



גליון מספר 188 | אוגוסט 2014 תשע"ד

שמורת טבע

עלון מורי הביולוגיה ומורי מדעי הסביבה



המחלקה להוראת המדעים

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



מדינת ישראל
משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף מדעים
הפיקוח על הוראת הביולוגיה



המרכז הארצי
למורי הביולוגיה
ולמורי מדעי הסביבה



אנחנו שמחות לחדש את עלון מורי הביולוגיה ומורי מדעי הסביבה בשמו החדש - שמורת טבע. העלון מוקדש הפעם לנושא אקולוגיה והוא ערוך כך, שתוכלו לקבל טעימה מחזית המחקר באקולוגיה ובהוראת אקולוגיה. בחלקו הראשון תוכלו למצוא ראיונות עם שני חוקרים. הראיונות מובילים על-פי המלצת החוקרים למאמרי מחקר שהותאמו לעלון. בחלקו השני של העלון תוכלו לקבל מעט רעיונות ויישומים להוראת אקולוגיה בכיתה.

קריאה נעימה,
זהר סנפיר וגילת בריל
צוות שמורת טבע

הפיקוח על הוראת הביולוגיה והפיקוח על הוראת מדעי הסביבה מברכים על פרסום העלון הראשון המשותף "שמורת טבע". העלון הוא דרך נוספת ליצור גאווה יחידה וקשר בין המורים. עם פתיחת שנת הלימודים תשע"ה אנו מאחלים הרבה הצלחה, יצירה ושיתוף פעולה.

רותי ואירית

עלון הוא חגיגה. חגיגה של ידע, מראות, רעיונות והרחבת דעת. החגיגה הזו מוקדשת לכם מורי הביולוגיה ומורי מדעי הסביבה. אנו שמחים לפתוח את שנת הלימודים בעלון שיש בו נגיעה הן למחקרים מחזית המדע, הן למחקרים מחזית הוראת המדעים והן לפעילויות הנוגעות באופן ישיר להוראה בכיתה, כולם בנושא האקולוגיה. אנו תקווה שהעלון ישמש אתכם הן כמקור להרחבת הידע האישי והן כאמצעי נוסף להוראה.

שלכם,
רונית רוזנשיין,
מנהלת המרכז הארצי למורי ביולוגיה ולמורי מדעי הסביבה

אנחנו שמחות להשיק את גיליון 188 של עלון מורי הביולוגיה הוותיק והטוב. לעלון שם חדש, המבטא היטב את שתי אוכלוסיות המורים אליהן הוא פונה - מורי הביולוגיה ומורי מדעי הסביבה. הוא מעוצב אחרת וגם כולל שלל כתבות בפורמט שונה, אבל זוהי למעשה "אותה גברת בשינוי אדרת". הקו המנחה אותנו בהכנת העלון, כמו גם במרכז המורים, נשאר כתמיד "של המורים, על ידי המורים ועבור המורים". נשמח לשמוע את חוות דעתכם על העלון, ללמוד מכם האם התכנים בו שימושיים עבורכם, לגלות האם ישנם נושאים שהייתם רוצים שנדון בהם בעלון וכמובן לקבל מכם כתבות לעלוני הבאים.

שלכם,
ענת ירדן וטלי טל, יועצות אקדמיות למרכז מורי הביולוגיה ומורי מדעי הסביבה

עורכת: גילת בריל

מפיקה: זהר סנפיר

עיצוב גרפי: זיו אריאלי

עימוד: אבי טל

עריכת לשון: ענבל גיל

תמונת השער:

בית באירופה מכוסה בצמחים שנשתלו על פני קירות הבית. תהליך העיור הנמרץ בכל העולם גורם לאקולוגים לבצע מחקרים על מערכות אקולוגיות ביישובים עירוניים ולנסות למצוא פתרונות להגדלת המגוון הביולוגי בערים (עמוד 15).

תודה רבה לכל המורים שהציעו שמות לעלון.

השם הנבחר "שמורת טבע" הוצע על ידי פרחי ווקסמן.

תודה לאסנת יוטקו-צרפתי מבי"ס תיכון אזורי מקיף ע"ש ברנר על ההערות וההתאמות של שיטות המעבדה.

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאחסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או אמצעי אלקטרוני, אופטי, מכני, או אחר, כל חלק שהוא מהחומר שבספר זה. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בספר זה אסור בהחלט, אלא ברשות מפורשת בכתב מהמוציא לאור.

תוכן

בחזית המחקר

- 3..... **אקולוגיה ללא הפסקה**
ראיון עם פרופסור ירון זיו, אקולוג במחלקה למדעי החיים, המציג את עולם המחקר המודרני באקולוגיה, ומה מכל זה אפשר להביא, לדעתו, לכיתה.
- 8..... **מדע בשיתוף האזרחים**
אקולוגים, אנשי חינוך וכותבי תכניות לימודים חוברים עם הציבור הרחב לבדיקת המגוון הביולוגי בחצר הבית בפרויקט של בית הספר לנמלים בארה"ב.
- 15..... **הפרדוקס העירוני: מדוע נמוך מגוון המינים בעיר?**
חוקרים בארצות הברית מנסים להסביר את הסתירה בין שפע המזון הזמין ליצורים חיים ולירידה במגוון המינים בסביבת החיים העירונית.

הוראת המדעים

- 21..... **אף ילד לא נשאר בפנים**
ראיון עם ד"ר אורית בן-צבי אסרף מאפשר הצצה לעולמה של חוקרת אחת בהוראת האקולוגיה: מה שואלים כיום בתחום, אילו מחקרים מתבצעים ומהו לדעתה הקשר בינם לבין מערכת החינוך?
- 26..... **לא כל כך פשוט להתבונן: כיצד יכולים תלמידים ללמוד להתבונן באופן מדעי?**
ההתבוננות באופן מדעי שונה מההתבוננות היום-יומית. מה מאפיין את ההתבוננות של תלמידים צעירים בחיי היום-יום ואין אפשר ללמד אותם להתבונן באופן מדעי?
- 33..... **לומדים אקולוגיה עם יצורים חיים**
פיתוח חשיבה מערכתית על מארג מזון באמצעות מודל חי של מערכת אקולוגית

מורים מהשטח

- 41..... **שיטות חקר חדשות לגיוון נושאי חקר בבית הספר** ד"ר סארי עאסלה
גישות חדשות ופשוטות המאפשרות גיוון של נושאי החקר
- 46..... **מוצאים את (יחסי הגומלין בעזרת) נמו** נעמי רייבשטיין
דיון עם תלמידים על יחסי גומלין באמצעות הסרט "מוצאים את נמו" משעשע, חווייתי וחוסך זמן (גם אם זה לא נראה כך).

חוקרים סביבה

- 51..... **והזוכים הם...**
רשמים מהתחרויות חוקרים סביבה של מדעי הסביבה והאולימפיאדה בביולוגיה כפי שמספרים תלמידים שזכו בתחרויות ומוריהם

יישומים

- 57..... **עיצוב למידה ניידת בגן האקולוגי** מדי קן וקרן לוי
השתלמות ייחודית למורים מובילים במדעי הסביבה
- 61..... **תכניות בינלאומיות מתקשבות** פריד חמדאן
שילוב תכניות בינלאומיות סביבתיות, כגון תכנית הגלוב (GLOBE) ותכנית הסימי"פ (SEMEP) במסגרת הוראת מדע וטכנולוגיה בבית הספר
- 64..... **אפליקציות ואתרים**



אקולוגיה ללא הפסקה

כמו תחומים רבים בביולוגיה, אקולוגיה קיבלה תנופה משילוב של תחומי ידע שונים, החל באקולוגיה מולקולארית המשלבת אקולוגיה וביולוגיה מולקולארית, וכלה באקולוגיה מרחבית המשלבת מודלים סטטיסטיים מורכבים וטכנולוגית לוויינים. פרופסור ירון זיו הוא אקולוג, והשיחה איתו מאפשרת הצצה לעולם המחקר המודרני באקולוגיה, ומה מכל זה אפשר להביא, לדעתו, לכיתה.

דיוקן



פרופ ירון זיו

פרופ. ירון זיו הוא אקולוג במחלקה למדעי החיים באוניברסיטת בן-גוריון שבנגב. את התואר הראשון בביולוגיה למד באוניברסיטת תל אביב. את התואר השני במדעי החיים למד באוניברסיטת בן גוריון בהתמחות של אקולוגיה. את התואר השלישי נסע ללמוד בארה"ב באוניברסיטת אריזונה, במחלקה לאקולוגיה ואבולוציה. לאחר כחצי שנה של עבודה כפרופסור משנה עמית באוניברסיטה של ניו מקסיקו קיבל הצעה להצטרף למחלקה למדעי החיים באוניברסיטת בן-גוריון, ומשנת 2004 הוא שם. למעבדה שלו הוא קורא [מעבדה לאקולוגיה מרחבית](#).

מראיינות: זהר סנפיר וגילת בריל

למה בחרת להיות אקולוג?

אני חושב שזה בא מהשטח. בתור נער שלא כל כך היתה לו סבלנות ללמוד בבית ספר, הסתובבתי המון. טיולים, טבע, מורשת, היסטוריה, זה דבר שבא מהבית. אלה הובילו אותי לבתי ספר שדה, חוגי נוער, חוגי סיור, צבא ביחידה קרבית.

בבית ספר שדה היה איזשהו שלב שבו הרגשתי שאני מדקלם הסברים, אבל אני לא תמיד שלם עם מה שאני אומר. רציתי לא רק להגיד לילד תראה איך הפרח פורח שזה יפה וממלא את הלב ומרגש, אלא גם להבין למה. הצורך שלי להבין ולחקור הלך והתעצם עם הזמן. בשלב מסוים פניתי לאקדמיה ומשם נתפסתי. זה היה לי ברור מהשנה הראשונה ללימודים שאני אמשך הלאה.

מהם הכיוונים של חזית המחקר באקולוגיה היום?

אקולוגיה היא תחום ענק. אני זוכר שאחרי הלימודים לתואר שני פה בישראל נסעתי ללימודי תואר שלישי לאריזונה, ופתאום הבנתי שאקולוגיה היא הרבה יותר ממה שידעתי. פתאום נפתחו בפני כיוונים פילוגנטיים, אקולוגיה פיזיולוגית, אקולוגיה התנהגותית, אבולוציה ואקולוגיה ומודלים שמסבירים תהליכים על כל כדור הארץ. יש פריצות דרך ויש התקדמות בכל התחומים באקולוגיה. אני חושב שהאקולוגיה לא עצרה כמעט באף כיוון.

אחד הכיוונים האלה הוא אקולוגיה מולקולרית. זו הסתכלות על מגוונים מולקולריים, גנטיים, בהקשרים אקולוגיים. ניסיון למצוא קשר בין תהליכים ביוגאוגרפיים גדולים לתהליכים גנטיים. בתחום הזה מנסים להבין כיצד גנטיקה ותהליכים אקולוגיים מקרינים על תפוצות של אורגניזמים במרחבים גדולים בעולם, על ידי איסוף של נתונים מולקולאריים על אוכלוסיות שונות.



רציתי לא רק להגיד לילד תראה איך הפרח פורח שזה יפה וממלא את הלב ומרגש, אלא גם להבין למה

משאפורית שיש איזה מעבד מזון קטן שנמצא בתוך מעבד מזון יותר גדול שנמצא במעבד מזון עוד יותר גדול. כשמגיעים למעבד המזון הגדול, מה שקרה במעבד המזון הקטן כבר קרה, הוא נמצא, כבר מובנה, ותהליכים אחרים הופכים להיות הרבה יותר דומיננטיים.

ההבנה הזאת, שתהליכים הם תלויי-סקלה, או לא תלויי-סקלה, היא שינוי עצום באקולוגיה. כל חוקר צריך היום להגדיר באיזה סקלת מרחב וזמן הוא עוסק. יכול להיות שחוקר ישאל שאלה על מגוון המינים של מערכת מסוימת, ויתווכח עם חוקרת של מערכת אחרת מה נכון, אבל למעשה שניהם צודקים, כי הם עבדו על סקאלות שונות.

מצד אחד ברמה המולקולרית יש התפתחות, ומצד שני התפתחות בהבנת תהליכים בסקאלות אקולוגיות גדולות, כמו רמה אזורית, יבשתית או כלל עולמית. מדובר כאן על ציר של מחקר אקולוגי מבחינת רמות ארגון.

האם השימוש במושגים שונים לתאר רמות ארגון שונות לא מאפיין מערכות מורכבות?

לא מדובר במונחים או בטרמינולוגיה. מדובר על מנגנון ביולוגי, על תהליכים: בסקאלה הקטנה - תחרות על משאב מוגבל; בסקלה האמצעית - הכחדה מקומית, שתמיד יכולה לקרות לאוכלוסיות, הגירה, והאינטראקציה ביניהן שיוצרת איזושהי שיווי משקל, כל אחד באוכלוסייה אחרת, תלויי סביבה ותלוי זמן; בסקאלה הגדולה - תהליכים אבולוציוניים. אז אני משתמש באותם מינוחים, אבל התהליכים הם שונים.

יש איזושהי כושר ניבוי למחקר כיום?

שאלה קשה. אנחנו מדברים על תהליכים של עשרות ומאות אלפי שנים בעלי יכולת מזערית לבדיקת ניבוי. זה לא כמו בדיקת ההשפעה של טמפרטורה או pH על איזה תהליך פיזיולוגי במכרסמים ואחר כך באדם, ואז אפשר לנבא מה יקרה למישהו שיקבל טיפול כזה או אחר, ולבוא עוד יום-יומיים לראות מה קורה. במקרה של אקולוגיה, סקאלת הזמן בעייתית. אבל אם יש לנו כלים סטטיסטיים לבדיקת מערכת נתונה, אז אנחנו חושבים, שאם הגורמים הבסיסיים לא משתנים, התוצאות אמורות להיות נכונות גם בעוד מאתיים שנה. אני חושב שברגע שיוודעים את התהליך, לומדים אותו, והכלים הסטטיסטיים מראים שהקורלציות הן טובות, אז זה הכלי לניבוי שאיתו אנחנו עובדים. יש כאן שתי משמעויות: גם כלי ניבוי שמראה מה יהיה בהמשך, וגם ניבוי שבאמצעותו אפשר להסביר את מה שקרה בעבר.

לדוגמה, יש אוכלוסיות שבידוד גורם אצלן לקיבוע של גנוטיפים ומשפיע על השונות הגנטית. לעומתן, יש אוכלוסיות שלמרות הבידוד יש להן גמישות פנוטיפית (Phenotypic plasticity) שגזורה מסטים של גנים שמאפשרים גמישות והתמודדות מול ברירה טבעית, שמאפשרת לאוכלוסיות לפרוץ, להתפשט, ועל-ידי כך להגדיל את תחום התפוצה שלהן. כלומר, מדובר על יכולת של אורגניזם להסתדר במרחב ולהגדיל את גבול התפוצה שלו על בסיס סט של גנים שמאפשר גמישות ברמה הפנוטיפית.

בפרויקט מחקר של סטודנטית כאן במעבדה, היא בדקה שונות גנטיות באוכלוסיות של גרבילי חולות (Gerbillus pyramidum), שחיים בכתמים של חולות שנמצאים בנגב: חולות שונרא, חולות עגור, חלוצה, משאבים, חולות סכר, והיא בדקה את הקשר של השונות הגנטית כפונקציה של מה שאנחנו יודעים על הכתם הזה מבחינת ההיסטוריה שלו. הקורלציה בין השונות הגנטית או הדמיון הגנטי לגיאומורפולוגיה של הכתמים היא פשוט מדהימה: מצאנו שאוכלוסיות של מין זה הראו דמיון גנטי באופן שמתאים למרחק בין האוכלוסיות ואופי כתם החול (מרחק בין כתמי חולות שונים). יש כאן חיבור בין גיאומורפולוג (שחוקר חולות, מצד אחד, עם גנטיקאית מצד שני, ואני מתווך ביניהם).

מנגנונים מולקולריים מתקשרים היום גם לשמירת טבע. נושאים שקשורים לאוכלוסיות במרחב, כמו סחף גנטי (Genetic drift), הסתברות להכחדה כפונקציה של תהליכים מולקולריים, הם תהליכים שמקרינים על שמירת הטבע, וכתוצאה מכך על החלטות כמו היכן ממקמים את שמורת הטבע.

האם יש כיוונים נוספים של שינוי משמעותי בתחום האקולוגיה?

כיוון נוסף, שמתחבר גם למחקר שלנו, הוא הנושא של אקולוגיה מרחבית. מסתכלים למשל על צמח אחד, נגיד כלנית אחת בשטח, ושואלים מה קובע את מגוון המינים שיש ליד הכלנית בשטח של 30 ס"מ על 30 ס"מ. הקלאסיקה האקולוגית מציעה שיש בעיה של נוטריינטים, ושהזרע שהצליח לנבוט ראשון (Priority effect), מתמודד עם תחרות וטריפה, כלומר, עם בעיית המקום והמרחב הקרוב. גורמים המוכרים כיחסי גומלין (Species interactions).

אבל זה תלוי בסקאלה האקולוגית. אם אני שואל מה קובע את מגוון המינים אבל מגדיל את שטח המחקר למטר על מטר, השאלה תהיה אותה שאלה, אבל התשובה כבר יכולה להיות קצת שונה. אם אגדיל את שטח המחקר ל-15 מטר על 15 מטר התשובה כבר תהיה אחרת, ואם עוברים לכתמים גדולים יותר במרחב, אפשר לראות תהליכים של דינמיקה של אוכלוסיות-על (Meta-population dynamics), כלומר תהליכי הכחדה מול הגירה. אם מגדילים את הסקאלה עוד יותר ושואלים את אותה השאלה על כל שפלת יהודה הדרומית, אז כבר מעורבים תהליכים אבולוציוניים. זאת אומרת, בסקאלות האלו, של אזורים גדולים, תחרות, הדדיות וטריפה לא רלוונטיים. תחשבו

אפילו בסקאלות קטנות יותר, האם המחקר יכול לעזור לציבור בהחלטות כמו איפה לבנות שכונה, איפה יעבור הכביש?

בהחלט. מבחינת מחקר שמירת הטבע, אין שום ספק. יש כבר קריטריונים שעל פיהם אפשר להחליט איפה כדאי לבנות שכונה: צמוד-דופן של ישוב קיים; איך להתאים לאגן הניקוז באזור; האם לבנות שכונה אחת גדולה, האם לבנות כמה שכונות ולעשות ביניהן מעבר לאורגניזמים. למשל, יש מחקר של איריס ברנשטיין מאוניברסיטת ת"א שבו היא השתמשה במספר מודלים ובאוסף של תהליכים מרחביים שיכולים להשפיע על אוכלוסיות. היא השתמשה בנתונים על מינים אינדיקטורים, כמו צבי, או דורבן, והראתה מה קורה בכל מודל לאוכלוסיות האלה, גם, דרך אגב, בסקאלות שונות, כדי להבין איך לתכנן את הבניה בעיר מודיעין ואיפה לבנות את השכונה הבאה במידת הצורך.

התחומים האלה התפתחו גם בזכות טכנולוגיות לוויינים של חישת מרחוק ו-GIS (Geographic Information System). ה-GIS יכול למדוד ולייצר שכבות לפי משתנים: גובה, פנות, קרקע או מסלע, מהם אפשר לגזור את אגני הניקוז, אפשר לדעת איזו קרקע ואיזה מסלע יש בגזרות, אפשר לדעת איפה מתרחשת יותר פוטוסינתזה על בסיס ניתוח ספקטרלי מהדמיות לוויין. ואז, אם רואים מתצפיות שהצבאים נמצאים רוב הזמן באזורים שיש בהם משתנה מסוים של קרקע, משתנה מסוים של מסלע ופנות מסוימת, ומוצאים שהם לא נמצאים בשיפוע תלול של גבעות אלא בשיפועים מתונים יותר, ניתן להכניס את הנתונים הללו לתוכנות של GIS, והתכנה מספקת מודל שמראה איפה כל הנתונים האלו מצטלבים בשטח. כך אפשר לאתר את בית הגידול של הצבי, ולבנות את השכונה כך שלא תפגע בו.

יש קשר בין כל המידע הזה לאנשים שמקבלים את ההחלטות?
למרות שיש בדרך כלל עיכוב בדברים האלו, אני חייב להגיד שיש לנו מילה טובה, יחסית, על מקבלי ההחלטות. אני חושב

שבשנים האחרונות רשות הטבע והגנים והמשרד להגנת הסביבה השתדרגו יפה מאוד. היום גופי שמירת טבע לוקחים אנשי מקצוע, חוקרים, מקימים מחלקות סטטיסטיות, אוספים נתונים, עם חישת מרחוק, ו-GIS ולוויינים, ובעזרתם בונים תכניות. אז כל העקרונות שאני מדבר עליהם, התלות בסקאלה, אקולוגיה מרחבית וקשר בין אוכלוסיות, חברות, בידודים, כל אלה הם היום בארגז הכלים הישומי בעולם. הקשר הוא מאוד חזק עם האקדמיה, ואני חושב שלא מעט החלטות היום תלויות בדברים שאנחנו לומדים מהמחקר.

באקולוגיה מולקולארית מנסים להבין כיצד גנטיקה ותהליכים אקולוגיים מקרינים על תפוצות של אורגניזמים במרחבים גדולים

אתם נמצאים בנגב, במקום שהוא בין ספר-מדבר למדבר. האם אתה חושב שיש משהו מיוחד במיקום הזה מבחינת האקולוגיה?

כן ולא. כחוקרים אנחנו מתעניינים בתהליכים. אז מה יש באקולוגיה מדברית? התהליכים האקולוגיים הם אותם תהליכים אקולוגיים. זה יכול להיות שונה בסוג המשתנה, או בערך של המשתנה (כמה הוא גבוה או נמוך), ולא ברמת התהליכים.

מצד שני, אנחנו די גוזרים את המערכת שלנו מהקרבה של איפה שאנחנו נמצאים ו"קרוב לעין קרוב ללב". אז אין ספק שאם הייתי היום חוקר בטכניון, אני לא יודע אם הייתי עושה את המחקר שלי בחולות עגור, שהיא מערכת יפהפייה שאני נהנה לעבוד בה בשל קרבתה לאוניברסיטת בן-גוריון.

