים לתמוך בעמדתכם.

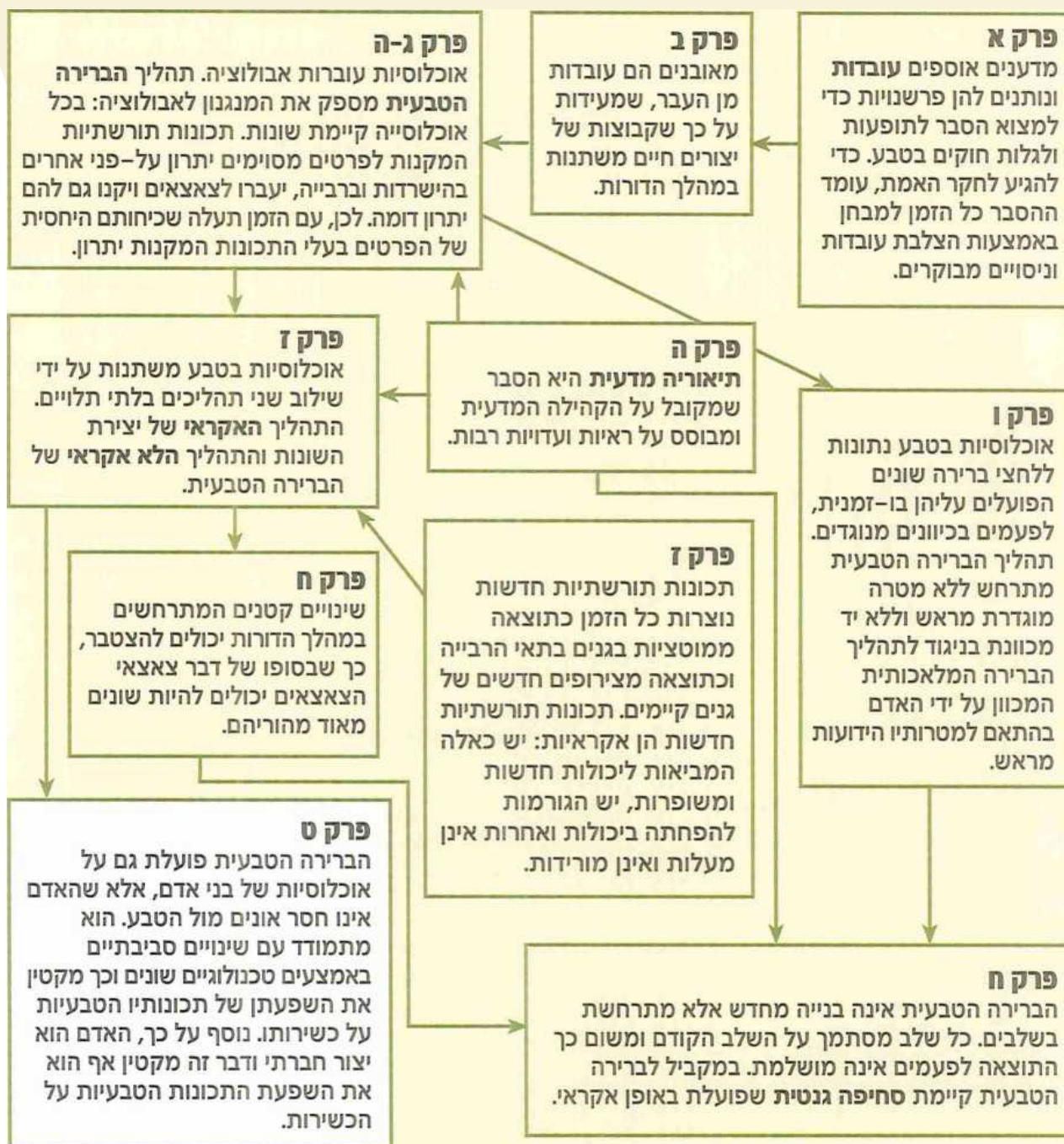
4. עירכו הצבעה בקרב המושבעים.

5. לאיזו מסקנה הגעתם?

סיכום

כמו אצל יצורים חיים אחרים, גם בקרב בני האדם יש כאלה הכשירים יותר וכאלה הכשירים פחות, והברירה הטבעית פועלת גם על אוכלוסיות של בני אדם. אלא שהאדם אינו חסר אונים מול הטבע. יש ביכולתו להתמודד עם שינויים סביבתיים באמצעים טכנולוגיים שונים. הוא מסגל את הטבע אליו ומשנה את הסביבה בהתאם לו. כך הוא מקטין את השפעתן של תכונותיו הטבעיות על כשירותו. נוסף על כך, האדם הוא יצור חברתי: כל אחד מהאנשים בחברה תורם את כישוריו ונהנה מהכישורים של אחרים. דבר זה מקטין אף הוא את השפעת התכונות הטבעיות על הכשירות. האדם מיוחד משאר היצורים החיים גם מבחינה נוספת. אצל בני האדם, הכשירות מושפעת גם מהמנהגים, הנורמות, ההעדפות והערכים של החברה שבה הם חיים.

מאז ומעולם ביקש האדם להשביח באופן מכוון את המין האנושי, ושאפה זו מעוררת דילמות אתיות, מוסריות וחברתיות.



תודתנו לצלמים שהרשו לנו באדיבותם להשתמש בתצלומיהם:

- רן בן־דוד (ארוכות הצוואר)
- עפרה דור (שבט המסאי)
- יותם ורדי (סביונים, פשתה, לוף)
- גלית חגי (עצים מעוצבים, ורדים, פעילות הדשא, פעילות החרזנים, פעילות הריבופים, פרח מואבק על ידי פרפר)
- חנה לוי (תצלומים מפיג'י)
- נגה לנגר (ג'ירפות, משפחת ארוכות הצוואר, שבט המסאי)
- אהוד סנפיר (מאובנים, פרחים ומאביקים)
- אמציה תבואה (סלעי משקע בנחל חבר ובעין כרם, תרמילי בוטנים, שדה פרחים, תפוחי אדמה, נזירים בורמזיים, כד עתיק)
- ענת תבור (כלב קצוץ זנב)
- John Endler (גופים)

תודתנו למאיירי התמונות:

- נועה שטרן (חתול, שכבות מאובנים, הניסוי של וייסמן, נחלים בטרניידד וונצואלה, שודד ים, תיבת נוח, כלים שיוצר האדם)
- אמציה תבואה (בית משפט)
- שיר למדן (קריקטורה)

תודתנו לאתרי האינטרנט שאישרו את השימוש בתמונות:

- http://www.dimijianimages.com/Africa-page1/Africa-p1.htm (אריות, פילים, ג'ירפות בזמן עימות)
- http://perso.wanadoo.fr/papillon.macro/les_exotiques.htm (פרפר העלה המת)
- http://www.dimijianimages.com/Crypsis-mimicry-page1/Crypsis-and-mimicry-page1.htm (פרפר העלה המת מקוסטה ריקה)
- www.feathersite.com/Poultry/NDG/Nene/BRKNene.html (אווז הוואי)
- trainedmonkey.com/week/2002/07 (ג'ירפה מתכופפת)