יש כאן שילוב של מדינה מיוחדת מבחינה גיאולוגית-אקלימית עם אנשים עם ראש טוב על הכתפיים (לא כולל אותי...). זו מדינה קטנה אבל מאד הטרוגנית, שמאוד קוסמת לאקולוגים. לדוגמה, המדינה הזאת מבורכת בבית הגידול החולי. יש לנו

פרופסור ירון זיו ממליץ: [הפרדוקס העירוני](#)

על פי המאמר:

Eyal Shochat, Susannah B. Lerman, John M. Anderies, Paige S. Warren, Stanley H. Faeth, and Charles H. Nilon (2010): Invasion, Competition, and Biodiversity Loss in Urban Ecosystems. BioScience, Vol. 60 No. 3: 199-208

פרופסור ירון זיו מביא את המאמר כדוגמה למחקר אקולוגי שתורם לשמירת טבע בתכנון ערים. המאמר מציע מנגנונים המסבירים את הירידה במגוון המינים באזורים עירוניים, ומתמקד במיני ציפורים. אחד הכותבים של המאמר הוא ד"ר איל שוחט, מנכ"ל מרכז [דוכיפת](#) למחקר ואקולוגיה בירוס, מומחה עולמי במחקר של אקולוגיה עירונית ובהבדלים בינה לבין אקולוגיה בשטחים פתוחים. "היפה הוא, שברגע שידעו את המנגנון, אפשר לשנות את הגורמים לירידה במגוון המינים בעיר וכך לא רק לפצות או לשנות כדי שלא יהיו אותם מינים משתלטים כמו מאינה, דררה או דרורים, שגורמים לירקונים וחוחיות להיעלם לנו מהגינות, אלא איך ליצור גינות ציבוריות אחרות ולהפוך את העיר דווקא למפלט למינים נדירים או מינים שנדחקו. היום יש תחום שלם שנקרא אקולוגיה מקבלת או מכילה (Reconciliation ecology), שעוסק בשמירה על מגוון מינים באזורים מושפעי אדם".

מינים ואיך הוא מתפלג, ואפשר לדבר על תהליכים שקובעים את מגוון המינים, כמו נושא של גודל גוף כמנגנון לניצול של נישות.

האם יש מסר שהיית רוצה להעביר למורים לביוֹלוגיה ולמורים למדעי הסביבה?

אחד הדברים שמאוד מטרידים אותי זה פער בהבנת האבולוציה בלימודי התיכון. אי אפשר ללמוד ביוֹלוגיה בלי אבולוציה, על אחת כמה וכמה אקולוגיה. אי אפשר! אין משמעות למושגים האקולוגיים בלי לדעת אבולוציה. אי אפשר להסתכל על שום תהליך, לא על תחרות ולא על טריפה, בלי להבין אבולוציה, ואני בכוונה מזכיר את יחסי הגומלין הקלאסיים בין אורגניזמים.

הדבר הנוסף שמטריד אותי הוא העיסוק המועט בנושא של מגוון מינים. צריך, לדעתי, להוסיף את הנושא של האקולוגיה המרחבית והאקולוגיה בסקאלה קצת יותר גדולה. לראות איך התהליכים משתלבים כדי להבין השפעות על מגוון מינים וגם משום שכאזרחים טובים נושאים של קיימות ושמירת טבע יוכלו לשרת אותנו ברמה הציבורית.

דבר נוסף הוא הוויתור שאני רואה לאחרונה במערכת החינוך על לימוד ומחקר השטחים הטבעיים, מחוץ לכיתה או למעבדה "הסטריילית". חשוב מאוד, וניתן בנקל, להוציא את הנוער לשטח ולבצע מחקרים פשוטים. אני מסתכל על צמחים או על איזופודים בשטח, ואני יכול לחקור אותם ולהפיק המון ע"י מניפולציות פשוטות ושימוש בכלים מדעיים בסיסיים. אנחנו עושים טעות כשאנחנו מוותרים על החקר בשדה.

המסר הרביעי קשור לכלים סטטיסטיים. אי אפשר לעשות חקר בלי להשתמש בכלי סטטיסטי. הכלי הזה הוא יותר חשוב בעיני מלדעת מהי נישה ומהו בית גידול. בעניין זה, הייתי ממליץ למערכת החינוך להכניס יותר כלים כמותיים-סטטיסטיים לעבודות חקר.

מדיום חולי, שיוצר בית גידול דומה לאורך 360 ק"מ שמשנתה מ-650 מ"מ גשם ל-30 מ"מ גשם; למשל, אפשר לראות רותם, או מינים אחרים, בערבה ובנחל בצת. יש מעט מאוד גרדינטים כאלו בעולם. אני מראה את זה לקולגות שלי מחו"ל והם לא מאמינים. למשל, במאמר האחרון שהגשנו לפרסום, השופטים של המאמר לא עזבו אותנו. היה להם קשה לקבל את זה, ששטח של 25-30 ק"מ מגבעות גורל, להב, דביר בואך בית ניר גלאון, משנתה מ-200 ל-450 מ"מ גשם והשטח שטוח ולא משנתה טופוגרפית או גיאולוגית. הם רגילים שמעבר מ-200 ל-450 מ"מ גשם דורש איזה רכס, איזה שבר גיאולוגי; משהו שיצדיק כזה הפרש. וצריך להוכיח להם, ולייצר גרפים שבכלל לא חשבונו שנצטרך לעשות. יש לנו כאן מעבר חד בין האזור המדברי לבין האזור החצי מדברי הים-תיכוני. אנחנו בפירוש מנצלים את זה למחקר.

יש פער בין מה שמלמדים בכיתה באקולוגיה לבין מה שמלמדים באוניברסיטה ומגלים במחקר. האם יש דרך שבה אפשר לדעתך לגשר על הפער הזה?

אני לא חושב שהשאלה היא איך מחברים בין מה שעושים באקדמיה לבין התיכון. לא הייתי לוקח את ספרי הלימוד ומוסיף פרק שלם על תהליכים תלויי סקאלה, כי זה בדיוק השלב שבו נברח את התלמידים, ואקולוגיה הם כבר לא ילמדו. יש גבול לכמה אפשר להעמיס עליהם. אבל לפחות שיבינו את המורכבות: במרחבים שונים תהליכים ביוֹלוגיים הם שונים. אני חושב שאם תלמידים בכיתה י"-א מבינים שהטבע הוא הרבה יותר מורכב מהמגירות המאוד מובנות, המיידיות, של נישה ובית גידול ומערכת אקולוגית מאוד פשוטה, הם יבינו שכך העולם פועל. אני חושב שזו החובה שלנו להסביר לפחות שהדברים יותר מורכבים, ושם נבין את המורכבות הזו נוכל להשתמש בה גם למטרות שלנו.

השאלה היא איך מעבירים את הידע הבסיסי. אפשר לעסוק במנגנונים, ברמה של תהליכים. לדוגמה, אפשר לדבר על מגוון

פרופסור ירון זיו ממליץ: [מדע האזרחים](#)

על פי המאמר:

Lucky, A., A. M. Savage, L. M. Nichols, C. Castracani, L. Shell, D. A. Grasso, A. Mori, and R. R. Dunn. 2014: Ecologists, Educators, and Writers Collaborate with the Public to Assess Backyard Diversity in the School of Ants Project. *Echosphere*, 5(7): 78

דרך אחת לקשר בין האקדמיה לבין הציבור הרחב יכולה להיות איסוף נתונים על ידי אזרחים עבור מחקרים אקדמיים, במה שמכונה 'מדע האזרחים'. המאמר מספר על מחקר בארה"ב שבו פנו החוקרים לציבור בבקשה לאסוף דגימות של נמלים באזור מגוריהם. פרופסור ירון זיו: " זה יפה לראות איך העניין הזה מתפתח. זה בא גם המון מבתי ספר וממורים בעולם, שיוצאים ועושים כל מיני פרויקטים ומוציאים נתונים על גורם השומר על הסביבה. אבל זה לא לאקדמיה, זה לגורם השומר על הסביבה. בנוסף, יש תחומים שהם כבר מדע האזרחים כבר שנים. פרפרים וציפורים למשל; שנים שחובבי הציפורים הם אלה שאומרים איזה ציפור יש ומה הדרישות שלה. יש פה מערכת שהיא קצת אנומלית: מצד אחד הציבור המאוד נאיבי המגיע עם כוונות מאוד טובות, ויש הרבה ממנו יחסית לחוקר אחד באוניברסיטה או לאקולוג ברשות הטבע; אבל הציבור אוסף נתונים שעלולים לא לעמוד בקריטריונים אקדמיים. מצד שני, יש את אותם חוקרים באוניברסיטה שרוצה לחקור מגוון מינים, ולא יעזור שום דבר - הם יצטרכו את העזרה או את בסיסי הנתונים. לאחרונה הוקמו גופים מתווכים בין הציבור לאקדמיה. למשל [המארג](#). הוא גוף קלאסי, שמצד אחד מחובר למחקר ומצד שני הגיעו להכרה שהוא לטובת הציבור.

יום בחייו של אקולוג



כדי להבין מה זה אומר לעשות מחקר אקולוגי בשטח, שאלנו את פרופסור ירון זיו על אחד המחקרים שנעשו במעבדה שלו על ידי סטודנט לדוקטוראט, ד"ר גיא רותם, [על השפעת הקרבה בין שטחים פתוחים לבין שטחי חקלאות על בעלי החיים](#).

בעולם הסביבתי היום יש, בגדול, שני כוחות מנוגדים מאוד חזקים. אחד של צריכת מזון. צריך לאכול, הצריכה מטורפת, ואין לעולם רזרבות חקלאיות כמו שמדמיינים. מצד אחד הקרקע הולכת ומתדלדלת, ובמקביל העמידות של עשבים שוטים ושל מזיקים היא איומה. יש אבדן אדיר של תוצרים חקלאיים בעולם. מצד שני, העולם כבר הבין שמערכות אקולוגיות הן מערכות תומכות חיים, ושצריכים שטחים פתוחים. בעניין הזה אין סקאלה. יש גורם מגביל מאוד ברור והוא שטח. שני הכוחות האלו נאבקים אחד בשני, וזו היום הבעיה מספר אחת בעולם. הניסיון הוא, איפה, למצוא את האופטימיזציה של חיבור של שני הכוחות האלה יחד.

יש גישה שמתחזקת שנקראת חקלאות ידידותית לסביבה (Wildlife friendly agriculture). למשל להשאיר עשבים, לגדל בקומות, לא להשתמש בחומרי הדברה מסוימים, וגם להשאיר כתמים טבעיים המשולבים במערכת שדות חקלאיים. כתמים טבעיים יש בעולם מסביב לשדות חקלאיים, בעיקר בחקלאות הישנה, שבה השתמשו במחרשת מסמר ושור או חמור; מספיק שהיה איזה צמח שקשה לעקור או איזה סלע, ונוצר כתם לא מעובד. זה מאפשר מעבר בין אוכלוסיות והגירה. הכל התחבר לתפיסה של אקולוגיה מרחבית. בשפלת יהודה הדרומית הראינו, שכ-75% מהמגוון הצפוי של זוחלים נשמר בזכות הכתמים האלה.

גיא חשב שיש בעיה עם החיבור בין השדות החקלאיים לבין אזורים מבודדים. הוא החליט לבדוק את המעבר של זוחלים בין הכתמים לשדות החקלאיים שקיימים בשפלת יהודה. לשם כך הוא הקים מערכת, שבנויה מגבול של פוליגל שעובר בין השטח הטבעי לבין השטח החקלאי. הגבול מונע את המעבר של זוחלים מהשטח הפתוח לשטח החקלאי. לאורך הגבול שהוא יצר, משני צידיו, יש מעברים ומלכודות. המלכודות והמעברים הונחו כך, שמה שנתפס בצד אחד הוא זוחל שרצה לעבור משם לצד השני ולהיפך.

את כל ההתקנה, להוציא את החיות שנלכדו, לשקול, למדוד, כל זה - הוא עושה בשעות מאוד מוקדמות בבוקר?

הוא עושה בשעות מאוד מוקדמות. בטח. אנחנו דואגים שבתוך המלכודת יש רעפים שבירים שיעניקו לבעלי החיים שנלכדו מחסה וצל, ושהם לא ימותו. הוא יוצא המון לשטח. צריך לבדוק את המערכת, ולראות שלא עבר איזה טיול גייפים ביום שישי והרס, ולא בא מישהו מקומי והזיז משהו. בין השאר היציאה לשטח משולבת בשיתוף פעולה עם החקלאים והחבריה הצעירים. יש דור חדש של חקלאים צעירים שמבינים יפה מאוד את הנושא האקולוגי-חקלאי. צריך לבוא ולהכיר לא רק את הזוחלים והכתמים, אלא גם את האנשים, הנפשות הפועלות בתוך הקונטקסט. היות שהכל בנוי על מערכת שהיא מלאכותית-טבעית, מדובר במרחב הטרופי שהאדם הוא חלק ממנו.

הוא צריך היה לנתח את הסביבה באמצעות תוכנות של חישה מרחוק, GIS. אז יום בחייו זה לקרוא, להכיר את התוכנות, לקבוע את לוח הזמנים שלו שבנוי מיציאה לשטח בתקופות מאוד ספציפיות, לאורך כמה עונות.

מה היו התוצאות מהמחקר של גיא?

גיא עבד על המין 'חומט פסים' ומצא שיש תהליך חד-כיווני. חומט הפסים גדל באזורים הטבעיים. לאחר החריש זורעים והחיטה מתחילה לעלות, ירקרקה ויפה. בית גידול חדש מתפתח. דרך אגב, בחיטה יש גם לא מעט מזיקים או חרקים שזה מזון טוב לחומט. ראינו שפרטים של חומט מתחילים להיכנס לשדה. ראינו שהחומטים שעוברים הם החומטים הגדולים המצויים במצב הפיזיולוגי הטוב ביותר. בית הגידול "מתפתח" ויש יותר אוכל. כשמגיעה עונת הרבייה, הפרטים שנשארו בכתמים הטבעיים מתרבים שם, בכושר הנשיאה שלהם גם הפרטים שעוברים לשדה החיטה מתחילים להתרבות שם. ואז מגיע "יצור" שנקרא קומביין. והוא משמיד את הזוחלים השונים. התופעה הזאת, של מה שנראה מנקודת המבט של האורגניזם כבית גידול טוב, אך בהמשך מתרחש בו הרג של אורגניזמים וירידה בשרידות הביולוגית, קרויה 'מלכודת אקולוגית' תלוית-אדם. מחקרים בעולם מראים שמלכודות כאלו קיימות יותר ממה שחשבנו; בפועל יש פגיעה משמעותית במגוון הביולוגי.

מדע בשיתוף האזרחים

אקולוגים, אנשי חינוך וכותבי תכניות לימודים חוברים עם הציבור הרחב לבדיקת המגוון הביולוגי בחצר הבית בפרויקט של בית הספר לנמלים בארה"ב

על פי המאמר:

Lucky, A., A. M. Savage, L. M. Nichols, C. Castracani, L. Shell, D. A. Grasso, A. Mori, and R. R. Dunn. 2014: Ecologists, Educators, and Writers Collaborate with the Public to Assess Backyard Diversity in the School of Ants Project. *Echosphere*, 5(7): 78

עיבוד: גילת בריל

מבוא

לציבור רחב וליצור התעניינות מספקת במחקר, שיעור הגיוס נמוך וקשה לבצע את הסקר (Conrad and Daoust, 2008).

קושי נוסף של מדע האזרחים קשור לתרומת המחקר לאזרחים המשתתפים במחקר. לרוב מדובר בכך שהמשתתפים יוכלו להיות מעורבים בחקר כמה שיותר, וללמוד על מדע ותהליך החקר המדעי כמה שיותר. אמנם אין פרויקט מחקר שיכול לענות לצרכיהם של כל המשתתפים בו, אולם, על המדענים לתכנן את המחקר כך, שינתנו כל האפשרויות של שיתוף הקהל הרחב במרב השלבים של החקר, ובמרב הזדמנויות למידה. משתתפים במחקר מסוג זה יכולים להתחיל בלמידה של הידוע, ואחר כך להצטרף למדענים בגילויים חדשים.

לאור כל האמור לעיל, פיתחנו פרויקט של מדע אזרחים [בבית הספר לנמלים](#), ובו המשתתפים דוגמים נמלים בחצר הבית או במדרכות הרחוב. שתי מטרות עיקריות הוגדרו לפרויקט: 1. להרחיב את הידע המדעי על מגוון הנמלים ותפוצתן באזורים נרחבים ככל הניתן. 2. לספק הזדמנויות לציבור הרחב ללמוד ולהבין אקולוגיה במקומות שבהם אנשים גרים ועובדים.

נמלים הן אורגניזם מצוין להשגת שתי מטרות אלה: הן נפוצות ביותר וקיים בהן מגוון מינים. הן מהוות מרכיב חשוב במערכות אקולוגיות, ומצויות גם באזורי מגורים ומבנים של אנשים (Dosta'1 et al. 2005).

הזמינות של הקהל הרחב לאמצעים טכנולוגיים מתקדמים מאפשרת למדענים לקבל נתונים משטחים נרחבים וממקומות שאין להם בהכרח גישה נוחה אליהם כמו בתים פרטיים או שדות

שטחים נרחבים ברחבי העולם מגויסים על ידי האדם למטרות עיור וחקלאות, וכתוצאה מכך חלים שינויים במערכות אקולוגיות שלמות. היות שאנשים הם חלק בלתי נפרד מהעיר ושטחי החקלאות עולה הצורך לשתף אנשים שאינם בהכרח מדענים בחקר של מערכות אקולוגיות אלה, במה שמכונה כיום מדע האזרחים (citizen science).

מדע האזרחים מוגדר כמאמץ מדעי מאורגן של מדענים והציבור ליצור ידע מדעי חדש (Dickinson and Bonney 2012). לאחרונה, הופך מדע האזרחים לכלי מחקר נפוץ על מנת להבין את המבנה והדינאמיקה של אוכלוסיות במערכות אקולוגיות בשטחים נרחבים. הזמינות של הקהל הרחב לאמצעים טכנולוגיים מתקדמים מאפשרת למדענים לקבל נתונים משטחים נרחבים וממקומות שאין להם בהכרח גישה נוחה אליהם כמו בתים פרטיים או שדות. בנוסף לכך, מדע האזרחים מקדם את [האזריינות המדעית](#) של הקהל הרחב, תוך כדי למידה של האזרחים המשתתפים על המערכת האקולוגית המקומית (Cronin and Messemer 2013, Dickinson et al. 2010).

יחד עם יתרונות אלה של מדע האזרחים, מופנית כלפיו גם ביקורת. לאנשים מהציבור הרחב אין הכשרה מדעית, ואופן איסוף הנתונים מטבעו אינו מקצועי. סקרים אקולוגיים רבים שנעשים בעזרת הציבור מתבססים על היכולת לזהות מינים מסוימים של אורגניזמים. אולם לציבור אין ניסיון בהגדרת מינים, וחלות טעויות בזהוי (Kremen et al. 2011). בנוסף, במחקר שבו נבדקו תוצאות מהציבור הרחב מול תוצאות ממדענים מומחים, נמצאה שונות גדולה בנתונים בקרב הציבור לעומת שונות נמוכה יותר אצל מדענים מומחים (Farmer et al. 2012). אמנם קיימות שיטות לבדיקת תקפות (validity) הנתונים המתקבלים מהציבור הרחב, אבל בפרויקטים רבים לא מפעילים אותן (Crall et al. 2010).

בנוסף לחסרונות אלה, גיוס הציבור לפרויקט מחקר מציב גם קשיים ארגוניים: פעמים רבות המדענים מתקשים להגיע

הנמלים שנבחרו לאוסף נשלחו לזיהוי על ידי מומחים שהזינו את הזיהוי המקצועי ישירות לאתר של הפרויקט. לאחר הזיהוי הופיעו הנתונים במפה אינטראקטיבית שנקראה מפת הנמלים



עיבוד הדגימה

בכל מרכז לעיבוד מידע עבדו סטודנטים שעברו הכשרה וטכנאי מעבדה בצוות של עד ארבעה אנשים. אנשי הצוות פתחו כל דגימה והפרידו את הנמלים מהעוגיות. הנמלים זוהו ומיונו לקבוצות על פי מורפולוגיה ובתי הגידול (ירוק או סלול) שבו נמצאו. מכל בית גידול, נבחר מוצג אחד מכל מין שנמצא באותו אזור לאוסף נפרד, וקיבל קוד ייחודי. שאר הנמלים נשמרו ב-95% אלכוהול.

הנמלים שנבחרו לאוסף נשלחו לזיהוי על ידי מומחים שהזינו את הזיהוי המקצועי ישירות לאתר של הפרויקט. לאחר הזיהוי הופיעו הנתונים במפה אינטראקטיבית שנקראה [מפת הנמלים](#).

בדיקת תקפות אוספי הנמלים של אזרחים

על מנת למדוד את שיעור הטעויות בקרב הדגימות מהציבור הרחב, נערך מחקר בקמפוס של אוניברסיטת צפון קרוליינה. שתי קבוצות השתתפו במחקר: האחת, קבוצה של סטודנטים לתואר ראשון ללא הכשרה, הלומדים קורס באקולוגיה. סטודנטים אלה



במאמר זה אנו מדווחים לראשונה על השיטות שבהן השתמשנו, וכיצד התמודדנו עם איכות הנתונים מהציבור. בנוסף, אנו מתארים את התוצאות שהתקבלו עד היום מבחינת מגוון ותפוצה של נמלים שנאספו בשכיחות הגבוהה ביותר על ידי המשתתפים בפרויקט.

שיטות

איסוף הנתונים

הנחיות מפורטות פורסמו [באתר של הפרויקט](#). המשתתפים במחקר התבקשו לבחור שני בתי גידול: 1. שטח ירוק, כמו מדשאה, גינה או יער. 2. שטח סלול, כמו מדרכה, כביש, בטון. בכל אחד משני בתי הגידול הודרכו המשתתפים להניח ארבע תחנות איסוף, במרחק 30.5 ס"מ זו מזו. בכל תחנה הונח רבע של עוגיית אגוזים מתוצרת ספציפית שהן פיתיון נפוץ לעבודת חקר על נמלים בשל תכולת אבות מזון מגוונת (חלבון, סוכר ושומן) שמושכת מינים רבים של נמלים. המשתתפים הודרכו להניח את העוגיות על כרטיסיה לבנה שסומנה "ירוק" או "סלול", ולאחר המתנה של כשעה, לאסוף את הכרטיסים, הפיתיון והנמלים שנמשכו אליו לתוך שקית פלסטיק מסומנת, ולשים את השקית במקפיא.

הזנת הנתונים שנאספו

כל משתתף התבקש למלא באתר של הפרויקט טפסים שכללו, בנוסף לזיהוי מיני הנמלים, את פרטי המידע הבאים:

1. האזור הספציפי שבו הונח הפיתיון.
2. מאפייני בית הגידול הירוק או הסלול.
3. תנאים אביוטיים בזמן הנחת הפיתיון.

כל דגימה שהוכנסה על ידי משתתף קיבלה קוד מספרי.

לאחר הטענת הנתונים במחשב התבקשו המשתתפים לשלוח את הדגימה (השקית עם הנמלים) עם הקוד המספרי למרכזי עבוד מידע של בית הספר לנמלים.

מדע האזרחים מקדם את האוריינות המדעית של הקהל הרחב, תוך כדי למידה של האזרחים המשתתפים על המערכת האקולוגית המקומית



קיבלנו 814 ערכות דגימה מהציבור, מ-500 אתרים שונים. הערים עם מספר הדגימות הרב ביותר היו שיקאגו, ראליי-דורהם וניו-יורק

הערכת המגוון והתפוצה של הנמלים השכיחות ביותר בדגימות

מגוון הנמלים

במחקר נמצאו 7 מינים אקזוטיים ו-107 מינים מקומיים ברחבי אמריקה הצפונית.

מינים אקזוטיים

המינים האקזוטיים נמצאו באזור גיאוגרפי רחב ב-333 אתרי דגימה (כ-67%). ברוב האתרים (כ-91%) שבהם נמצאו נמלים אקזוטיות, נמצא מין אקזוטי יחיד. הסוג האקזוטי הנפוץ ביותר בדגימות היה מהסוג כתפית (*Tetramorium*). לסוג זה ישנם גם כמה מינים נציגים גם בישראל. מינים אקזוטיים אחרים שנמצאו הם *Linepithema humile*, *Solenopsis invicta*, *Nylanderia flavipes*, *Pachycondyla chinensis*, and *Lasius niger*.

מינים מקומיים של צפון אמריקה

כ-66% של הדגימות הכילו נמלים מקומיות האופייניות לאמריקה הצפונית. ב-70% מהן נמצא לפחות מין צפון אמריקאי אחד. הסוג מורית *Monomorium minimum* היה הנפוץ ביותר בדגימות (ב-96 אתרי דגימה, כ-19% מכל האתרים). 38 מינים נמצאו כמינים יחידים ב-35% מאתרי הדגימה. 17 מינים צפון אמריקאיים נמצאו בלמעלה מ-10 אתרי דגימה (16% מהמינים הצפון אמריקאיים). מינים אקזוטיים ומינים צפון אמריקאיים נמצאו יחד ב-181 אתרי דגימה (כ-36% מהאתרים).

השתמשו רק בהנחיות לאיסוף וזיהוי נמלים שבאתר בית הספר לנמלים. השניה, קבוצת סטודנטים מהמעבדה של ד"ר רוב דן (אחד מכותבי המאמר), שהם מנוסים יותר בהגדרת נמלים. שתי הקבוצות השתמשו בשיטות זהות לאיסוף נמלים מאתרי איסוף זהים ובאותה תקופה של השנה. השווינו את מספר הנמלים שאספה כל קבוצה והשתמשנו במבחן סטטיסטי (קורלציה ספירמן) כדי לבחון האם לטעויות שהתקבלו יש קשר במיוחד לאחת הקבוצות.

פרסום הפרויקט

בנוסף לאתר של בית הספר לנמלים, הפעלנו אירועי פרסום רשמיים, שבהם חילקנו חוברות המפרסמות את המחקר וההשתתפות בו, ומגדיר פשוט של הנמלים הנפוצות, כולל הקרנת סרט ב-youtube המראה ילדים אוספים נמלים ושולחים דגימות לבית הספר לנמלים. כמו כן, יצרנו קשר עם מוזיאונים וביקשנו רשות לפרסם את הפרויקט למבקרים. יצרנו שיתופי פעולה עם מורים וביצענו סיורים מודרכים למורים ולתלמידים.

תוצאות

נתונים על ההשתתפות במחקר

בין השנים 2011-2013 נרשמו 35,994 כניסות לאתר של בית הספר לנמלים. רוב הכניסות (84%) היו מארה"ב. שאר הכניסות היו, רובן מקנדה אך גם מ-131 מדינות נוספות. מעל 5000 כניסות היו של אנשים מחוץ לאמריקה הצפונית (אפריקה, אירופה, אמריקה הדרומית ואסיה).

בין השנים 2011-2012 קיבלנו 814 ערכות דגימה מהציבור. 599 (74%) הדגימות שהיו ברות שימוש היו מ-500 אתרים שונים. הערים עם מספר הדגימות הרב ביותר היו שיקאגו (149 דגימות), ראליי-דורהם (143 דגימות) וניו-יורק (34 דגימות).

בדיקת תקפות אוספי הנמלים של אזרחים

השוואה בין סטודנטים ללא הכשרה שקיבלו הנחיות מאתר בית הספר לנמלים לבין סטודנטים ממעבדת מחקר שקיבלו הכשרה מדעית הראתה שבין הדגימות של דוגמים ללא הכשרה ודוגמים עם הכשרה היתה קורלציה גבוהה על פי קורלציה ספירמן ($p < 0.0001$). כלומר, לא ניתן לייחס את הטעויות בזיהוי הנמלים לקבוצה מסוימת.

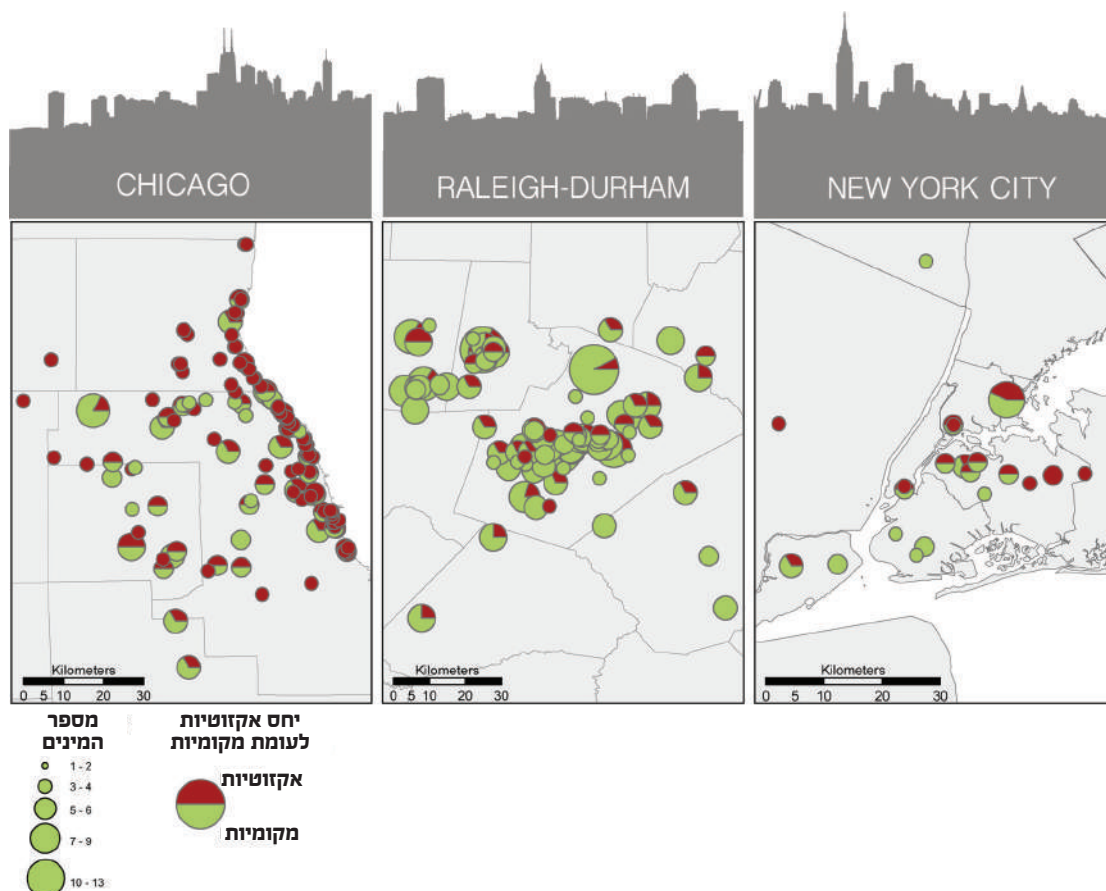
פרויקט בית הספר לנמלים סיפק מידע חדש לגבי מינים מסוימים של נמלים. בתחילת הפרויקט גילינו ממצאים בלתי צפויים בעזרתם של האזרחים שהשתתפו בפרויקט.

קבוצה של תלמידי כיתה ה' שהשתתפו בסיור שקיימנו בצפון קרוליינה, מצאה בדגימות מין של נמלים בשם *Aphaenogaster miamiana* שנחשב למין הנמצא באזורים דרומיים ומזרחיים יותר של אמריקה הצפונית. לאור הממצא הזה, התחלנו במחקר הבודק את המגוון הגנטי של נמלים אלה כדי לקבוע האם מדובר באוכלוסיה דומה או באוכלוסיה עם מאפיינים גנטיים משלה. בדומה לכך, המין הפולש *Pachycondyla chinensis* שנחשב עד עתה למין הנמצא רק בדרום מזרח ארה"ב נמצא על ידי קבוצת מתנדבים באזור צפוני הרבה יותר מהצפוי (בוויסקונסין ובוושינגטון). לאור הממצא התחלנו במעקב ספציפי אחר ההתפשטות של מין פולש זה.

התוצאות שהתקבלו עד היום מצביעות על כך, שמגוון המינים של הנמלים משתנה לאורך מרחב גיאוגרפי גדול כמו ארה"ב. כמו כן נמצא, שמגוון גדול של נמלים מקומיות יכול להתקיים במקומות שבהם חיים גם בני אדם. כאן ברצוננו להדגיש ממצאים שהתקבלו בשלוש ערים שבהן בוצעו יחסית הרבה דגימות (איורים 1 ו-2): שיקאגו (במדינת אילינוי), ראליי-דורהם (במדינת צפון קרוליינה) וניו-יורק (במדינת ניו-יורק).

בשיקאגו ובניו-יורק נמצאו אתרים שבהם נדגמו רק נמלים מקומיות, אתרים שבהם נדגמו רק נמלים אקזוטיות ואתרים שבהם נמצאו נמלים מקומיות יחד עם נמלים אקזוטיות. לעומת זאת, בראליי-דורהם לא נמצאו אתרים שבהם נדגמו נמלים אקזוטיות בלבד.

בכל שלוש הערים נמצא המין *T. caespitum* sp. Complex (הסוג בעברית נקרא כתפית). בשיקאגו מין זה היה הנפוץ ביותר (נמצא ב-78% מהאתרים בשיקאגו, לעומת 38% מהאתרים בניו-יורק ו-32% מהאתרים בראליי-דורהם איור 2).



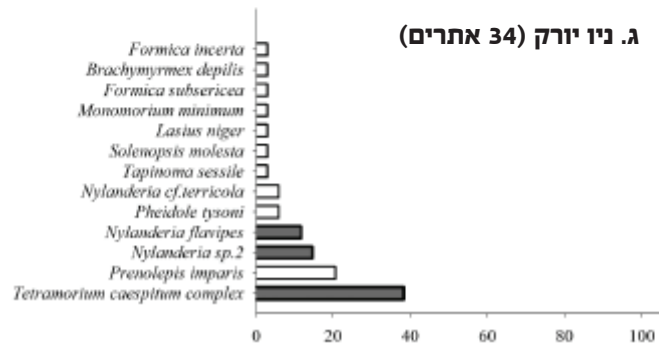
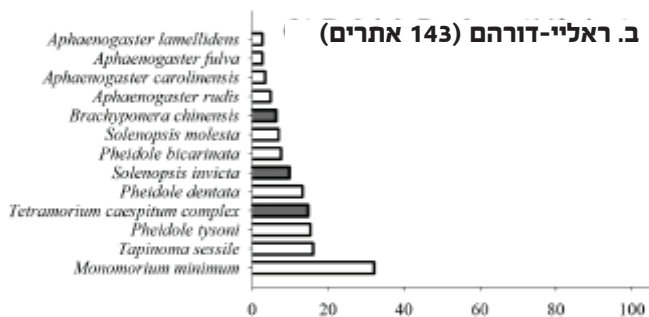
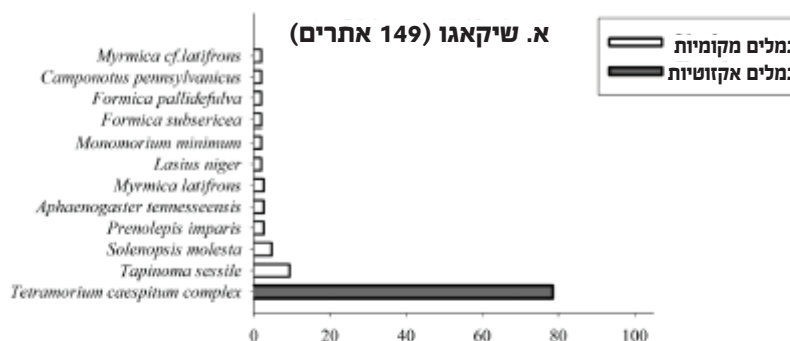
איור 1: תפוצה יחסית של מיני נמלים אקזוטיות ומקומיות בשיקאגו, ראליי-דורהם וניו-יורק. הגודל של כל עיגול מייצג את מספר המינים שנאספו בכל אתר. היחס בין נמלים אקזוטיות ומקומיות מיוצג על ידי הצבעים השונים בכל עיגול: נמלים מקומיות בירוק, נמלים אקזוטיות באדום.

דיון

ההנחיות שסיפקנו לציבור והדגימות שהתקבלו בעזרתו היו מבחינתנו כלי מצוין לאיסוף נתונים לגבי נמלים. בפחות משנה וחצי הצלחנו לקבל נתונים על המגוון והתפוצה של נמלים בחצר הבית ובערים ולערב את הציבור בתהליך של מחקר מדעי ושל האקולוגיה שסביבם.

תוכנות לגבי המגוון והתפוצה של נמלים באמריקה הצפונית
קיימת הנחה, שבגלל שמינים אקזוטיים של נמלים הם דומיננטיים בהתנהגותם, ניזונים ממגוון רב של מזונות ובחרים במגוון של מקומות לקינון, סביר יהיה למצוא יותר מהם באזורים מיושבים. ואכן, הנמלים הנפוצות ביותר בדגימות שנאספו על ידי האזרחים שהשתתפו בפרויקט היו נמלים אקזוטיים. אבל

שתי מטרות עיקריות הוגדרו לפרויקט: להרחיב את הידע המדעי על מגוון הנמלים ותפוצתן ולספק הזדמנויות לציבור הרחב ללמוד ולהבין אקולוגיה במקומות שבהם אנשים גרים ועובדים.



אחוז הופעה בדגימות

איור 2: התפלגות מיני הנמלים השונים בדגימות בשלוש הערים שיקאגו, ראליי-דורהם וניו-יורק. לרוב המינים הנפוצים ביותר בדגימות היו של נמלים אקזוטיים (עמודות אפורות), אבל מספר המינים של נמלים מקומיים (עמודות לבנות) היה גדול יותר.

ואף התאמנו במיומנות המורכבת של הגדרת נמלים. בארצות הברית ישנם אולי 10 מדענים מומחים שירגישו בנוח להגדיר את כל הנמלים שנאספו בפרויקט. לכן, השקענו בהכשרת צוותים מקומיים שלמדו והתאמנו בהגדרת נמלים, ועברו על הדגימות שנאספו מהקהל הרחב. כך הרגשנו בטוחים יותר לגבי הנתונים שנאספו. כמו כן, הוספנו שלב של זיהוי הנמלים על ידי מדענים מומחים. כתוצאה מכך אמנם הזמן וההשקעה הכספית באיסוף הנתונים גדלו, אבל היתרונות של איכות הנתונים גברו מבחינתנו על החסרונות.

כדי להתמודד עם הביקורת על הנטייה של אנשים שאינם מומחים לטעות ביצענו מחקר שבדק את היעילות של הזיהוי שנעשה על ידי המשתתפים. מחקר זה מצא, שאין הבדל ביעילות איסוף הנמלים והגדרתן אצל אנשים שעברו הכשרה ואימון ואנשים שלא עברו הכשרה כזו.



באתרי הדגימות נאסף גם מגוון של נמלים מקומיות בחצרות של האזרחים ועל פני המדרכות. בנוסף, הנתונים הראו, שככל שהתבצעו יותר דגימות, כך נאספו יותר מינים מקומיים של נמלים. כלומר, שמגוון המינים של נמלים מקומיות הוא גדול. ממצאים אלה מראים, שכאשר מדובר באזור גיאוגרפי רחב, תפוצת הנמלים במקומות שבהם אנשים גרים ועובדים היא עניין מורכב יותר ממה שהנחנו קודם לכן.

כמו כן, היו הבדלים מעניינים בין שלוש הערים שמהם התקבלו מספרי הדגימות הגדולים ביותר. בשיקאגו נמצא ברוב הדגימות מין אקזוטי יחיד (*Tetramorium caespitum* sp. gr.). מהעיר ניו-יורק, אמנם קיבלנו פחות דגימות מהציבור, אבל הנתונים שנאספו תומכים בנוכחות של יותר מינים מקומיים דווקא באזור שבו העיור הוא הצפוף והנרחב ביותר בצפון אמריקה. לעומת שיקאגו וניו-יורק, העיור בראליי-דורהם פחות נרחב וצפוף. בנוסף לכך, היא נמצאת באזור דרומי יותר בארה"ב והאקלים שם פחות קר. הממצאים לגבי ראליי-דורהם הראו מגוון ופיזור יחסית שווים של נמלים. מחקר המשך שבו ננסה לבדוק קשר בין מידת העיור והאקלים לבין מגוון הנמלים יכול לנסות להסביר טוב יותר את הממצאים שהתקבלו בשלוש הערים.

כיצד בית הספר לנמלים מתמודד עם ביקורת על מדע האזרחים?

השימוש בהנחיות פשוטות לביצוע הדגימות ולהגדרת הנמלים התאים לציבור הרחב והקטין את שיעור הטעויות, אבל הגביל את הנתונים שאפשר היה לקבל. היה עלינו להתמקד רק בחלק מאוכלוסיות הנמלים. הדגימה שלנו כללה רק מינים שמחפשים מזון על הקרקע, נמשכים לפיתיון של עוגיות אגוזים ומסוגלים למצוא את הפיתיונות הללו. למרות שכלי זה אינו מתאים לכל אוכלוסיות הנמלים, הוא התאים למטרות שהצבנו לפרויקט. עניינו אותנו במיוחד מיני נמלים הנמצאים באינטראקציה עם אנשים בחיי היום-יום. בהמשך, אנחנו רוצים לפנות למשתתפים במחקר, ולאפשר להם לא רק להתבונן אלא גם לבצע ניסויים.

זיהוי הנמלים הוא משימה קשה עבור אנשים שאינם מדענים. זו משימה קשה גם עבור מדענים שקיבלו הכשרה בסיסית

מטרות לעתיד

הצבנו לפרויקט כמה מטרות מדעיות עתידיות. האחת, להמשיך את הדגימות שנעשו עד עכשיו באמצעות הציבור גם באזורים שבהם נערכו פחות דגימות, כדי לשפר את התוצאות שהתקבלו. חשוב לנו במיוחד להרחיב את הידע על נמלים מקומיות בארה"ב כך שנוכל ליצור מודלים אקולוגיים ולקדם תיאוריות אקולוגיות.

מטרה נוספת היא להרחיב את הפרויקט למקומות נוספים בעולם. הפעלה של הפרויקט החלה כבר באיטליה ומראה שהגישה שלנו מתאימה גם לציבור ולמדענים בארצות אחרות.

מתוך רצון לקבל נתונים נוספים משמעותיים, אך גם מתוך תפישה שמחקר בעזרת הציבור יכול ללמד את הציבור על תהליך החקר, אנו מעוניינים בהמשך לערב את האזרחים המשתתפים במחקר שלנו בתכנון וביצוע ניסויים שבהם תתבצע מניפולציה של משתנים.

יחד עם חינוך הציבור לגבי תהליכי חקר, אחת המטרות החינוכיות היא להמשיך ולעבוד עם מורים וכותבי תכניות לימודים על יצירת חומרי למידה המשלבים את העיסוק באקולוגיה של נמלים. אנחנו ממשיכים לפתח תכניות כאלה עם מורים בבתי ספר יסודיים, ובודקים אפשרויות לשיתוף פעולה של מרצים באוניברסיטאות שיוכלו לשלב את פרויקט בית

המשתתפים הודרכו להניח את העוגיות על כרטיסיה לבנה, ולאחר המתנה של כשעה, לאסוף את הכרטיסים, הפיתיון והנמלים שנמשכו אליו לתוך שקית פלסטיק מסומנת

מילון מונחים:

אוריינות מדעית

מכלול של תחומי ידע ומיומנויות שמאפשרים להבין נושאים מדעיים, לפתור בעיות ולהחליט החלטות הקשורות במדע. אוריינות מדעית כוללת לדוגמה, ידע מדעי, הכרת מהות המדע והכרת הדרך בה מתנהל מחקר מדעי, חשיבה ביקורתית, יכולת ארגומנטציה המבוססת על תוצאות של ניסויים.

מין אקזוטי

מין שנמצא באזור שהוא מחוץ לאזור התפוצה הטבעי שלו.

מין מקומי

מין שנמצא באזור שהוא חלק מאזור התפוצה הטבעי שלו.



הספר לנמלים בקורסי מבוא לאקולוגיה. במסגרת זו ברצוננו לבדוק האם מעורבות ממשית של הסטודנטים בפרויקט שלנו תורמת ללמידה משמעותית יותר מאשר למידה של נושאים אקולוגיים באופן תיאורטי בלבד.

מקורות:

Cronin, D. P., and J. E. Messemer. 2013. Elevating adult civic science Literacy through a renewed citizen science paradigm. *Adult Learning* 24:143–150.

Dickinson, J. L., and R. Bonney, editors. 2012. *Citizen science: public participation in environmental research*. Comstock, Ithaca, New York, USA.

Kremen, C., K. S. Ullmann, and R. W. Thorp. 2011. Evaluating the quality of citizen science data on pollinator communities. *Conservation Biology* 25:607–617.

Farmer, R. G., M. L. Leonard, and A. G. Horn. 2012. Observer effects and avian call-count survey quality: Rare species biases and overconfidence. *Auk* 129:76–86.

Crall, A. W., G. J. Newman, C. S. Jarnevech, T. J. Stoholgren, D. M. Waller, and J. Graham. 2010. Improving and integrating data on invasive species collected by citizen scientists. *Biological Invasions* 12:3419–3428.

Conrad, C. C. and T. Daoust. 2008. Community-based monitoring frameworks: Increasing the effectiveness of environmental stewardship. *Environmental Management* 41:356–358.

Dosta1, P., M. Breznova, V. Kozlickova, T. Herben, and P. Kovar. 2005. Ant-induced soil modification and its effect on below-ground biomass. *Pedobiologia* 49:127–137.

מדע האזרחים גם אצלנו

מידי שנה נערכת בישראל [ספירת ציפורים](#), פרויקט הפונה אל הציבור לזהות ולספור ציפורים בחצר ובגינה. באתר של [המרכז לטיפול ציפורי בר בחצר ובגינה](#) תוכלו לקרוא על הסקר ופעילויות נוספות כולל מגדירי ציפורים נוחים באנגלית עברית וערבית, [מגוון פעילויות ופרויקטים לבתי ספר ולילדים](#).



הפרדוקס העירוני: מדוע נמוך מגוון המינים בעיר?

חוקרים בארצות הברית מנסים להסביר את הסתירה בין צפיפות אוכלוסיה גבוהה לירידה במגוון המינים בסביבת החיים העירונית.

על פי המאמר:

Eyal Shochat, Susannah B. Lerman, John M. Anderies, Paige S. Warren, Stanley H. Faeth, and Charles H. Nilon (2010): Invasion, Competition, and Biodiversity Loss in Urban Ecosys

עיבוד: גילת בריל

א. כאשר בית הגידול משתנה בסביבה הטבעית, לדוגמה התפשטות המדבריות, יש לרוב החלפה של מינים מותאמים פחות לבית הגידול החדש במינים המותאמים אליו יותר (Grimm et al., 2008). לאורך זמן, המגוון הביולוגי נשמר ולא נצפית בו ירידה.

ב. בסביבה הטבעית, צפיפות גבוהה של אוכלוסיות מאפיינת דווקא מגוון ביולוגי רחב. לעומת זאת בעיר מוצאים אוכלוסיות בצפיפות גבוהה אבל ירידה במגוון המינים.

אם כך, בית הגידול העירוני מציב פרדוקס של צפיפות אוכלוסיה גבוהה בד בבד עם ירידה במגוון הביולוגי.

**העובדה שרבים מאיתנו גרים
בסביבה עירונית הופכת את
סביבת החיים הזו לזמינה
לתלמידים, ומקושרת לחיי היום-
יום שלהם**



למה חשוב לחקור וללמד על סביבת החיים העירונית?

יותר ויותר אזורים ברחבי העולם עוברים תהליך של עיור (אורבניזציה), על חשבון מדבריות, יערות, חורש או עשביה טבעית. לכן, סביבת החיים העירונית הופכת להיות נושא חשוב למחקר בניסיון להבין את הגורמים הא-ביוטיים והביוטיים הפועלים על היצורים החיים בסביבה זו. העובדה שרבים מאיתנו גרים בסביבה עירונית הופכת את סביבת החיים הזו לזמינה לתלמידים, ומקושרת לחיי היום-יום שלהם.

מהם המאפיינים של העיר כסביבת חיים?

אחד המאפיינים הבולטים בסביבת החיים העירונית הוא הירידה במגוון הביולוגי: השימוש השונה בקרקע למטרות עירוניות (בניה מאסיבית) והשינויים המשמעותיים בצמחיה גורמים לאובדן בית הגידול הטבעי, וכתוצאה מכך להיעלמות של מיני צמחים ובעלי חיים רבים. בבתי גידול עירוניים חלה תמיד ירידה במגוון המינים לעומת הסביבה הטבעית, ללא קשר למיקום הגיאוגרפי על פני כדור הארץ.

בנוסף, המינים המעטים (יחסית לבתי גידול טבעיים) שחיים בסביבה העירונית מאופיינים בצפיפות אוכלוסיה גבוהה במיוחד יחסית לבתי גידול טבעיים.

מהו הפרדוקס העירוני?

הירידה במגוון המינים בעיר נראית לנו כמעט ברורה מאליה. לרוב יש נטיה ליחס אותה לאובדן בית הגידול הטבעי של מינים רבים. אבל הסבר זה נמצא בסתירה לשתי עובדות שמתקבלות ממחקרים רבים:



מה היתה שאלת המחקר של החוקרים?

הפרדוקס של מגוון ביולוגי מצומצם בד בבד עם צפיפות אוכלוסייה גבוהה באזורים עירוניים מציב איפוא את האתגר למצוא הסבר אפשרי לתופעה.

השאלה שהחוקרים מנסים לענות עליה היא מדוע מספר מיני הציפורים המאכלסים בתי גידול עירוניים הוא לרוב נמוך יותר ממספר מיני הציפורים שנדחקו על ידי העיר. בעוד שהסברים כמו אי התאמה לבית הגידול החדש מסבירים תופעות ברמת המין (species) החוקרים מציעים לבדוק תופעות ברמת החברה (community), כמו יחסי הגומלין בין המינים, ובעיקר את תפקיד התחרות כגורם לירידה במגוון הציפורים בעיר. עיקר המחקר הוא תיאורטי, אבל על מנת להציע את המודלים שפיתחו החוקרים, הם משלבים תוצאות של מחקרים מעשיים שלהם ושל רבים אחרים.

מדוע מספר מיני הציפורים המאכלסים בתי גידול עירוניים נמוך יותר ממספר מיני הציפורים שנדחקו על ידי העיר?

מהו הרקע המחקרי ששימש את החוקרים לגיבוש התיאוריה?

החוקרים אספו מידע על הגורמים העשויים להשפיע על צפיפות האוכלוסייה של הציפורים בעיר:

1. המזון הזמין לציפורים בעיר שונה מהמזון הזמין להן בסביבה טבעית משום שהוא נמצא בשפע, לאורך כל השנה, ללא שינויי עונות משמעותיים, ולרוב גם ללא שינויים משמעותיים משנה לשנה (Marzluf 2001). לעומת זאת, בסביבה הטבעית, כמות המזון מוגבלת ומשתנה על פי העונות ואפילו משנה לשנה.



2. טורפים רבים של ציפורים נמנעים מלהגיע לאזורים עירוניים, אבל כמות הטורפים העירוניים של ציפורים, לדוגמה: חתולים, דביבונים, ועורביים (כמו עורבים, עקעקים, עורבנים), היא גדולה מאוד. ניתן היה לצפות שלחץ הטריפה הגדול יקטין את צפיפותן של אוכלוסיות הציפורים בעיר. בניגוד לכך, יש דיווחים על צפיפות גבוהה של אוכלוסיות של מינים רבים של ציפורים בעיר לעומת אותם מינים בסביבת גידול טבעית. במחקר שנעשה בפריז לאחר שהוצאו ממספר פארקים עקעקים (Magpie, Pica pica) שהם טורפי ציפורים, הסתבר שכמעט שלא הייתה לכך השפעה על השכיחות והרבייה של 14 מיני ציפורים (Chiron and Julliard 2007).

3. התנהגות החיפוש אחר מזון של ציפורים בסביבה הטבעית שונה מהתנהגותן בעיר. במחקרים שבהם נבדקה התנהגות החיפוש אחר מזון של ציפורים בסביבה הטבעית נמצא, שציפורים מלקטות מזון לפרקים קצרים, בקרבת מקומות מחסה. התנהגות זו מרמזת על לחץ טריפה בסביבה הטבעית. לעומת זאת בעיר, פרקי הזמן שהוקדשו לחיפוש אחר מזון היו ארוכים יותר, ובאזורים פתוחים ורחוקים ממקומות מסתור (Bowers and Breland 1996; Schochat, 2004). התנהגות כזו מרמזת על לחץ טריפה נמוך יחסית.

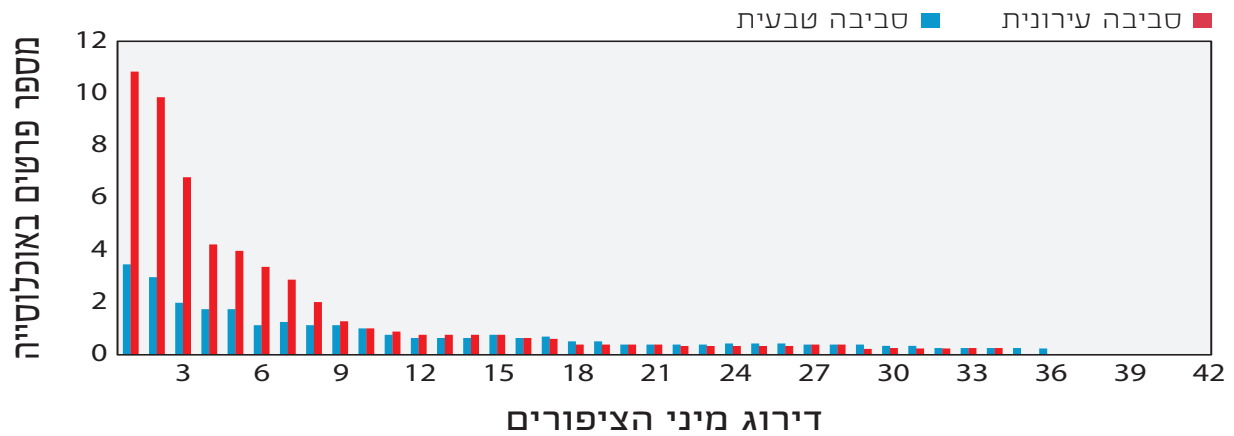
מגוון ביולוגי ופיזור שווה

אחד המאפיינים של מגוון ביולוגי רחב, בנוסף לצפיפות גבוהה של אוכלוסיות, הוא פיזור כמות הפרטים באוכלוסיות של מינים שונים (פיזור שווה=evenness). כלומר, כאשר המגוון הביולוגי רחב, יש כמות דומה של פרטים באוכלוסיות של מינים שונים. לעומת זאת, כאשר המגוון הביולוגי צר, מוצאים מינים שבהם כמות הפרטים באוכלוסיה גדולה באופן משמעותי מכמות הפרטים באוכלוסיה של מינים אחרים.



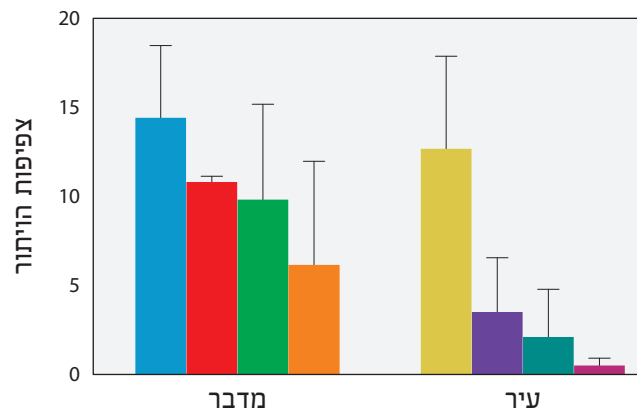
באחד הפרויקטים בארצות הברית שבהם נספרו באופן שיטתי מינים של ציפורים, נבדקה כמות הפרטים במינים שונים של ציפורים בשני בתי גידול: סביבה טבעית (יער) וסביבה עירונית (העיר בולטימור). כפי שאפשר לראות בגרף 1, בסביבה הטבעית יש כמות דומה של פרטים באוכלוסיות של מינים שונים. לעומת זאת, בסביבה העירונית ישנם מינים שבהם כמות הפרטים באוכלוסיה גבוהה בהרבה ממינים אחרים.

תוצאות דומות התקבלו בשני אזורים נוספים שנבדקו בארצות הברית: בשלושתם בסביבה הטבעית קיים מגוון ביולוגי רחב יותר גם מבחינת הפיזור השווה של מספר הפרטים בכל מין.



גרף 1: דירוג מיני ציפורים על פי מספר הפרטים באוכלוסייה בעיר בולטימור לעומת היערות הסמוכים

הסבר לגרף 1: כל עמודה בציר ה-X מייצגת מין אחר של ציפורים. העמודות מוצגות כך, שהמין שבו מספר הפרטים באוכלוסייה הוא הגבוה ביותר הוא בדירוג 1, והנמוך ביותר - בסביבות 36. לכן, מין מסוים יכול לקבל ביער דירוג מסוים ובעיר דירוג אחר. שמות המינים אינם כתובים בגרף, ולכן מוסיפים החוקרים לדוגמה, שדרור הבית עבר מדירוג 11 ביער לדירוג 1 בעיר ואחריו הזרזר ויונת הסלע בדירוג 2 ו-3 בהתאמה. יחד הם מהווים 51% מכלל הציפורים בעיר בולטימור.



גרף 2: יעילות ליקוט גרגרים של מיני ציפורים נפוצות במדבר אריזונה ובעיר פניקס

מלקטי מזון יעילים יותר בעיר

במחקרים נוספים שהחוקרים מסתמכים עליהם נערכו ניסויים שבהם נבדקה יעילות ליקוט המזון של מיני ציפורים (Shochat et al., 2004). החוקרים מפזרים בשטח המחקר מגשים קטנים עם מזון מלאכותי, לדוגמה, זרעים, שמעורבבים בתוך חול. ככל שהציפור מלקטת יותר גרעינים, צפיפותם בחול קטנה, והיא תתקשה יותר ויותר למצוא אותם. בסופו של דבר הציפור מוותרת על הגרעינים שנותרו, וממשיכה למגש אחר שבו הונחו גרעינים. מינים שהם מלקטי מזון יעילים ישאירו בחול גרעינים בצפיפות נמוכה יחסית, וערכי ה"ויתור" שלהם על ליקוט המזון יהיו נמוכים. מינים שהם מלקטי מזון פחות יעילים ישאירו בחול גרעינים בצפיפות גבוהה יחסית, וערכי ה"ויתור" שלהם יהיו גבוהים יותר.

בגרף 2 נראים הממצאים של ערכי הויתור על ליקוט מזון של המינים הנפוצים ביותר של ציפורים במדבר אריזונה והמינים הנפוצים ביותר בעיר פניקס שבארצות הברית.

על פי הגרף אפשר לראות, שהמינים הנפוצים של ציפורים בעיר הם בעלי ערכי ויתור על ליקוט מזון קטנים באופן משמעותי מאשר המינים הנפוצים במדבר (השוואה בין זוגות, $t=4.09$, $N=4$, $p=0.026$). כלומר, מיני הציפורים הנפוצים בעיר הם מלקטי מזון יעילים יותר, ויכולים לנצל כמויות גדולות יותר של מזון מאזור מסוים לעומת המינים הנפוצים בסביבה הטבעית.

מנגנון אפשרי לירידה במגוון הביולוגי בעיר

כיצד יכולים הנתונים הללו לעזור בהבנת התהליך המורכב של הירידה במגוון הביולוגי בעיר?

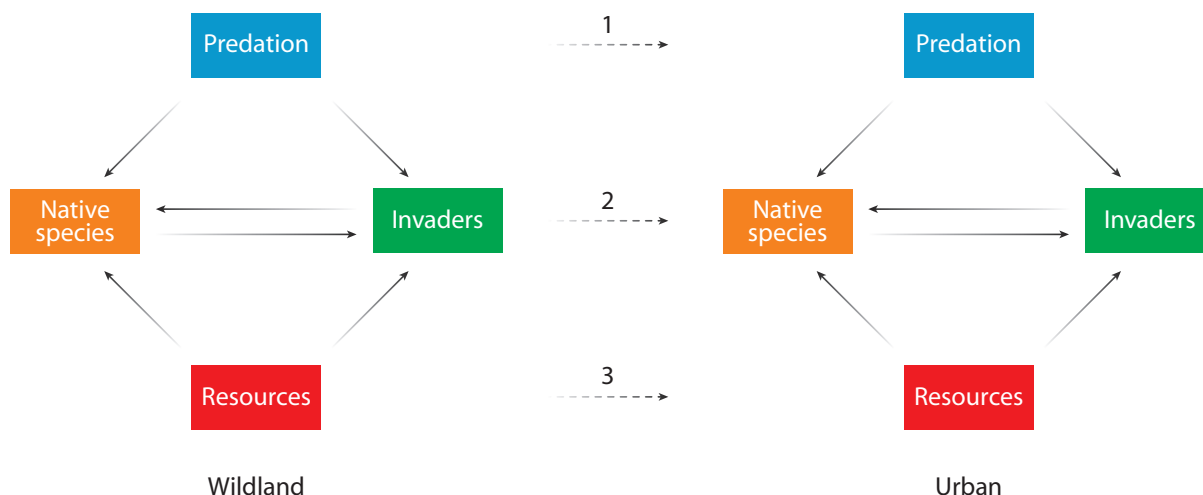
לדעת החוקרים, המנגנון שבאמצעותו נשמר המגוון הביולוגי בסביבה הטבעית מושתת על כך, שבסביבה זו





לעומת זאת, בסביבה העירונית השפע הקבוע במזון והירידה בלחץ הטריפה מצד הטורפים יוצרים כללים אקולוגיים חדשים (Shochat et al., 2006) והיחסים מתהפכים (איור 1): המינים השליטים הם מלקטי מזון באופן יעיל יותר, ולמינים האחרים לא נותר די מזון כדי להתקיים. כלומר, בעיר, מתרחשת דחיקה תחרותית של מינים שאינם שליטים. לאורך זמן, נותרים רק מינים מסוימים, וחלה ירידה במגוון הביולוגי.

המינים השליטים של הציפורים הם מלקטי מזון פחות יעילים (איור 1). ציפורים ממינים אלה אוכלות ראשונות, אבל מותירות די מזון לאחר שהן עוזבות. ציפורים ממינים שאינם שליטים הן מלקטות יעילות יותר, ולכן מסוגלות ללקט את המזון שנותר. בסביבה זו, גודל האוכלוסייה של מינים שמלקטים מזון ביעילות, כמו דרור הבית, מווסת על ידי כמות המזון המוגבלת, וצפיפות גדולה יחסית של אוכלוסיות של טורפים טבעיים. כל זמן שגודל האוכלוסייה של מינים אלה לא עובר סף מסוים, מינים אחרים יכולים לחיות לצידם דו-קיום ואולי אף לשלוט בבית הגידול הטבעי.



איור 1: מנגנון אפשרי לירידה במגוון הביולוגי בסביבה עירונית

הסבר לאיור: המשאבים (לדוגמה, מזון) בסביבה הטבעית (משמאל) מוגבלים. רב המזון נצרך על ידי מיני הציפורים השליטים אבל ביעילות נמוכה. לכן, נותר מזון גם למינים שאינם שליטים, אך מנצלים את המזון ביעילות גבוהה. על שתי האוכלוסיות פועל גם לחץ של טריפה, ולכן המינים היעילים בצריכת המזון אינם השליטים בסביבה זו. יחסי כוחות אלה מאפשרים דו-קיום של שני סוגי המינים לאורך זמן, ולכן נשמר המגוון הביולוגי הרחב. בעיר (מימין) קיים מזון בשפע, ולמרות שאוכלוסיות הטורפים בעלות צפיפות גבוהה, לחץ הטריפה נמוך. לכן, צפיפות האוכלוסיות של מספר מינים יעילים בליקוט מזון עולה, ולא נותר די מזון למינים שאינם יעילים בליקוט. לאורך זמן, לא מתאפשר דו-קיום, המינים המלקטים מזון ביעילות נמוכה נעלמים מהסביבה העירונית, והמגוון הביולוגי מצטמצם.

בסביבה העירונית השפע הקבוע במזון והירידה בלחץ הטריפה מצד השורפים יוצרים כללים אקולוגיים חדשים

מקורות:

1. Rodewald AD, Shustack DP (2008): Consumer resource matching in urbanizing landscapes: Are synanthropic species over matching? Ecology 89: 515-521.
2. Shochat E, Lerman SB, Katti M, Lewis DB (2004): Linking optimal foraging behavior to bird community structure in an urban-desert landscape: Field experiments with artificial food patches. American Naturalist 164:232-243.
3. Grimm NB, Faeth SH, Golubiewski NE, Redman CL, Wu J, Bai X, Briggs JM (2008): Global change and the ecology of cities. Science 319: 756-760.
4. Marzluff JM (2001): Worldwide urbanization and its effects on birds. Pages 19-38 in Marzluff JM, Bowman R, Donnelly R, eds. Avian Ecology and Conservation in an Urbanizing World. Kluwer Academic.
5. Chiron F, Julliard R (2007): Responses of songbirds to magpie reduction in an urban habitat. Journal of Wildlife Management 71: 2624-2631.
6. Bowers MA, Breland B (1996): Foraging of gray squirrels on an urban-rural gradient: Use of the GUD to assess anthropogenic impact. Ecological Applications 6: 1135-1142.
7. Shochat E, Warren PS, Faeth SH, McIntyre NE, Hpoie D (2006): From patterns to emerging processes in mechanistic urban ecology. Trends in Ecology and Evolution 21: 186-191.



כיווני מחקר בעתיד

במאמר נעשה ניסיון להסביר את אובדן המגוון הביולוגי באמצעות מנגנון של דחיקה תחרותית תוך שילוב של תוצאות מחקרים על אוכלוסיות של ציפורים (יעילות בליקוט מזון ופיזור האוכלוסיות). החוקרים טוענים, שעל מנת להבין לעומק את הגורמים לירידה במגוון הביולוגי בסביבה העירונית, יש לשלב את המנגנון של דחיקה תחרותית עם המנגנון של אי התאמה לבית הגדול החדש שחוקרים אחרים (Marzluff, 2001) הציעו ולהמשיך ולבדוק פרמטרים נוספים הקשורים למגוון ביולוגי, פיזור בין אוכלוסיות, לחץ טריפה וזמינות מזון בבית הגידול. אם יובנו לעומק תהליכים וגורמים שמשפיעים על גודל האוכלוסיות של המינים השליטים בערים, אפשר יהיה לנצל את המידע לריסון אוכלוסיות אלה ולשיקום המגוון הביולוגי בסביבה העירונית.

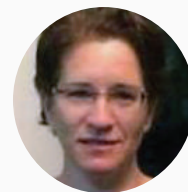




אף ילד לא נשאר בפנים

המחקר העוסק בהוראת אקולוגיה מקבל לאחרונה כיוונים חדשים. לא רק מחקר המתמקד בכותלי הכיתה, אלא גם איך תלמידים מבינים אקולוגיה במסגרת למידה חוץ כיתתית ובהקשר לחברה בה הם חיים. ד"ר אורית בן-צבי אסרף היא חוקרת בתוכנית להוראת המדעים והטכנולוגיה באוניברסיטת בן-גוריון בנגב. הראיון איתה מאפשר הצצה לעולמה של חוקרת אחת בהוראת האקולוגיה: מה שואלים כיום בתחום, אילו מחקרים מתבצעים ומהו לדעתה הקשר בינם לבין מערכת החינוך?

דיוקן



ד"ר אורית בן-צבי אסרף

היא בוגרת תיכון חקלאי בפרדס חנה. עבודת הביטוי שפעשה עסקה ביעילות של קוטלי עשבים במטע הפקאן. האהבה לחקלאות נולדה אצלה במטעי האבוקדו של בית הספר והובילה אותה ללימודי אגרונומיה. עבודת המחקר שלה לתואר שני היתה בנושא אפיון השאריות של חומרי הדברה בקרקע ומים בהנחיית פרופסור ברוך רובין מהפקולטה לחקלאות ברחובות. לאחר שעבדה באיגוד ערים בחינוך והסברה למדה לתואר שלישי במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן בהנחיית פרופסור ניר אוריון בנושא התפתחות החשיבה המערכתית בהקשר למערכות כדור הארץ. עם סיום התואר השלישי הועסקה שנתיים כדוברת מדעית באיגוד התעשיינים. באוניברסיטת בן-גוריון בנגב היא נמצאת משנת 2005. נכון לעכשיו, היא מנחה שש סטודנטיות לתואר שלישי שלושה סטודנטים לתואר שני וסטודנטית אחת לפוסט-דוקטוראט. בנוסף להנחיית המחקרים היא מלמדת בתוכנית להוראת המדעים באוניברסיטת בן גוריון בנגב את הקורסים: ביולוגיה סביבתית, סוגיות מחקריות בהוראת הביולוגיה, תיאוריות למידה והקשרן להוראת המדעים וחינוך סביבתי-מדעי בעידן של פיתוח בר קיימא.

מראיינת: זהר סנפיר

המחקר על הפזורה הבדואית הוא דוגמה ייחודית הממחישה את הצורך בכיווני מחקר העוסקים בקשר בין לימודי האקולוגיה לבין החברה והמקום שאליהם משתייכים התלמידים. לפי ד"ר בן-צבי-אסרף, הוראה קלאסית של אקולוגיה או מדעי הסביבה לא מתאימה לתלמידי הפזורה הבדואית. "רק לדוגמה, מצאנו שאחת ההמלצות בתכנית הלימודים בביולוגיה בבית ספר יסודי לנושא בריאות האדם לכיתות ה'-ו' היא בנושא של רעש. מוצג נזק של רעש כתוצאה מאזניות. זוהי תופעה שלא רלוונטית או אותנטית לילדים בפזורה הבדואית".

תכנית הלימודים, אם כך, צריכה לעבור התאמה לחברה ולמקום שבו גרים התלמידים. "אחת המסקנות מהמחקר המקדים היא שכדי שתלמידים מהפזורה הבדואית בכלל ירצו ללכת לנחל, צריך לקחת אותם בהתחלה למקומות שייצרו אצלם פליאה לטבע. חייבים ליצור אצלם מודל חשיבתי של מהו טבע שהוא מעניין. כמו עין עבדת או נחל הבשור שהם אזורים בנגב שקשורים לסביבה המקומית שלהם אך יש להם ערך אסתטי יותר גבוה."

"לא יכול להיות מצב שבו התצפיות המדעיות של תלמידים שחיים בסביבה מסוימת, במקום פיזי מסוים, לא יושפעו מהמקום שבו הילדים נמצאים ומהחוויית האותנטיות שמעסיקות את קהילת הורי הילדים." משפט זה של ד"ר אורית בן-צבי אסרף מאפיין את תחומי המחקר וגישת ההוראה והלמידה שלה.

למה את מתכוונת בחוויות אותנטיות ובהשפעה של מקום?

"ההקשר החברתי של הנושאים הנלמדים בבתי הספר והזיקה למקום מגוריהם הוא כיוון שמקבל חשיבות גדולה במחקר של הוראת אקולוגיה כיום. יחד עם ההבנה שידע מדעי נרכש על ידי חלק מן האוכלוסייה במסגרת הלימודים התיכוניים, קיימת ביקורת על הרלוונטיות והאותנטיות של למידת מדע וסביבה במסגרת זו, ועל כך שרוב הידע נרכש בגישה קוגניטיבית שבה הוא מנותק מן ההקשר החברתי והמקומי."

"אחד המחקרים שלנו עוסק בתלמידים מהפזורה בדואית לתלמידים אלה אין מודל של הנאה מהטבע. הם חיים בסביבה שיש בה זיהום סביבתי ובריאותי מאוד קשה, אם זה בעקבות שריפת פסולת או השלכת גופות של בע"ח לנחל."

רוב הידע נרכש בגישה קוגניטיבית שבה הוא מנותק מן ההקשר החברתי והמקומי פעם ראשונה שהניקוי הפיזי של הנחל וההסדרה של הטיפול בפסולת הולכים יד ביד עם תכנית לחינוך סביבתי הן ברמת בית הספר והן ברמת הקהילה

איך נראית תכנית לימודים בגישה תלוית מקום?

ד"ר בן-צבי-אסרף מספרת על פרויקט למידה חוץ כיתתית מבוססת מקום בנחל חברון וסביבתו. "מדובר בתכנית לשיקום נחל חברון, שמופעלת על ידי החברה להגנת הטבע ושותף לה המשרד להגנת הסביבה. בתכנית משתתפים ילדים מהפזורה הבדואית מבית ספר יסודי (כיתות ה'-ו') שעושים פעילויות של החברה להגנת הטבע בסביבה החוץ-כיתתית. מדובר ב-200-300 ילדים שיתחילו את התהליך בכיתה ה' ויהיה מעקב אחריהם אפילו עד כיתות ט' (לפחות ה'-ו'). ב-3 השנים הקרובות הדוקטורנטית וויסאם סידווי תחקור כיצד ובאיזו מידה מפתחים הילדים מיומנויות של תצפית, זהות מקום וזיקה לטבע."

"מה שיוצר פוטנציאל טוב במיוחד לפרויקט בנחל חברון הוא, שזו הפעם הראשונה שהניקוי הפיזי של הנחל וההסדרה של הטיפול בפסולת על ידי המשרד להגנת הסביבה הולכים יד ביד עם תכנית לחינוך סביבתי הן ברמת בית הספר והן ברמת הקהילה."

קל להבין את הצורך בהתאמה לאוכלוסיות בעלות תרבות שונה וייחודית כמו הבדואים בנגב. אבל איך מתקשר הרעיון לשאר האוכלוסיות בחברה?

לפי ד"ר בן-צבי-אסרף, לכל התלמידים צריך להיות קישור בין הנלמד לבין הסביבה החברתית והפיזית שבה הם חיים. "למידה חוץ כיתתית מבוססת מקום (place-based education) הוא גישה שמאוד התחזקה בשנים האחרונות. נקודת המוצא היא למידה תלוית-מקום (situated learning), שמנסה לקדם את עקרונות הקיימות הסביבתית בהקשר למקום, לתרבות ולקהילה. הרעיון הוא ללמד את הידע והניסיון הרלוונטיים לתלמידים לגבי סביבתם הטבעית והקורבה כדי להשתתף באופן פעיל בתהליכים דמוקרטיים ולמצוא פתרונות לבעיות חברתיות וסביבתיות שונות. לכן, הסוגיות המדעיות והמושגים המדעיים שנלמדים בבית הספר חייבים להיות מחוברים לעולם האמיתי ולסוגיות שהקהילה של הילדים עוסקת בהן. בהקשר זה ניתן לומר כי למרות המאמצים הרבים, לסביבת הלימוד התוך-בית ספרית יש יכולת מוגבלת לגעת בעולם המציאות הרלוונטי לעולמו של התלמיד. על כן, יישום המושגים



Eberbach, C., & Crowley, K. (2009). From Everyday to scientific observation: How children learn to observe the biologist's world. *Review of Educational Research*, 79, 39–68.

"אני חושבת שחלק גדול מעבודת המורה למדעים הוא העיסוק בתצפיות. אבל לא מספיק ברור לנו מהי תצפית טובה של תלמידים: מה יחשב כהצלחה במיומנויות של התצפית שאותה התלמידים מפתחים בתהליך הלמידה, ולא בשינוי התפיסתי של תלמידים שיקרה כתוצאה מהתצפית. המאמר הזה מראה את זה מאוד יפה במעבר משירון למומחה במיומנות של תצפיות."

יישום המושגים "אותנטיות" ו"רלוונטיות" כמרכיבים מרכזיים בתהליך הלמידה, דורש את הרחבתן של סביבות הלימוד אל מעבר לכותלי בית הספר

יש ממצאים מעניינים?

"בדקנו את החשיבה המערכתית והעמדות לגבי הטבע לפני המחקר האקולוגי של התלמידים ולאחריו, וביצענו תצפיות בתלמידים תוך כדי המחקר שהם ביצעו. אנחנו מוצאים שמתפתחת אצל התלמידים הבנה אקולוגית מערכתית מקומית, אבל ישנם קשיים בהתפתחות החשיבה המערכתית במימד המרחב (כלומר השוואה בין מערכות אקולוגיות שונות בארץ) ובמימד הזמן (במשך מספר עונות בשנה). יכול להיות שאלו היבטים שצריך להדגיש יותר בתכנית."

לא מצאנו שינוי בתפיסות כלפי טבע או בזיקה רגשית כלפיו, מפני שכנראה שהתלמידים הגיעו עם יחס חיובי לטבע מלכתחילה. בתכנית משתתפים בתי ספר ממצב סוציו-אקונומי גבוה, שבהם תלמידים מצוינים שיש להם רציה חברתית של טבע ונחשפו לנושא הסביבתי בעבר."



"אותנטיות" ו"רלוונטיות" כמרכיבים מרכזיים בתהליך הלמידה, דורש את הרחבתן של סביבות הלימוד אל מעבר לכותלי בית הספר.

הטענה השנייה היא, שהוראת מדע בעולם הפכה להיות מאוד כללית. אין בה מקום לתרבויות ולגישות שונות. יש בה פיזה ושימס שהם בין לאומיים. בהתאם, תכניות הלימודים הן כלליות. לעומת זאת, הגישה שהיא מבוססת מקום אומרת, שכשלומדים ביולוגיה וסביבה, חייבים להיות מחוברים לסביבה הפיזית, ולכן חייבת להתבצע למידה חוץ כיתתית. לדעתי הסביבה הפיזית צריכה להיות מקור לזוהת-מקום. אנחנו כן רוצים שילד שגדל במושב דור, ליד הים, מול רכס הכרמל יהיה מחובר לסביבתו הפיזית.

למידה מבוססת מקום היא תחום מחקר אחד שאת עוסקת בו. מה לגבי כיווני מחקר נוספים שלכם בתחום של הוראת אקולוגיה?

ד"ר בן-צבי-אסרף מזוהה מאוד עם חשיבה מערכתית בשל עבודת הדוקטוראט שלה במכון ויצמן על חשיבה מערכתית בקרב תלמידי חטיבת הביניים בתחום של מדעי כדור הארץ. בעיניה, אקולוגיה ומדעי הסביבה הם התחום שבו אפשר לפתח חשיבה מערכתית.

היינו מצפים, שכדי לעודד תפיסה חיובית ורגש חיובי כלפי הטבע, וכדי לפתח חשיבה מערכתית, צריך לפתח תכנית לימודים המבוססת על למידה חוץ-כיתתית לאורך זמן במערכות אקולוגיות בסביבה טבעית. זוהי הנחת המפתחים בפרויקט מחקר אקולוגי בסביבת LTER – EDU ברמת הנדיב.

"שאלת המחקר של הסטודנטית שי-לי דור חיים היא כיצד תלמידים המשתתפים במחקר אקולוגי ארוך טווח ברמת הנדיב במהלך שנה אחת מפתחים חשיבה מערכתית אקולוגית, והאם המפגש עם הסביבה הטבעית משפיע על התפיסות שלהם כלפי טבע. מדובר במחקר עיצוב על תכנית הלימודים: "מה הקשר בין נשר לנשר?" התלמידים שהשתתפו במחקר היו בכיתות ח' ו-ט'. הם הגיעו ל-2-3 סיורים ברמת הנדיב ועוד 2 סיורים במערכת האקולוגית. מדובר בתכנית שנתית של שתיים שבועיות, עם הרבה סיורים."

Eilam, B. (2012). Systems thinking and feeding relations: Learning with a live ecosystem model. *Instructional Science*, 40(2), 213–239.

המאמר מתאר התפתחות חשיבה מערכתית של תלמידי כיתה ט' תוך כדי חקר של מודל חי כמו אקווריום במהלך שנת למודים שלמה. הוא מפרט מרכיבים רבים מאוד של חשיבה מערכתית על מערכת אקולוגית בצורה יסודית מאוד. "אני אוהבת את הגישה הטוענת ש"לחקור מערכות אקולוגיות חיות זו המהות של ביולוגיה", וכמו כן ש"ההבנה של מערכות מורכבות היא חיונית על מנת להבין לעומק נושאים סביבתיים, כמו אלה הקשורים להשפעת האדם על המגוון הביולוגי. התפיסה שלי היא שאורגניזמים בטבע הם תמיד במערכת אקולוגית. הסקרנות של האדם לגבי עולם החי נובעת מההקשר שבין המערכת האקולוגית לבינו. אני חושבת שצריך לחדד בהוראת הביולוגיה את היות האדם יצור חי במערכת אקולוגית. לכן אני מאוד אוהבת את הגישה הזאת.

זה לא מפתיע שאין שינוי בתפיסות לגבי הטבע אחרי כל כך הרבה השקעה של זמן ולימודים?

"אני ממליצה להפריד בין חוויות בטבע לבין חקר קוגניטיבי-מדעי בטבע. התלמידים לא יכולים לחבוש את שני הכובעים הללו בו-זמנית, במיוחד בכיתות מצוינות בהן התלמידים מאוד ממוקדי-משימה ומעורבים בתהליך הלמידה. אי אפשר להגיד "בואו נסתכל עכשיו רבע שעה על הנשרים", אחרי שעשינו מחקר אקולוגי במשך ארבע שעות.

הקושי העיקרי לדעתי בלמידת אקולוגיה ומדעי הסביבה הוא לא בהיבט הקוגניטיבי אלא בהיבט הרגשי. "הרבה מאוד מחקרים בסביבה אורבנית" מספרת ד"ר בן-צבי-אסרף, "הראו שילדים מפתחים ניכור לסביבה האורבנית שלהם. הילדים הם כאילו עוברי אורח. לא באמת מרגישים שייכים למקום. דיווחים בספרות מעידים על כך, שתלמידי תיכון בכל העולם וגם בישראל לא מרגישים מחוברים לטבע ו"זיקה לטבע" זרה להם. צריך להיות משהו שמעביר באופן ברור את המסר שהטבע מספק הנאה. לדעתי חטיבת ביניים זה מאוחר מידי - חייבים להתחיל מגיל הגן. ילדים חייבים להיחשף להתנסויות בסביבה טבעית בגיל צעיר כדי לפתח עוגנים ומודלים חשיבתיים של טבע".

את מזכירה את הצורך בהתנסות בסביבה הטבעית בגילאי הגן. מה יכולה להיות המטרה, לדעתך, של הוראת אקולוגיה בתיכון?

"גולת הכותרת של לימודי האקולוגיה בתיכון צריכה להיות מחקר אקולוגי ארוך טווח של מערכת אקולוגית בסביבה הטבעית. אני חושבת שאחד הדברים הבולטים במחקר אקולוגי ארוך טווח הוא פיתוח מיומנויות של מחקר, שהן מעבר לידע המדעי עצמו. כלומר, אם אנחנו רוצים לחשוף תלמידים לעבודת החוקר או המדען, ולפתח הבנה מדעית שתבוא יד ביד עם הבנת מהות המדע ואיך מדענים עובדים, אני חושבת שמחקר אקולוגי ארוך טווח הוא פלטפורמה מאוד טובה. זה יכול להיות גם מחקר ביולוגי ארוך טווח במעבדות בבתי חולים. כל תהליך שהוא ספירלי וארוך-טווח והתוצר שלו משמעותי ללומד בעיניי הוא בסדר. חשיפה למגוון רחב של חלונות הצצה קטנים יכולה ליצור עניין, אבל לא יעילה בהבנת מהות המדע. לכן חשוב

שתלמידים יוכלו להתנסות במחקר אקולוגי ארוך טווח.

ד"ר בן צבי-אסרף היתה שמחה לראות התמקדות גדולה יותר בלימודי האבולוציה משום שהיא רואה באבולוציה אחד מהרעיונות המרכזיים בהבנת הביולוגיה: "האתגר העכשווי עימו מתמודדת הוראת האקולוגיה הוא אופן שילוב נושא האבולוציה בהוראת האקולוגיה. "תפיסת האבולוציה כרצף תהליכים תלוי גורמי סביבה וגורמים תורשתיים, תורמת לתלמידים ראייה רחבה, ברורה יותר ומובנת יותר של הביולוגיה בכל נושאי הלימוד ומכאן החשיבות הגדולה בהוראת הנושא".

האם את רואה דרך שבה המחקר בהוראת המדעים תורם להוראה בפועל?

לתפישתי המחקר בהוראת המדעים מספק תובנות רבות לגבי המאפיינים של תהליכי למידה וסביבות למידה התורמים ללמידה משמעותית.

פעם בשנתיים מתקיים סמינר דוקטורנטים בהוראת המתמטיקה, המדעים והטכנולוגיה. משתתפי הסמינר הם תלמידי תואר שלישי אשר הגישו הצעת מחקר, העתודה המחקרית והמקצועית בתחומים אלו בישראל. הייתי רוצה להציע שיתוף פעולה הדוק יותר בין משרד החינוך לבין החוקרים והמחקרים בתחום כך שאפשר יהיה ליישם בפועל בהוראת הביולוגיה, האקולוגיה והסביבה את התובנות והמסקנות מתשעת הסמינרים שהתקיימו לאורך השנים.

לאור זאת, איזה מסר היית רוצה להעביר לציבור מורי הביולוגיה ומדעי הסביבה בתיכון?

אני באמת מאמינה שלא ניתן ללמד אקולוגיה רק בכיתה. להתנסות ולחוות בלמידה חוץ כיתתית השפעה משמעותית על תוצרים קוגניטיביים, חברתיים, בין אישיים והתנהגותיים של התלמידים. החיבור לסביבת למידה חוץ כיתתית, השמה דגש על תצפיות בעולם החי והצומח מהווה מרכיב מהותי של אוריינות מדעית - סביבתית. לסיסמה אף ילד לא נשאר בפנים (Pyle, R. M. 2007: No child left inside) יש חשיבות קריטית להוראת האקולוגיה. מבחינתי זה הבסיס של הוראת האקולוגיה.



מחקרים נוספים בהנחית אורית בן-צבי אשרף שאינם קשורים ישירות להוראת אקולוגיה בבתי הספר:

חינוך סביבתי:

למידה משפחתית בגן חיות התנכי בירושלים. איפיון תפישות כלפי טבע בקרב מבקרים בגן. במחקר זה, שנערך על ידי הדוקטורנטית חגית טישלר, אופיינו תהליכי הלמידה המתרחשים במהלך סיור בגן החיות בקרב משפחות. באמצעות שאלונים פתוחים, תצפיות וראיונות עומק, המחקר של חגית צייר תמונה מלאה, עד כמה שניתן, של חוויית הביקור בגן החיות כסביבת למידה הכוללת את התצוגות, בעלי החיים והצוות שבא במגע עם המבקרים.

חינוך מדעי:

א. חקר התפתחות הבנת גוף האדם כמערכת בקרב תלמידי תיכון- מחקר אורך.
במחקר אורך זה, נעשה מעקב אחרי תלמידי מגמת ביולוגיה מתחילת כיתה י' ועד סוף י"ב. בניסיון לבדוק אילו מאפיינים של חשיבה מערכתית התלמידים מפתחים תוך כדי תהליך הלמידה של נושא גוף האדם. זהו מחקר משותף של הדוקטורנטית זיקלין טריפטו ופוסט-הדוקטורנטית זהר סנפיר.
ב. עמדות כלפי יעוץ גנטי בקרב סטודנטים במגזרים שונים.
המחקר של הדוקטורנטית מרב סיאני עוסק בשאלה מהם המאפיינים של אוריינות גנטית בעיקר בהקשר של עמדות לגבי ייעוץ גנטי כמרכיב בתוך אוריינות גנטית של סטודנטים דתיים וחילוניים במוסדות להשכלה גבוהה.

סביבות למידה בלתי פורמאליות

חקר אינטראקציות ותהליכי תיווך במוזאון מדע - פארק קרסו החדש בבאר שבע.
זהו פרויקט הדוקטורט של נטע שאבי, בהנחיה משותפת עם פרופ' טלי טל מהטכניון. חדשנותו של הפרויקט בכך שלראשונה ישנו מעקב ארוך טווח המאפיין תהליכי למידה של תלמידים בבתי ספר יסודי שמגיעים לפארק קרסו החדש למדע בבאר שבע שלוש פעמים בשנה במשך שלוש שנים מכיתה ד' עד ו'.

לא כל כך פשוט להתבונן: כיצד יכולים תלמידים ללמוד להתבונן באופן מדעי?

תלמידים לומדים על העולם הסובב אותם מתוך התבוננות יום-יומית, אבל מתקשים לבצע התבוננות באופן שיטתי ומדעי. מדוע קשה לתלמידים להתבונן באופן מדעי? מה מאפיין את ההתבוננות של תלמידים צעירים בחיי היום-יום ואיך אפשר ללמד אותם להתבונן באופן מדעי?

על פי המאמר:

Eberbach Catherine and Crowley Kevin (2009): From everyday to Scientific Observation: How Children Learn to Observe the Biologist's World. Review of Educational Research 79(1): 39-68.

עיבוד: גילת בריל



תצפית היא הבסיס של תהליך החקר. מדענים מבצעים תצפיות ומתבוננים בתופעות על מנת להעלות השערות ולאסוף נתונים אמין (Mayr, 1997). לכאורה, נראה שהתבוננות בתופעה היא משימה קלה יחסית: תופעות מתרחשות, אפשר להתבונן בהן ולתעד אותן. בנוסף, אנו רואים תופעות בתדירות יום-יומית, ואין ספק שתלמידים לומדים באמצעות התבוננות על העולם הסובב אותם (Rogoff et al., 2003).

אולם התבוננות באופן מדעי דורשת יותר מאשר קליטה באמצעות חוש הראיה בלבד. כדי להמחיש זאת, נשתמש בדוגמה של [תכנית לימודים של מרכז הצפרות בקורנל](#) (Trumbull, Bonney, & Grudens-Schuck, 2005), סמוך לעיר איתקה שבמדינת ניו-יורק בצפון ארצות הברית. בתכנית זו תלמידים בחטיבת הביניים מתבקשים להניח מתקני האכלה לציפורים ברחבי בית הספר ולצפות בציפורים באופן שיטתי כחלק מתהליך של חקר מדעי. העיסוק בחקר ואיסוף המידע מהתצפיות היו אמורים ליצור ידע חדש. אולם, כאשר נבדקו הידע המדעי של התלמידים בתחומי התוכן של תכנית הלימודים ומיומנויות החקר שלהם, נמצא שלא היה בהן שינוי. מה השתבש?

בדיקת תכנית הלימודים העלתה, שהמפתחים הניחו שצפייה בציפורים היא עניין פשוט, ולא התייחסו למורכבות של עריכת תצפיות באופן מדעי. התלמידים התקשו לזהות ציפורים בתעופה, להבדיל בין פרטים כאשר ספרו את מספר הציפורים באוכלוסיה ולשאול שאלות על הציפורים שבהן צפו (Trumbull et al., 2005). כמו כן, הם הציבו את מתקני האכלה במקומות שהיו נוחים עבורם לצפייה בציפורים ולא בהכרח במקומות שימשכו ציפורים להגיע ולאכול. לעומתם, חוקרי



לתרבות יש השפעה משמעותית על ההתבוננות. לדוגמה, ישנן תרבויות שבהן הילדים מצופים להשתתף בפעילויות טקסיות או מבצעות של החברה בה הם חיים, להתבונן ולבצע בו בזמן מספר התנהגויות ומשימות. לעומת זאת, בתרבויות שבהן ההתבוננות אינה אמצעי הלמידה המרכזי של ילדים, כמו בתרבויות מערביות, ילדים מצופים לבצע פעילויות בנפרד, זו אחר זו, שלב אחר שלב, ולהסתמך על הסברים ולא בהכרח על התבוננות. לדוגמה, בפעילות משותפת של הורים וילדים במעמד הביניים בארצות הברית נמצא שההורים ראו צורך להסביר לילדים את התופעות שהם רואים (Ash, 2003).

(D. Ford, 2005). ללא קישורים אלה, התלמידים שהציבו מתקני האכלה לציפורים ראו תופעות באופן שטחי, ולא הצליחו להתבונן בהן לעומק.

היבט שלישי הוא, שלמרות שתלמידים מתמחים בתצפיות באופן יום-יומי וכך לומדים על העולם הסובב אותם (Meltzoff, & Kuhl, 1999), הם זקוקים לתמיכה כדי להתבונן באופן מדעי ושיטתי. לדוגמה, מעט מידע לגבי היכן כדאי להציב את מתקני האכלה יכול היה לשפר את התצפיות.

לבסוף, ההיבט הרביעי הוא שמומחים בתחומם יודעים לזהות דגמים מורכבים שעוזרים להם להעניק משמעות לתצפית (Ericsson, 1996), בדומה למומחים במשחק שחמט שיכולים לדמיין מהלכים רבים ומצבים רבים של כלי המשחק על לוח השחמט. חוקרי ציפורים מחפשים ללא הרף סימנים המבדילים בין פרטים באוכלוסיית ציפורים, בעוד התלמידים התקשו אפילו להבדיל בין מיני ציפורים שונים.

הדרך שבה תלמידים צעירים מתבוננים: מאפייני ההתבוננות היום-יומית

כל אלה מצביעים על כך, שההתבוננות באופן מדעי שונה מההתבוננות היום-יומית. מה מאפיין את ההתבוננות של תלמידים צעירים בחיי היום-יום? ביצענו סקירת ספרות הכוללת מאמרים מתחומים שונים: פסיכולוגיה חינוכית, הוראת המדעים ומחקרים מדעיים, וחילקנו את הידוע על המאפיינים של ההתבוננות של תלמידים צעירים בהקשרים מדעיים לשלושה נושאים: יכולת הבחנה (noticing), צפיות (expectations) ותיעוד (records).

יכולת הבחנה

היכולת להבחין היא הבסיס לכל התבוננות. מדענים מומחים מבחינים במימדים רבים של תופעה: מימדים מקרוסקופיים ומיקרוסקופיים, חדש לעומת מוכר, מוחשי ומופשט. לעומתם, תלמידים מבחינים לרוב בגודל יחיד, במה שקרוב אליהם פיזית,

ציפורים מנוסים יודעים לזהות תנאים סביבתיים שונים שהופכים את מתקני האכלה לאפשריים או מושכים עבור הציפורים. הם מפעילים תבניות מורכבות של זיהוי ציפורים בתעופה וזיהוי פרטים שונים באוכלוסייה. הם שואלים שאלות המתקשרות לתיאוריות ולתובנות הקשורות לתחום. כל אלה פשוטים עבור חוקרי ציפורים, משום שהיו להם הזדמנויות רבות לתרגל אותם ולהתמחות בכל הקשור לצפייה בציפורים, אך מורכבים ביותר עבור תלמידים.

דוגמה זו ממחישה מספר היבטים הקשורים לפיתוח התבוננות באופן מדעי: ההיבט הראשון הוא, שהתבוננות שיטתית היא מיומנות מורכבת, אבל לרוב רואים בה מיומנות פשוטה שבה יש צורך רק להבחין במרכיבים שטחיים ולתאר אותם (Chinn and Malhotra, 2001). כתוצאה מכך, התלמידים שהציבו מתקני האכלה ראו תופעות בלי לפתח ידע חדש ובלי לקשר אליהן הסברים מדעיים.

ההיבט השני הוא שהמיומנות של התבוננות מדעית משתנה בהתאם לתחום התוכן, ואינה מיומנות כללית. על מנת להתבונן באופן שיטתי יש לקשר את ההתבוננות לידיע, לתיאוריה וליישומים של התחום הרלוונטי



התבוננות באופן מדעי דורשת יותר מאשר קליטה באמצעות חוש הראיה בלבד

ובמה שמוכר להם (Gopnik, 1996, p. 492). לדוגמה, תלמידים צעירים צעירים נוטים להבחין בנוף המוכר להם בעצמים נפרדים: גזע עץ, בועות בזרם מים של נחל, ואינם נוטים להבחין בנופים רחוקים מהם או במספר עצמים בנוף שיש ביניהם קשר כלשהו (Hart, 1979).

הנטייה להבחין במאפיינים ובאירועים יחידים, באופן מנותק מעדויות אחרות שקיימות בתופעה, מאפיינת גם תלמידים בוגרים יותר, שמתקשים להבחין באוכלוסיות (אלא יותר בפרטים מתוך האוכלוסיה), בפיזור בשטח או בפיזור באוכלוסיה, בסדר היררכי או במערכות מורכבות. לדוגמה: תלמידי כיתה ז' העלו לרוב הבדל מורפולוגי יחיד כאשר השוו בין שני דגים (Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004), ותלמידי כיתה ה' התמקדו באופן ספונטני בצמחים יחידים ולא באוכלוסיות של צמחים כאשר עקבו אחר גדילה של צמחים (Lehrer & Schauble, 2004). בדומה לכך, כאשר תלמידים עוסקים במודלים, הם לרוב מעלים רק חלק מהגורמים שאפשר לשנות על מנת לבדוק את המודל (Klahr, Fay, & Dunbar, 1993). לכן, פעמים רבות כאשר תלמידים נדרשים להביא עדויות התומכות בהשערה מסוימת הם מתקשים לעשות זאת, ומצליחים להעלות עדות יחידה בלבד.

מדוע הם עושים זאת? אפשר היה לטעון, שתלמידים צעירים חושבים באופן קונקרטי, ומתמקדים במאפיינים בולטים של תופעות משום שהם לא יכולים להבין קשרים מופשטים וסיבתיים שאינם נראים לעין. אילו טענה זו היתה נכונה, צריך היה לצפות לכך שעם הגיל, תשומת הלב של תלמידים צעירים תינתן גם למאפיינים מופשטים. אולם העדויות ממחקרים מראות שאין זה המקרה. לדוגמה, ניתוח הסברים של תלמידים מראה שהם

מדגישים תהליכים ביולוגיים מוחשיים כמו התנהגות וגדילה, ואינם עוסקים בתהליכים מופשטים, ללא קשר אם התלמידים הם בבית ספר יסודי, חטיבת ביניים או חטיבה עליונה (Abrams, Southerland, & Cummins, 2001). כמו כן, מבוגרים ותלמידים התייחסו למרכיבים המבניים של אקווריום כמערכת מחקר, ולא לתפקודם כחלק ממערכת דינאמית מורכבת (Hmelo-Silver, 2007). מחקרים כאלה מראים, שלא מדובר רק בהסבר התפתחותי להתבוננות במרכיבים באופן מנותק.

הסבר אפשרי נוסף יכול להיות, שתלמידים צעירים מתמקדים במרכיבים שנראים לעין ובאופן מנותק זה מזה משום שחסר להם ידע בתחום התוכן (Johnson & Mervis, 1997). לדוגמה, במחקר שבו ילדים בני חמש בעלי ידע מועט ביותר בציפורי חוף השוו בין מינים שונים של ציפורים, הם התייחסו למרכיבים מורפולוגיים בלבד. עם הזמן, ככל שהידע שלהם על ציפורי חוף התפתח, התפתחה גם יכולתם להבחין להשוות ולקשר בין מרכיבים פיזיים והתנהגותיים רבים, ולמצוא מאפיינים של ציפורי חוף שמבדילים ביניהם לבין ציפורים אחרות (Johnson and Mervis, 1994). לעומת זאת, במחקר שעסק בפעילות חקר על חסילונים של תלמידים בני 12 ללא ידע בתחום, התלמידים, כצפוי, התייחסו למרכיבים הבולטים ביותר כמו צבע והתנהגות של החסילונים, אבל לא קישרו ביניהם לבין הזויג, לדוגמה. למרות העניין הרב שיצרה הפעילות, התלמידים רשמו אירועים מנותקים זה מזה, וכללו בהם מרכיבים רלוונטיים ובלתי רלוונטיים (Tomkins & Tunnicliffe, 2001). כלומר, כאשר תלמידים צעירים נחשפים לפעילות ללא ידע בתחום, התבוננות בתופעה הופכת לכלי בלתי מתאים לאיסוף נתונים במקום כלי המעודד חשיבת חקר.

ציפיות

חשיפה חוזרת ונשנית לתופעות יוצרת אצל תלמידים צעירים את הציפייה לכך שהן יתרחשו. לדוגמה, עם רדת הלילה נצפה





להבחין בירח ובכוכבים כפי שקורה בכל לילה. פעוט מצפה לכך שצמצועים מסוימים יצופו באמבטיה ואחרים ישקעו. הקשר בין תופעה לציפייה להתרחשות של תופעה יכול להיות גם בכיוון הפוך: הציפייה של תלמידים צעירים יכולה להשפיע על יכולת ההבחנה שלהם. כלומר, תלמידים צעירים יכולים לעיתים להבחין רק במה שהם מצפים לראות ומתאים לניסיון חייהם, ומתעלמים ממה שסותר את הידוע להם והבלתי צפוי (Klayman and Ha, 1987). לדוגמה, הציפייה לראות את הירח זורח רק בלילה גורמת לכך שתלמידים צעירים מתקשים להבחין בירח הזורח גם ביום (Vosniadou & Brewer, 1994). דוגמה אחרת מגיעה מניסוי שבו התבקשו תלמידים צעירים לאזן אבני משחק בצורות גיאומטריות שלרוב מרכז הכובד שלהן נמצא במרכז הצורה. כאשר נתנו לתלמידים הצעירים צורות כאלה שמרכז הכובד שלהן שונה באופן שלא נראה לעין, התלמידים המשיכו שוב ושוב לאזן את הצורות על פי מרכז הכובד הצפוי, ולא על פי מרכז הכובד בפועל למרות כישלונות חוזרים ונשנים (Karmiloff-Smith and Inhelder, 1975).

קושי נוסף ביכולת ההבחנה של תלמידים צעירים נובע מהמורכבות של התופעות היום-יומיות. ללא ידע או ניסיון מספיקים, קשה מאוד למתבוננים בתופעות מורכבות להבחין במרכיבים השונים ולבודד מתוכם את המרכיבים הרלוונטיים.

השילוב בין מורכבות התופעות לבין הציפייה להתרחשותן של תופעות והנטייה לחפש עדויות מאשרות לניסיון קודם מקשה על תלמידים להתבונן באופן מדעי בתצפית שלהם.

יכולת לתעד

תלמידים צעירים אינם נלהבים לתעד את התצפיות שלהם, אפילו כאשר הם מתלהבים מהתצפית עצמה (D. Ford, 2005). הספרות מוצפת בדוגמאות שבהן תלמידים צעירים ערכו תצפיות מבלי לתעד אותן. לדוגמה, בפעילות משותפת הורים וילדים של ניסוי מדעי ילדים בני 9-12 תיעדו 5% מהנתונים, בעוד שההורים תיעדו 77% מהנתונים (Gleason & Schauble, 2000). תלמידים צעירים אינם נוטים לתעד באופן ספונטני: לא לשם תכנון ניסוי ולא לשם הסקת מסקנות, אלא נוטים לפרש תוצאות ולהסיק מסקנות על פי הזיכרון שלהם מהתצפית או על פי הנחיית המבוגר הנוכח (Gleason & Schauble, 2000). גם כאשר תלמידים צעירים מתעדים את התצפיות שלהם, התיעוד נעשה בדרך שאינה עוזרת להם לפתח ידע מדעי או ליצור הסברים: המידע המתועד הוא חלקי או לא רלוונטי

למטרת הניסוי (Schauble, 1990). במצב כזה, התיעוד אינו מסייע לתלמידים הצעירים ליצור הקשרים לרעיונות מרכזיים או להסברים מדעיים.

מדוע לתלמידים צעירים קשה כל כך לתעד באופן שיאפשר הסברים מדעיים? מחקרים מראים שיש גורם התפתחותי (מיומנות המתפתחת עם הגיל) המשפיע על היכולת לתעד, שכן תלמידים צעירים מתקשים במיומנות זו יותר מתלמידים בוגרים. היכולת לתעד מתפתחת עם הגיל והופכת להיות מדויקת יותר ומורכבת יותר (Triona & Klahr, 2006), מה גם שתלמידים בוגרים מודעים יותר לצורך לתעד על מנת לתמוך ביכולת הזיכרון שלהם.

אולם, קימות עדויות לכך, שהקושי לתעד קיים גם אצל אנשים בוגרים (Duschl et al., 2007), ולכן אי אפשר להסתפק בהסבר התפתחותי. גם כאן יש עדויות לכך שידע מועט בתחום התוכן מקשה על היכולת לתעד (Roth & McGinn, 1998), ובנוסף גם מטרות התיעוד וההוראות כיצד לתעד לא ברורות (Trumbull et al., 2005).

**למרות שילדים מתמחים
בתצפיות באופן יום-יומי וכך
לומדים על העולם הסובב אותם,
הם זקוקים לתמיכה כדי להתבונן
באופן מדעי ושיטתי**

תלמידים רגילים להבחין במספר מועט של מאפיינים של ציפורים. מאפיינים אלה יכולים להיות מאפיינים מקובלים (מקור חד ומעוקל) או בלתי מקובלים במדע (שירה עצובה). חלקם של מאפיינים אלה מנותקים מידע על ציפורים. המטרה היא להביא אותם ליכולת של מדענים להסיק על התנהגות הציפור ועל התפקוד שלה מתיאור מאפיינים מורפולוגיים מקובלים במדע. שלב הביניים המוצע כאן הוא, לאפשר לתלמידים להשתמש במאפיינים שנקבעו על ידי אחרים, לדוגמה במגדיר ציפורים (בד בבד עם הנחיות כיצד להשתמש במגדיר) ואחר כך לקשר בין המאפיינים לבין התפקוד וההתנהגות של הציפורים.

כאשר ילדים נחשפים לפעילות ללא ידע בתחום, התבוננות בתופעה הופכת לכלי בלתי מתאים לאיסוף נתונים במקום כלי המעודד חשיבת חקר

על מנת למנף את שלב הביניים, רצוי להפעיל גישות הוראה ולמידה שמעודדות הרחבה של ההבחנות בתצפית ויכולת לשפר אותן. דוגמה אפשרית אחת היא עבודה שיתופית, שבה תלמידים משתפים תלמידים אחרים במאפיינים שבהם הבחינו בתצפיות ובקריטריונים שהעלו בעקבות התצפית. שיתוף כזה מעשיר את ההבחנות שנעשו, מאפשר לראות מאפיינים בדרך השונה מהפירוש האישי של כל אחד, מאפשר ביקורת עמיתים ותיקון בהתאם לביקורת (Lehrer and Schauble, 2004). גישה נוספת היא שאילת שאלות על התצפית (Smith and Reiser,

יכולת ההבחנה של תלמידים צעירים, הצפיות שיש להם מהתצפית והיכולת שלהם לתעד אותה משפיעים על מיומנות ההתבוננות שלהם. בבואם עם המיומנות הזו לתצפיות עם הקשר מדעי, אחד הגורמים המרכזיים החסרים להם הוא ידע בתחום התוכן. לעומתם, כאשר מדענים מבצעים תצפיות אותנטיות במחקר המדעי, התצפית נערכת בהקשר של ידע נרחב בתחום התוכן וביישומים שלו (Norris, 1985).

האם אפשר ללמד תלמידים להתבונן באופן דומה יותר למדענים? בהחלט, אבל יש לדאוג להכנה מתאימה: לא רק הרחבת הידע בתחום התוכן, אלא גם סביבת למידה תומכת וכלים מתאימים ללמידה של מיומנות התצפית המדעית.

על מנת להציע דרך ללמד תלמידים לערוך תצפית מדעית, יצרנו מסגרת של שלבי למידה המבוססת על שלושת ההיבטים שציינו: יכולת התבוננות, ציפיות ויכולת לתעד. הרעיון המרכזי הוא, שבמעבר מהתבוננות יום-יומית שבה התלמידים מומחים, לעריכת תצפית באופן מדעי כמו מדענים מומחים בתחום, ישנם שלבי ביניים. זיהוי שלבי הביניים האלה ותרגומם לפעילויות למידה יכולים לסייע במעבר לעריכת תצפית מדעית. לשם המחשה למה הכוונה, נביא מספר דוגמאות עבור תצפיות בציפורים.

חשיפה חוזרת ונשנית לתופעות יוצרת אצל ילדים את הציפייה לכך שהן יתרחשו





2005) שיוצרת שרשרת של תהליכים עוקבים: תצפית, שאלת שאלות, בחינה מחדש וחידוד של ההבחנות בתצפית שבוצעה ובתצפיות נוספות. עבודה שיתופית ושאלת שאלות הן דוגמה לשיח מדעי שחיוני על מנת להתבונן באופן מדעי, שמאפיין גם את דרך העבודה בפועל של מדענים.

יכולת לתעד

כאמור, תלמידים אינם נוטים באופן עצמאי לתעד תצפיות. מדענים, לעומת זאת מתעדים את התצפיות שלהם באמצעות ייצוגים מגוונים ומארגנים את התיעוד בסטנדרטים המקובלים בתחום המחקר שלהם. בשלב הביניים אפשר שתלמידים יקבלו הנחיות כיצד נהוג לתעד בתחום המחקר המתאים לתצפית וינסו להשתמש בייצוגים שונים.

שלושה תנאים יכולים לגרום לכך שתלמידים יבצעו בעצמם תיעוד של תצפיות: א. כאשר התיעוד מסייע באופן ברור לפתור בעיה שמעניינת את התלמיד ב. אם הדרך שבה התלמידים משתמשים בתיעוד היא שלהם ולא מוכתבת על ידי אחרים ג. בתיווך על ידי בעלי ניסיון (Lehrer and Schauble, 2004). לכן, בשלב המעבר רצוי לעשות שימוש בבעיות אותנטיות שיכולות לגייס את התלמידים וליצור צורך לתעד את התצפיות. כמו כן, כדי שדרך תיעוד התצפיות תיקבע על ידי התלמידים, יש ללמד אותם את הכלים המקובלים לתיעוד בתחום. כך אפשר להגדיל את הרפרטואר של דרכי התיעוד שמהם יוכלו התלמידים לבחור ולהחליט בעצמם כיצד לתעד. עזרה מקצועית מבעלי ניסיון יכולה להיות באמצעות המורה או אמצעי עזר חיצוני מקצועי כמו מגדיר.

סיכום

עריכת תצפית מדעית היא מיומנות שנראית לכאורה פשוטה, במיוחד משום שתלמידים מבצעים תצפיות באופן יום-יומי. אולם קיימים הבדלים בין מיומנות התצפית היום-יומית ומיומנות התצפית המדעית, שלעיתים מעכבים את יכולתם של תלמידים לבצע תצפיות בהקשרים מדעיים. הכרת המאפיינים של תצפית יום-יומית ומאפיינים של תצפית מדעית מאפשרת ליצור מסגרת חשיבה להגדרת שלבי ביניים ופיתוח סביבות למידה מתאימות שבעזרתם אפשר יהיה ללמד את התלמידים להתבונן באופן מדעי.

מקורות

Abrams, E., Southerland, S., & Cummins, C. (2001). The how's and why's of biological change: How learners neglect physical mechanisms in their search for meaning. *International Journal of Science Education*, 23, 1271-1281.

Chinn, C.A., & Malhotra, B.A. (2001). Epistemologically authentic scientific reasoning. In K. Crowley, C.D. Schunn,

& T. Okada (Eds.), *Designing for science: Implications from everyday, classroom, and professional settings* .(pp.351-392). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum

Duschl, R.A., Schweingruber, H.A., & Shouse, A.W. (Eds.). (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades k-8*. Washington, DC: National Academies Press

Ericsson, K.A. (Ed.) (1996). *The road to excellence: the acquisition of expert performance in the arts and sciences, sports and games*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum

Ford, D. (2005). The Challenges of observing geological-ly: Third graders' descriptions of rock and mineral properties. *Science Education*, 89, 276-295

Gleason, M., & Schauble, L. (2000). Parents' assistance of their children's scientific reasoning. *Cognition and Instruction*, 17, 343-378

Gopnik, A. (1996). The scientist as a child. *Philosophy of Science*, 63, 485-514

Hart, R. (1979). *Children's experience of place*. New York: Irvington Publishers, Inc

Hmelo-Silver, C.E., & Pfeffer, M.G. (2004). Comparing expert and novice understanding of complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. *Cognitive Science*, 28, 127-138.

Hmelo-Silver, E.C., Marathe, S. & Liu, L. (2007). Fish swim, rocks sit, and lungs breathe: Expert-novice understanding of complex systems. *Journal of the Learning Sciences*, 16, 307-331

Johnson, K.E., & Mervis, C.B. (1994). Microgenetic analysis of first steps in children's acquisition of expertise on shorebirds. *Developmental Psychology*, 30, 418-435

Johnson, K.E., & Mervis, C.B. (1997). Effects of varying levels of expertise on the basic level of categorization.

theory of representing as social practice. *Review of Education Research*, 68, 35-59

Schauble, L. (1990). Belief revision in children: The role of prior knowledge and strategies for generating knowledge. *Journal of Experimental Psychology*, 49, 31-57

Smith, B.K., & Reiser, B.J. (2005). Explaining behavior through observational investigation and theory articulation. *Journal of the Learning Sciences*, 14, 315-360

Tomkins, S., & Tunnicliffe, S.D. (2001). Looking for ideas: Observation, interpretation and hypothesis-making by 12-year-old pupils undertaking scientific investigations. *International Journal of Science Education*, 23, 791-813

Trino, L.M., & Klahr, D. (2006). A new framework for understanding how young children create external representations for puzzles and problems. In E. Teubal, J. Dockrell, & L. Tolchinsky (Eds.), *Notational Knowledge: Development and historical perspectives* (pp 159-178). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers

Trumbull, D., Bonney, R., & Grundes-Schuch, N. (2005). Developing materials to promote inquiry: Lessons learned. *Science Education*, 89, 1-22

Vosniadou, S., & Brewer, W.F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183

Journal of experimental Psychology, 126, 248-277.

Karmiloff-Smith, A., & Inhelder, B. (1975). "If you want to get ahead, get a theory". *Cognition*, 3, 195-212

Klahr, D., Fay, A.L., & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific exploration: A developmental study. *Cognitive Psychology*, 24, 111-146

Klayman, J., & Ha, Y.W. (1987). Confirmation, disconfirmation, and information in hypothesis testing. *Psychological Review*, 94, 211-228

Lehrer, R., & Schauble, L. (2004). Modeling variation through distribution. *American Educational Research Journal*, 41, 635-679

Mayr, E. (1997). *This is biology*. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press

Norris, S.P. (1985). The philosophical basis for observation in science and science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 817-833

Rogoff, B., Paradise, R., Mejia Arauz, R., Correa-Chavez, M., & Angelilli, C. (2003). Firsthand learning through intentional participation. *Annual Review of Psychology*, 54, 175-203

Roth, W.M., & McGinn, M.K. (1998). *Inscription: Toward a*



לומדים אקולוגיה עם יצורים חיים:

פיתוח חשיבה מערכתית על מארג מזון על ידי מודל חי של מערכת אקולוגית

על פי המאמר:

Billie Eilam¹, 2012: System thinking and feeding relations: learning with a live ecosystem model. Instructional Science, 40:213-239

עיבוד: גילת בריל

תקציר

מחקר זה מתאר את ההשפעה של חקר ארוך טווח של מודל חי (אקווריום, טרריום או חממה) על הידע וההבנה של מארגי מזון כמערכת מורכבת. בחרנו להתמקד במארגי מזון משום שהם קיימים בכל מערכת אקולוגית, ומשותפים לכל המודלים שהתלמידים בחרו לחקור. ההשפעה של חקר המודל החי נבחנה לאור הקשיים העיקריים המדווחים בספרות ולאור ארבעה עקרונות ההכרחיים לחשיבה מערכתית על מארגי מזון. נמצא, שהעיסוק בחקר של מודל חי פיתח מרכיבים מסוימים בחשיבה מערכתית, בעוד שמרכיבים אחרים נותרו ללא שינוי.

מבוא

חקר של מערכות אקולוגיות חיות הוא המהות של ביולוגיה. על מנת להבין את התהליכים המתרחשים במערכת אקולוגית יש צורך להבין וליישם את כל העקרונות המרכזיים בביולוגיה. יתירה מזו, הבנה של מערכות אקולוגיות רלוונטיות ביותר לאזרחים שמעורבים בהחלטות על סביבת החיים שלהם והקהילה בה הם חיים. היכולת להבין מערכות אקולוגיות - מבחינת המרכיבים שלהן ואופן תפקודם, רמות הארגון במערכת, האינטראקציות בין המרכיבים ברמת ארגון מסוימת ובין רמות ארגון שונות, והתופעה האפשרית להתרחש כתוצאה מכל אלה - נקראת חשיבה מערכתית.

אחד הקשיים בהוראת אקולוגיה הוא פיתוח חשיבה מערכתית אצל תלמידים, שכן מערכות אקולוגיות הן מורכבות מטבען (Model et al. 2005). המורכבות נובעת בין השאר מריבוי מרכיבים הפועלים זה על זה בתוך או בין רמות ארגון שונות ובאופן דינאמי; לעיתים בד בבד ולא בהכרח ביחס ישר (Hmelo-Silver and Azevedo 2006; Jacobson 2001). התוצאה של פעילות המערכת השלמה מתקבלת מכלל פעילויות ואינטראקציות של תת המערכות שלה, שחלקן פעילויות סמויות. כתוצאה מכך, פעילות המערכת קשה לחיזוי מראש ואינה אינטואיטיבית (Hmelo-Silver and Pfeffer 2004).

שאלנו את פרופ' בילי עילם מדוע חשוב בעיניה לפתח חשיבה מערכתית.

"היום הכל בעולם הוא מערכתי. חוסר הבנה כיצד פועלת מערכת מונע הבנה לא רק של כלל הביולוגיה על שפע מערכותיה ברמת התא ואברוניו ועד כלל הביוספרה - אלא גם מערכות חברתיות, כלכליות וכד' שבהן פועל הפרט בחיי היום יום שלו. גם הכתה היא מערכת! לכן, הבנה של מה צריך לבחון במערכת כדי להבין את דרכי פעולתה חשובה לכל אזרח בכל מדינה דמוקרטית."

מודלים להוראה של חשיבה מערכתית

על מנת להתגבר על הקשיים ולעזור לתלמידים לפתח חשיבה מערכתית, פותחו סביבות למידה, רובן סימולציות ממוחשבות (Jacobson and Wilensky 2006). לסימולציות כאלה יש יתרונות רבים, כמו צמצום המרכיבים של המערכת ויצירת מערכת פשוטה לעומת המציאות המורכבת; הן מאפשרות לתלמידים לשנות מרכיבים של המערכת תוך קבלת משוב מיידי לגבי השפעת השינוי שבוצע. כמו כן, תלמידים יכולים להתנסות בעזרתן בניסויים וירטואליים שקשה לבצע במציאות (Bradbury et al. 2000; Kaneko and Tsuda 2000).

יחד עם היתרונות שיש לסביבות למידה ממוחשבות, ובשל הקשיים המובנים בחקר של מערכת אקולוגית במציאות, ההתנסות בחקר במודל חי של מערכת אקולוגית היא חשובה. מודל חי הוא מודל מוקטן ומוגבל של מערכת אקולוגית



1. בילי עילם היא פרופסור בפקולטה לחינוך באוניברסיטת חיפה.



בתהליכים ביולוגיים (Hogan and Fisherkeller 1996). בחשיבת הביניים, תלמידים אמנם מבינים את העיקרון של שימור החומר, אבל, לדוגמה, הם בטוחים שהחומר מגיע לאדמה ו"נשבר" ולא מודעים לפירוק על ידי מיקרואורגניזמים.

עקרונות בסיסיים הדרושים לפיתוח חשיבה מערכתית על מארגי מזון

ארבעה עקרונות בסיסיים נדרשים על מנת לפתח חשיבה מערכתית על מארגי מזון:

1. מעגלי חומר ואנרגיה כתופעות ברמות ארגון שונות: תלמידים צריכים לתפוס גזים כחומר, ולהבין שגזים משתנים ועוברים במעגלי חומר בביוספרה כמו חומרים אחרים (מעגלי גזים וחומרים אחרים כמו דו-תחמוצת הפחמן, החנקן או החמצן, ומעגלי אנרגיה, כמו של אור, חום ואנרגיה כימית כחלק מפוטוסינתזה ונשימה).

2. כיווניות ושיווי משקל דינמי: התפישה שתהליכים פיסיקאליים הם הפיכים, ושתגובות כימיות מגיעות לשיווי משקל דינאמי. שיווי משקל דינמי של מערכת מושג כאשר לאורך זמן כמותם של מרכיבי המערכת ואיכותם נשמרת באמצעות מנגנוני משווא (למרות שהם ממשיכים להשתנות סביב נקודת שיווי המשקל).

3. סיבתיות: תלמידים צריכים לזהות קשר סיבתי בין מרכיבי המערכת באותה רמת ארגון וברמות ארגון שונות.

4. היבטים של זמן, מקום ואבולוציה: תלמידים צריכים לראות שתהליכים מתרחשים לאורך מימדים של זמן ומקום, שיש תהליכים שמתרחשים בו בזמן במקומות שונים. נדרשת הבנה, שתהליכים אבולוציוניים הם ארוכי טווח ומקורם בתהליכים המתרחשים בתת-מערכות של המערכת הכוללת, ומגמות של תהליכים הקשורים ביצורים חיים אינן מכוונות על ידי גורם שולט או מפקח.

ארבעת היבטים אלה הכרחיים כדי להבין באופן מערכתי מארגי מזון, אולם בספרות מדווח על כך שתלמידים מבינים אותם באופן חלקי בלבד. חשוב לזכור, שעקרונות מסוימים בחשיבה מערכתית מתנגשים עם הידע הקודם והניסיון היום-יומי של התלמידים. לדוגמה, תלמידים נוטים לחשוב שלכל מערכת יש מרכיב מרכזי השולט ומפקח על שאר המרכיבים.

גדולה. לרוב מדובר באקווריום, טרריום או חממה, שמאפשרים לתלמידים להיפגש עם יצורים חיים ולבצע חקר אותנטי של מערכת אקולוגית (Schraw et al. 2006). מודלים כאלה שונים ממערכות אקולוגיות במציאות. לעיתים ההבדל מהמציאות מתנגש עם חשיבה מערכתית, משום שלדוגמה, מודלים כאלה אינם מגיעים לשיווי משקל בעצמם אלא תלויים באספקה חיצונית של אנרגיה וחומרים (כמו מזון). עם זאת, מודל חי יכול לקדם חשיבה מערכתית משום שיחסית למציאות הוא מורכב ממספר קטן של מרכיבים, אינטראקציות, תהליכים ורמות ארגון. במודל כזה תלמידים יכולים לערוך תצפיות על המערכת לאורך זמן, לאסוף נתונים על משתנים שונים, לבצע מניפולציות במשתנים בתנאים מבוקרים ולנסות לקשר את הנתונים המתקבלים לתפקוד הכולל של המערכת. מחקרים אכן מראים, שמודל חי חושף תלמידים לסיבות חביות במערכת ולאינטראקציות בין מרכיבים במערכת; ומשפר את היכולת לייחס תופעות ברמת המקור למדידות, תהליכים ותוצרים ברמת המיקרו (Hmelo-Silver and Azevedo 2006).

מהם הקשיים והתפישות השגויות של תלמידים בנוגע למארג מזון?

מחקרים שמנסים לאפיין את הקשיים של תלמידים בחשיבה מערכתית בנוגע למארג מזון מצביעים על המאפיינים הבאים:

א. נטייה לחשוב על חומר כמרכיב קבוע. נטייה כזו מקשה על התלמידים להבין תהליכים דינאמיים הקשורים לחומרים כמו מעבר של מולקולות בין אורגניזמים (Nakhleh et al. 2005).

ב. תלמידים מתקשים לראות בצמחים מרכיב חיוני במארג מזון. המארגים שהם יוצרים נקבעים על פי גודל ועוצמת ההיררכיה בין יצורים (Reiner and Eilam 2001), ויש נטייה ברורה להציב את האדם בראש המארג.

ג. תלמידים מתקשים לקשר בין תופעות שהם רואים ברמת המקור להסברים באמצעות תהליכים ברמת המיקרו (Liu and Lesniak 2006).

ד. תפישת ההזנה בצמחים ובבעלי חיים כתהליך דומה, תוך התעלמות מפוטוסינתזה (Ozay and Oztas 2003).

ה. תלמידים מתקשים להבין את המעבר של חומר ואנרגיה

שונים ומרקמים שונים ויצרו על פיהם אמצעי זיהוי לסוגים שונים של חיידקים ולכמותם. כבר בשלב זה תלמידים נחשפו למורכבות של המערכות משום שראו הבדלים רבים במדידות בין מערכת הניסוי למערכת הבקרה. בנוסף למדידות תלמידים המשיכו לקרוא על תהליכים המתרחשים במערכות שלהם, ועל תכונותיהם של המרכיבים שבהם בחרו.

בשלב הבא של החקר התלמידים יצרו שינוי במשתנה יחיד במערכת הניסוי בלבד, בהתאם להשערה שלהם. לדוגמה, קבוצה אחת החדירה כמות גדולה של פחמן דו-חמצני לחממה שלה כדי לבדוק את אפקט החממה. קבוצה אחרת הוסיפה טורף לטורפים. קבוצות שחקרו אקווריומים הוסיפו כפית של סוכר או של דשן, כיסו אקווריום אחד כדי למנוע כניסה של אור.

משלב זה ואילך התלמידים מדדו כל משתנה אפשרי בשתי המערכות. מיותר לציין שהם הגיעו למעבדה "לראות מה קורה" גם מעבר לשעות השיעור במעבדה.

במהלך איסוף הנתונים התלמידים היו עדים למצבים שונים של מערכת המודל שלהם בשל שינויים שחלו בה עם הזמן (לדוגמה, ירידה בריכוז החמצן ורק אחר כך עליה בחומציות). הם ניסו להסביר את השינויים הללו באמצעות המדידות שביצעו ושיעורי האקולוגיה שלמדו. לסיום הם הסיקו מסקנות לגבי נכונות ההשערה שלהם, והגישו דו"ח על החקר שביצעו.

הוראה בכיתה

מתוך מודעות לקשיים של תלמידים רבים בחשיבה מערכתית ובחשיבת חקר, ליוונו את תהליך החקר במעבדות והוראה בגישה מסורתית בכיתה, ובספרי לימוד (Eilam and Aharon 1998) המבוססים על עקרונות של חשיבה מערכתית, ועל הבנה מעמיקה של תהליך החקר.

בנוסף לשיעורים במעבדה התלמידים למדו שעה שבועית אחת באקולוגיה עם המורה לביולוגיה, ושתי שעות שבועיות בפיסיקה עם המורה לפיסיקה. שיעורי פיסיקה הוקדשו לאנרגיה והקשר בינה לבין אקולוגיה (כלומר, שימור או תרמודינאמיקה). שיעורי אקולוגיה הוקדשו למבנה ותפקוד של מערכות אקולוגיות



במחקר השתתפו 50 תלמידים בגילאי 14-15 משתי כיתות ט', בחטיבת ביניים בפרבר בעיר. הרכב הכיתות מבחינת גילאי התלמידים ומגדרם היה דומה (בשל מדיניות בית ספרית). מרבית התלמידים הם בעלי רקע תרבותי-חברתי של מעמד הביניים.

סביבת הלמידה

משימת החקר במעבדה

במהלך המחקר עסקו תלמידי כיתה ט' לאורך שנת לימודים שלמה בחקר של מודל אקולוגי שהם עצמם תכננו והפעילו. לתלמידים הוצגה מטרה לבדוק השערה ספציפית במערכת אקולוגית, על מנת ללמוד על התנהגות המערכת בכללותה. ניתן להם חופש בחירה של ההשערה ושל הנושא שבו היא עוסקת, לא בהכרח בהקשר של מארג מזון. ההנחה היתה, שכל השערה תוביל בטווח הארוך גם לעיסוק במארג המזון, ולכן אין צורך להגביל את הבחירה של התלמידים. הם עבדו בקבוצות קטנות למשך 3 שעות לימוד שבועיות במעבדת בית הספר לאורך כל שנת הלימודים.

ההדרכה במעבדה ניתנה על ידי שתי מורות: מורה לביולוגיה ומורה לפיזיקה, על מנת לאפשר עיסוק בנושאים קשורים לשתי הדיסציפלינות (כמו אנרגיה), ולמנוע מידור של ידע לתחום אחד בלבד. בנוסף, המורות ניסו לטפל בקשיים של תלמידים שהוזכרו לעיל.

על מנת לבצע את החקר, נדרשו התלמידים למשימות ברצף הבא:

1. ללמוד באופן עצמאי על מערכות אקולוגיות שונות ועל מרכיבי המערכות הללו.
2. לבחור נושא שמעניין אותם במערכת אקולוגית.
3. להתמקד בהדרגה בשאלות אפשריות.
4. להעלות השערות המבוססות על הידע שלהם באקולוגיה ובביולוגיה.
5. לבחור מודל חי שבו יבדקו את ההשערה.
6. לבחור את המרכיבים הביולוגיים של המודל.
7. לבחור השערה אחת לבדיקה במודל עם המרכיבים שבחרו, תוך שימוש במערכת אחת לניסוי ובמערכת דומה נוספת כבקרה.

לאחר שהמודלים היו מוכנים, הם הושארו למשך כחודש על מנת שיתייצבו עד כמה שאפשר. במהלך חודש זה התלמידים מדדו ריכוזי חמצן, פחמן דו-חמצני, טמפרטורה, ניטראטים, פוספאטים, מלחים, חומציות, תאודות, מספר אורגניזמים, גודל האורגניזמים ומשקלם. בנוסף, הם לקחו דגימות של חיידקים מהעלים, מהמים מהאדמה או האוויר, וזרעו אותם לקבלת מושבות. הם בדקו צורות שונות של מושבות חיידקים, צבעים

המודל החי גם אם היא אינה נכונה או מלאה, ולא לבדוק את נכונות התשובות של התלמידים. להוסיף: לכל קריטריון ניתן ערך מספרי, וכך ניתן היה לעשות ממוצע לתפיסות התלמידים ולהשוות ביניהן לפני תהליך החקר ולאחריו.

פתוחות (כמו מעברי חומר-אנרגיה, פוטוסינתזה ונשימה); למערכות אקולוגיות טבעיות ומלאכותיות; וגידולי חקלאות אחידים כמו שדות ולול תרנגולות.

איסוף וניתוח נתונים

שאלוני ידע ובהם [10 שאלות פתוחות](#) ניתנו לתלמידים לפני תחילת תהליך החקר ולאחריו. מתשובות התלמידים אפשר היה ללמוד על החשיבה המערכתית שלהם לגבי מארגי מזון על פי הקשיים והעקרונות מהספרות שהוזכרו לעיל. לשם כך, הוגדרו קטגוריות לחשיבה מערכתית, ועבור כל אחת מהן נקבעו קריטריונים לניתוח תשובות התלמידים (טבלה 1). שלושה ביולוגים ושני פיזיקאים בדקו שאכן הקריטריונים משקפים מאפיינים של חשיבה מערכתית על מארגי מזון.

לכל קטגוריה בטבלה ישנם מספר קריטריונים, נכונים (כחול) ובלתי נכונים (שחור). הכוונה הייתה לאפיין את התפתחות החשיבה המערכתית של התלמידים בעקבות תהליך החקר של

טבלה 1: קטגוריות לחשיבה מערכתית על מארגי מזון והקריטריונים המאפיינים אותן

קטגוריה	קריטריונים
1 קונפיגורציה	התייחסות למארג מזון כלינארי /מעגלי
2 מבנה	מארג מזון לינארי/מסועף/ רשת
3 מרכיבים	ביוטיים בלבד /אביוטיים וביוטיים
4 סוג המרכיבים הביוטיים	צמחים/בעלי חיים/אדם
5 רצף המרכיבים במארג	המארג מכיל מרכיב ראשון (צמחים /אחרים), מרכיב אמצעי (צרכנים, אדם, מפרקים), מרכיב אחרון (מפרקים, אדם , אחרים), המארג מכיל מפרקים הניזונים מכל מרכיב .
6 סדר היררכי של המרכיבים במארג	סדר אקראי של המרכיבים / סדר בעל משמעות (גודל, כוח, שלב התפתחותי).
7 מספר התפקודים של כל מרכיב במארג	תפקוד יחיד/ תפקוד יחיד-תפקודים רבים
8 מאפייני החומר	חומר אורגני/אנאורגני שימור החומר /ללא שימור טרנספורמציה /ללא טרנספורמציה
9 מאפייני אנרגיה	סוג האנרגיה (אור או חום , פעילויות חיים, מטבוליזם, כימית) שימור אנרגיה/ללא שימור
10 תהליכים	הפיכים או בלתי הפיכים חד כיווני/ רב כיווניות תהליך יחיד בכל פעם/ יותר תהליכים בו-זמנית
11 אבולוציה	אירוע לטווח קצר/ אירוע לטווח ארוך שינויים בפרטים/בשכיחויות של גנים/באוכלוסיות מוטציות מכוונות/אקראיות
12 אורך המארג	ללא גבולות (מעגלי)/ מוגבל (על ידי גודל המרכיבים, שלב התפתחותי, כוח או אנרגיה)
13 שיווי משקל דינאמי	באוכלוסיות/מולקולות



השונים: רבייה, או אפילו מוות של כל המערכת האקולוגית כתוצאה מהתרבות יתר של מיקרואורגניזמים המחסלים את החמצן במערכת (אויטרופיקציה). הקישור לתהליכים שאינם תהליכי הזנה איפשר לתלמידים ללמוד שבמערכת אקולוגית חלים כמה תהליכים וקיימים כמה יחסי גומלין באופן סימולטני.

למרות התמיכה המאסיבית שהתלמידים קיבלו בכיתה ובמעבדה ולמרות שלאחר תהליך החקר של המודל החי אפשר היה להבחין בהתחלתה של חשיבה מערכתית אצל התלמידים, עדיין נצפו קשיים. בחרנו להציג במאמר מעובד זה פירוט רק של ארבע מ-13 הקטגוריות שנבדקו במאמר המקורי, בשלוש מהן חלה התפתחות, ובאחת חלה נסיגה.

בבדיקת קטגורית המבנה של מארג מזון בתשובות התלמידים, נמצא שינוי משמעותי מחשיבה על מארג כמבנה ליניארי לפני הלמידה, לחשיבה על מארג מזון כרשת לאחר הלמידה (ירידה מ-64% מהתלמידים שתיארו מבנה ליניארי לפני הלמידה ל-34% לאחר הלמידה, $t=2.76$; עליה מ-4% מהתלמידים שתיארו מבנה של רשת לפני הלמידה ל-54% שתיארו מבנה של רשת לאחר הלמידה, $t=5.27$). תיאור מארג מזון כרשת מצביע על כך, שיותר תלמידים הבינו שכל מרכיב במארג יכול לאכול מספר מרכיבים אחרים וכן להיאכל על ידי מספר מרכיבים: "אם חוליה במארג נכחדה, היצורים שאוכלים אותה יאכלו יצורים אחרים. היצורים שאחרי החוליה שנכחדה - אם נשארו כמה מהם בסביבה - יכולים עכשיו גם להתרבות שוב כי אין אף אחד שנשאר שיאכל אותם. מצד שני, אלה שטרפו את החוליה שנכחדה יאכלו עכשיו יותר מהיצורים שנשארו. ככה בטבע נשמר הגודל של אוכלוסיות אפילו שיש שינויים נקודתיים". לא תמיד השימוש במושג "רשת" הצביע על חשיבה מערכתית. לדוגמה, תלמיד שהשתמש במושג "רשת" במקום אחד, הסביר במקום אחר ש"יצורים לפני החוליה שנכחדה יתרבו מאוד כי אף אחד לא יטרוף אותם, ויצורים שאחרי החוליה שנכחדה יעלמו כי לא יהיה להם מה לאכול". במקרה זה, לא הועלתה האפשרות שהמרכיב שאחרי החוליה שנכחדה יכול לטרוף יצורים אחרים.

קטגוריה נוספת שבה חל שיפור בחשיבה המערכתית של התלמידים היתה רצף המרכיבים במארג (עליה מ-36% מהתלמידים שצינו צמחים כמרכיב ראשון במארג לפני הלמידה

ל-96% לאחר הלמידה, $t=10.93$; עליה מ-2% מהתלמידים שצינו מפרקים כמרכיב אחרון במארג לפני הלמידה ל-64% לאחר הלמידה, $t=7.41$). באופן משמעותי, הרבה יותר תלמידים לאחר הלמידה תפשו צמחים כמרכיב הראשון של מארג מזון, לעומת הרבה פחות תלמידים שתפשו מרכיבים אחרים כראשונים. לרוב, מפרקים נתפשו כמרכיב אחרון במארג המזון. היו תלמידים שהראו לאחר הלמידה הבנה טובה יותר שמפרקים יכולים להיזון מכל מרכיב במארג המזון (עלה נושר, הפרשות, יצורים מתים). הבנה כזו יכולה להעיד על תפישה שמחזור של חומרים במערכת אקולוגית נובע מהזנתם של מפרקים מכל חומר אורגני שמקורו בכל רמות המארג ובכל מרכיב של המארג, ולא רק מהמרכיב האחרון. לעומתם, היו תלמידים ששמרו על חשיבה ליניארית וחד כיוונית גם לאחר הלמידה, והוסיפו את המפרקים רק למרכיב האחרון במארג: "מפרקים הורסים את הגוף של האדם, שאוכל בעלי חיים, שאוכלים צמחים".

קטגוריה שבה באופן משמעותי לא חל שיפור במהלך הלמידה הייתה הסדר ההיררכי של המרכיבים במארג מזון. אחוז התלמידים שחשבו שסדר המרכיבים במארג נקבע על פי משמעות (חוזק המרכיבים, גודלם, או השלב ההתפתחותי שלהם) ולא מתוך תהליכי אבולוציה ארוכי טווח דווקא גדל במהלך הלמידה (עליה מ-60% מהתלמידים שחשבו על סדר עם משמעות לפני הלמידה, ל-68% מהתלמידים שחשבו כך; $t=3.72$). ייתכן שהסיבה לכך היא חשיפה למארגי מזון המוצגים באופן סטריאוטיפי בספרי לימוד או בתקשורת, שהקשתה על התלמידים לקבל כללים של הזנה שאינם קשורים לגודל או לעצמה. כמו כן, חשיבה מסוג זה הצביעה על כך שהתלמידים מתמקדים בתכונות ברמת המקור של המערכת, ואלו מכתיבות להם את הכללים שלפיהם קיימים היחסים בין האורגניזמים במארג. מספר התלמידים שיכלו להתעלם ממרכיב הגודל עלה אף הוא במהלך הלמידה, אבל מספרם היה נמוך. תלמידים אלה הביאו כדוגמה את הכינים: "והכינים הם סוג של פרוזיט שחי על בני אדם ומקבל מהם את המזון שלו".

התפתחות מעניינת אחרת התקבלה בקטגורית האבולוציה. באופן משמעותי, יותר תלמידים חשבו לאחר הלמידה ששינויים במערכת אקולוגית חלים לאורך זמן (ירידה מ-28% מהתלמידים שחשבו על שינויים לטווח קצר לפני הלמידה ל-6% שחשבו



חשיבה גבוהה יותר, ואפילו להתחיל להפעיל חשיבה מערכתית. אולם, הוראה של עקרונות ותהליכים בנפרד זה מזה מתוך הנחה שתלמידים יוכלו לבצע ביניהם אינטגרציה באופן עצמאי, לא מובילה להתפתחות של חשיבה מערכתית. זאת בעיקר משום שמערכות הן יותר מאשר סכום כל המרכיבים שלהן. ברצוני להציע, שבמקביל לצורך בביסוס הידע וההבנה של עקרונות חשובים על מנת לפתח חשיבה מערכתית, יש גם צורך בחקר של המערכת המורכבת והפעלת חשיבה מערכתית כדי להבין טוב יותר את העקרונות ותהליכים המרכיבים אותה.

היתרון של גישת ההוראה שננקטה במהלך החקר של המודל החי היה בתמיכה המשמעותית שקיבלו התלמידים גם בתכנים ובעקרונות וגם בהוראה של חשיבת חקר. שני אלה תמכו מאוד בתהליך החקר העצמאי של התלמידים. התמיכה אפשרה לתלמידים לעבור מרמת המקור של המערכת לרמת המיקור ובחזרה לרמת המקור, על ידי מדידות שהם ביצעו במערכת הנחקרת וקישורן לתכנים שנלמדו. המעבר מרמה מסוימת לרמה אחרת ובחזרה הוא מאפיין משמעותי של חשיבה מערכתית.

שילוב בין מודלים ממוחשבים ומודלים חיים יכול לדעתי לעודד טוב יותר חשיבה מערכתית. מחקרים אכן מראים שייצוג ידע באמצעות מספר מודלים ולא באמצעות מודל יחיד משפר את הלמידה משום שלכל מודל יש יתרונות וחסרונות וכך הם יכולים להשלים זה את זה בתנאי שהתלמידים מזהים את ההבדלים ביניהם (Ainsworth's, 2006; Eilam and Poyas 2008).

מקורות

- Anderson, C. W., Sheldon, T. H., & Dubay, J. (1990). The effects of instruction on college nonmajors' conceptions of respiration and photosynthesis. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(8), 761-776.
- Ainsworth, S. E. (1999). The functions of multiple representations. *Computer and Education*, 33(2/3), 131-152.
- Ainsworth, S. E. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198.
- Booth Sweeney, L., & Stermann, J. D. (2007). Thinking about systems: Student and teacher conceptions of natural and social systems. *System Dynamics Review*, 23(2/3), 285-312.
- Bradbury, R. H., Green, G., & Snoad, N. (2000). Are ecosystems complex systems? In T. R. J. Bossomairer & D. G. Green (Eds.), *Complex systems* (pp. 340-365). Charles Strut University, Australia: Cambridge University Press.

כך לאחר הלמידה, $t=3.85$; עליה מ-24% מהתלמידים שחשבו על שינויים לטווח ארוך לפני הלמידה ל-70% שחשבו כך לאחר הלמידה, $t=3.49$). יתכן שההבנה שמדובר על תהליכים ארוכי טווח של שינוי מעידה על ההבנה שמעורבים בתהליכים אלה שינויים בתדירויות של גנים באוכלוסיות, ושמוטציות הן אקראיות.

השינויים, הקיבעונות והסיבות האפשריות להם אופיינו בכל אחת מ-13 הקטגוריות, וכאן הובאו רק ארבע דוגמאות מהם. המסקנות מהמחקר מתבססות על מערך עם ביקורת פנימית, כלומר על נתונים שהתקבלו לפני תהליך הלמידה ולאחריו, ולא על קבוצת ביקורת חיצונית. כמו כן, יש להניח שראיונות עם התלמידים והגדלת מספר התלמידים המשתתפים במחקר נדרשים על מנת לחזק את התוצאות. לאור זאת, סיכום כל התוצאות מצביע על כך, שתלמידי כיתה ט' שלמדו לאורך שנת לימודים שלמה עם המודל החי שיפרו חלקית את החשיבה המערכתית שלהם. כל אחד מהתלמידים הצליח במהלך השנה לשפר קריטריונים מסוימים של חשיבה מערכתית, גם אם לא את כולם.

שלושה קשיים עיקריים הפריעו לתלמידים לפתח חשיבה מערכתית כוללת: 1. הקושי לראות דו-כיוונית בתהליכים גרמה לחלק מהתלמידים להישאר עם מבנה ליניארי של מארג מזון במקום מבנה של רשת (2). (Steff and Wilensky, 2003). חשיבה חד כיוונית הקשתה גם על ההבנה של מחזורי אנרגיה וחומר כחלק ממערכת הביוספירה וכחלק בתוך מארג המזון (Hogan and Fisher, 1996). תפיסת החומר כמתחלף במקום עובר בין המרכיבים של המערכת, הקושי להבחין בין חומרים אורגניים ואי-אורגניים, והקושי להבין מעברי אנרגיה הקשו על התלמידים להתייחס למערכת כמכלול של גורמים היוצרים אינטראקציה בכל הרמות. לדוגמה, חמצן ופחמן דו חמצני הוזכרו פעמים רבות על ידי התלמידים בכניסה למערכת באמצעות פוטוסינתזה ונשימה, אבל לא היתה כל עדות לכך שהתלמידים התייחסו אליהם כחלק ממחזור הגזים (Anderson et al. 1990) או כחומרים שיוצאים ממארג המזון (Booth Sweeney and Stermann 2007). 3. הקושי להבין תהליכים אבולוציוניים ואת השפעתם על מארגי מזון גם הוא הקשה על התפתחות חשיבה מערכתית מבחינת תהליכים החלים בזמנים שונים וברמות שונות.

משמעות והשלכות של המחקר

חשיבה מערכתית חיונית על מנת להבין מערכות אקולוגיות. זאת במיוחד לאור הגידול ההולך וגובר של עיור והגדלת שטחי החקלאות בעולם.

התפתחות של חשיבה מערכתית דורשת בתחילה למידה והבנה של עקרונות ותהליכים מורכבים כמו פוטוסינתזה, נשימה, מחזורי חומרים ואנרגיה. לאחר שהתלמידים מבינים עקרונות ותהליכים אלה, הם יכולים להתחיל ליצור תבניות



Journal of Science Education, 23(6), 551–568.

Schraw, G., Crippen, K. J., & Hartley, K. (2006). Promoting self regulation in science education: Metacognition as part of a broader perspective on learning. *Research in Science Education*, 36, 11–139.

Steiff, M., & Wilensky, U. (2003). Connected chemistry: Incorporating interactive simulations into the chemistry classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 12, 285–302.

Eilam, B., & Aharon, I. (1998). Science and inquiry. The Amos de Shalit Center for Science Instruction and the Ministry of Education. Nazareth: El Nahada Inc. (Hebrew).

Eilam, B., & Poyas, Y. (2008). Learning with multiple representations: Extending multimedia learning beyond the lab. *Learning and Instruction*, 18(4), 368–378.

Hmelo-Silver, C. E., & Azevedo, R. (2006). Understanding complex systems: Some core challenges. *Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 53–61.

Hmelo-Silver, C. E., & Pfeffer, M. G. (2004). Comparing experts and novice understanding of a complex system from perspective of structures, behaviors, and function. *Cognitive Science*, 28, 127–138.

Hogan, K., & Fisher, J. (1996). Representing students' thinking about nutrient cycling in ecosystems: Bidimensional coding of a complex topic. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 941–970.

Jacobson, M. J. (2001). Problem solving, cognition, and complex systems: Differences between experts and novices. *Complexity*, 6(3), 41–49.

Jacobson, M. J., & Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 11–34.

Kaneko, K., & Tsuda, I. (2000). Complex systems: Chaos and beyond. A constructive approach with applications in life sciences. Berlin: Springer.

Liu, X., & Lesniak, K. (2006). Progression in children's understanding of the matter concept from elementary to high school. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 320–347.

Model, H., Michael, J., & Wenderoth, M. P. (2005). Helping the learner to learn: The role of uncovering misconceptions. *American Biology Teacher*, 67(1), 20–26.

Nakhleh, M. B., Samarapungavan, A., & Saglam, Y. (2005). Middle school students' beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 581–612.

Ozay, E., & Oztas, H. (2003). Secondary students' interpretations of photosynthesis and plant nutrition. *Journal of Biological Education*, 37(2), 68–70.

Reiner, M., & Eilam, B. (2001). Conceptual classroom environment—a system view of learning. *International*

10 השאלות שניתנו לתלמידים לפני תהליך החקר ולאחריו:

כל השאלות פתוחות. כל תשובה עברה קידוד, ומספר תשובות יחד תרמו להבנת התפיסה של התלמידים. למשל, תלמיד שכתב שבשרשרת מזון יש תמיד צמח בהתחלה (שאלה 1) אבל בשאלה 10 כתב שייכתנו אין סוף שלבים בשרשרת וכי שרשרת שבתחילתה יש חומר אורגני אינה שרשרת מזון (שאלה 4) - הראה שלא הבין את עניין האנרגיה וכי פשוט למד שתמיד קיים צמח בהתחלה - למידה שלא תורמת להבנה מערכתית.

1. תאר בפרוט מהי שרשרת מזון. הסבר את תשובתך והבא דוגמאות.

2. האם האורגניזמים הבאים, בסדר הנתון בזה, יכולים להיחשב שרשרת מזון? "צוף פרח, פרפר, ציפור, ומפרקים הניזונים מכל אחד מהם".

3. האם האורגניזמים הבאים, בסדר הנתון בזה, יכולים להיחשב שרשרת מזון? "עלי תרד, אדם, כינה על קרקפתו של האדם, ומפרקים הניזונים מכל אחד מהם".

4. האם האורגניזמים הבאים, בסדר הנתון בזה, יכולים להיחשב שרשרת מזון? רקב, תולעת אדמה, ציפור, ומפרקים הניזונים מכל אחד מהם".

5. האם האורגניזמים הבאים, בסדר הנתון בזה, יכולים להיחשב שרשרת מזון? גרגרי אבקה, דבורה, צפרדע, נחש, ומפרקים הניזונים מכל אחד מהם".

6. האם האורגניזמים הבאים, בסדר הנתון בזה, יכולים להיחשב שרשרת מזון? תולעת מים מיקרוסקופית, סרטן זעיר, דג, שחף, ומפרקים הניזונים מכל אחד מהם".

7. תאר בפרוט מה יקרה אם אחת מן החוליות בשרשרת מזון כלשהי נכחדת. הסבר ונמק את תשובתך תוך שימוש בדוגמאות.

8. האם בקטריה בתוך גוף האדם יכולה להיחשב כחלק משרשרת מזון? הסבר ונמק את תשובתך בפרוט.

9. אם (היפותטית) בקטריה בתוך גוף האדם מהווה חוליה בשרשרת מזון, מהי החוליה הראשונה בשרשרת מזון זו? הסבר תשובתך ונמק אותה.

10. האם אורכה של שרשרת מזון בטבע (מספר החוליות בה) מוגבל? הסבר את תשובתך ונמקה.



שיטות חקר חדשות לגיוון נושאי חקר בבית הספר

ד"ר סארי עאסלה

בית ספר מקיף אלבוכארי-עראבה
המכון למחקר יישומי-אגודת הגליל-שפרעם

במאמר זה מוצעות שיטות חדשות ופשוטות המאפשרות גיוון של נושאי החקר. באמצעות שיטות אלו ניתן לחקור נושאים אשר חקירתם לא התאפשרה בעבר, כגון המעקב אחרי גדילת השורשים כפונקציה של ריכוז מלחים במצע הגידול.

מבוא

כוסות פלסטיק חד פעמיות + מכסים העשויים מפלסת פוליסטירן בעלת חורים בגודל קטן מגודל הזרע הנבדק (ניתן להשתמש גם בכיסוי מחורר אחר, כגון נייר אלומיניום) תמיסת 0.4 mM CaCl_2 .

מהלך הניסוי:

שלב א' - הנבטת הזרעים

זרעי תירס (למשל) יונבטו בהתאם ל-(Chazen et al. 1995) בצלחות פטרי בקוטר של 15 ס"מ, על גבי נייר סינון ספוג בתמיסת 0.4 mM CaCl_2 למשך יומיים (תמונה 1). הצלחות יוחזקו בחושך ב- $27 \pm 2^\circ\text{C}$.

בעבר ביצעתי בשכניון מחקרים המתבססים על בדיקת השפעת תנאים אביוטיים על גדילת צמחים בהידרופוניקה (גידול במצע מימי המכיל נוטריינטים) ועל תהליך הנשימה בצמחים (Asli and Neumann 2009, 2010). כיום אני מבצע במכון למחקר יישומי אגודת הגליל מחקרים המתבססים על טכנולוגיות חדשות לייעול תנובת המתאן בתסיסה אנאירובית, ומחקרים העוקבים אחרי פריחת אצות כפונקציה של גורמים אביוטיים שונים (Asli et al, 2014). במחקרים אלו בניתי מערכות פשוטות, זולות וזמינות למדידת המשתנה התלוי. היות ואני עוסק בהוראה בבית הספר וגם במחקר במכון למחקר יישומי, גיבשתי שיטות המחקר האקדמי לרמה בית ספרית. להלן סיכום שיטות המחקר, עם דגשים על אופן הבאת שיטות אלו למעבדת בית הספר.

מערכת ניסוי 1 - השפעת גורמים אביוטיים על גדילת צמחים

בעבר נהגנו לבדוק השפעת גורמים אביוטיים, כגון ריכוז מלח, על קצב גדילת הנוף בצמחים נפוצים כגון פול, חמוס, תירס וכו'. השיטות ששימשו עד היום התבססו על גידול זרעים בצלחות פלסטיק על צמר גפן רטוב, כאשר צלחת הביקורת הושקתה עם מים ללא מלח, וצלחות הטיפול הכילו ריכוזי מלח שונים. החיסרון של שיטה זו הינו שלא ניתן לעקוב אחרי גדילת השורשים, משום שלא ניתן להוציא את השורש בשלמותו מתוך צמר הגפן. כדי לפתור מגבלה זו, מוצעות כאן שיטות חדשות המתבססות על גידול צמחים בהידרופוניקה.

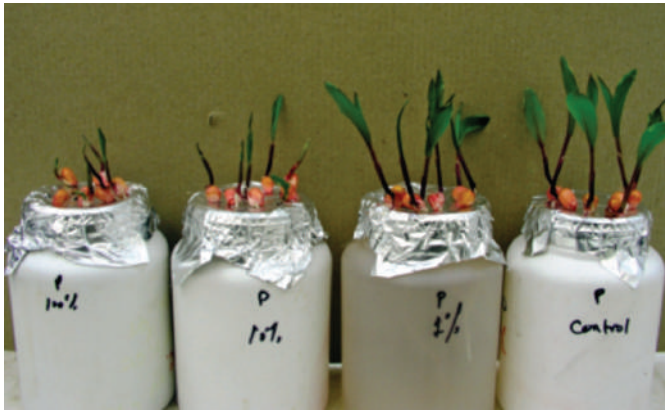
החומרים והכלים הדרושים:

צלחות פטרי בקוטר 15 ס"מ.

נייר סינון.



תמונה 1: זרעי תירס שהונבטו בחושך למשך יומיים



תמונה 3: מערכת ניסוי בהידרופוניקה, בה נבדקה השפעת מהולים שונים של שפכים ביתיים ראשוניים על קצב גדילת הנופים והשורשים



תמונה 4: השפעת מהולים שונים של שפכים ביתיים ראשוניים על קצב גדילת הנופים והשורשים

מערכת ניסוי 2 - השפעת גורמים אביוטיים על קצב הנשימה

בעת תהליך הנשימה בצמחים, מולקולות מים מתאדות מהעלים דרך הפיוניות הפתוחות בזמן קליטת CO_2 לפוטוסינתזה, ומולקולות מים חדשות נכנסות דרך השורשים. נוכחות חומרים אביוטיים שונים (כגון מלחים, חמצן, סידן) בתמיסה בסביבה החיצונית של השורשים, יכולה להשפיע על קצב הנשימה, וכתוצאה מכך, על קצב התאדות המים מעלי הצמחים. השימוש בשיטת הגידול בהידרופוניקה מאפשר מעקב אחרי שינוי קצב הנשימה כפונקציה של גורמים אביוטיים שונים. המעקב אחרי קצב הנשימה מתבצע באמצעות שקילת הצמחים (כולל מצע הגידול) בטיפולים השונים בזמנים שונים.

הנבטים יועברו לחדר הצמיחה, בו תשרור טמפרטורה של $27 \pm 2^\circ\text{C}$.

תסופק תאורה פלורסנטית בהספק 35 W m^{-2} , למשך 12 שעות ביממה. אלטרנטיבית, ניתן להשתמש בתאורה הקיימת במעבדות, ולוודא שכל הטיפולים ייחשפו לאותה רמת תאורה.

יש לדאוג לרמת לחות בסביבות 50%, באמצעות הנחת כלי פתוח המכיל מים בחדר המעבדה. נבטים בעלי אורך שורשים של 1 ס"מ יונחו על פלטת הפוליסטירין, ושורשיהם יועברו דרך החורים בפלטה כך שיהיו במגע עם תמיסת הגידול, (Fan et al. 2004, 0.4 mM CaCl_2) (2006 הנמצאת בכוס פלסטיק (תמונה 2)).

בכוס המכילה את תמיסת הגידול יגודלו כ-20 נבטים ראשוניים. לתמיסת הגידול יוחדרו צינורות אוורור על מנת למנוע יצירת תנאים אנאירוביים. כעבור ארבעה ימים מזמן ההעברה לתמיסת המזון יתקבלו שורשים באורך של כ-10 ס"מ בממוצע, אשר יילקחו לבדיקת השפעת הגורמים האביוטיים הנחקרים על גדילת הנופים והשורשים.

אילו גורמים אביוטיים ניתן לבדוק במערכת זו?

1. ריכוז חמצן בסביבת השורשים
2. ריכוזי סידן $0-120 \text{ mM}$ (CaCl_2)
3. ריכוזי זרחות (פוספטים) $0-150 \text{ mM}$
4. ריכוזי מלחים (מלח בישול) $0-150 \text{ mM}$
5. pH
6. טמפ' של חדר הגידול ושל מדיום הגידול
7. עצמת תאורה
8. הרכב מדיום הגידול



תמונה 2: צמחים ראשוניים (תירס) לאחר 5 ימים גידול בהידרופוניקה

תמיסת 0.4 mM CaCl_2

כלי פלסטיק גליליים בנפח 100 מ"ל . ניתן להשתמש במבחנות צנטריפוגה בעלת מכסה מתברג אשר בסיסה נחתך ומונחת הפוך (ראו תמונה 5).

נייר כסף.

מהלך הניסוי (Asli, 2009)

הצמחים יגודלו בתמיסת 0.4 mM CaCl_2 רוויה בחמצן (לשם הבטחת תנאים אירוביים לשורשים), בתוך מעבדה מוארת, עד לשלב של 3 עלים.

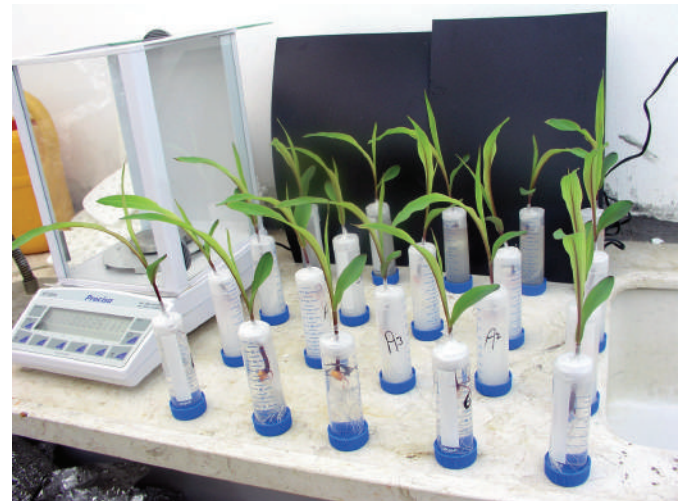
יבחרו שתילים בגודל אחיד מתוך מדגם של 20 צמחים.

השתילים יועברו לכלי פלסטיק גלילי בנפח 100 ml המכיל מצע נוזלי של 75 מ"ל תמיסת 0.4 mM CaCl_2 , ואת הגורם האביוטי הנבדק. הכלים ייסגרו ליד בסיס הצמח ע"י נייר כסף.

קצב הנשימה ייקבע באמצעות מעקב אחר הירידה במשקל ע"י שימוש במאזניים אלקטרוניים בהפרשי זמנים של 30 דקות למשך 3 שעות.

משקל המים שהשתילים איבדו יחולק בשטח העלים, וקצב הנשימה ייקבע ביחידות של $\text{H}_2\text{O mg cm}^{-2}/\text{leaf}$. שטח העלים יחושב ע"י הנחת העלים על נייר מילימטרי.

ניתן לבדוק באמצעות מערכת זו את אותם גורמים אביוטיים שהוזכרו עבור מערת ניסוי 1.



תמונה 5: מערכת הניסוי לקביעת קצב הנשימה

מערכת ניסוי 3 - השפעת גורמים תפעוליים על נפח המתאן הנוצר מריאקטור אנאירובי

זהו נושא חדש אשר מומלץ להכניס למגוון הנושאים המוצעים כנושאי חקר בבית הספר. כאן מוצע לבדוק השפעת גורמים תפעוליים כגון טמפרטורה, ריכוז חומר אורגני, זמן שהייה ו- pH על פוטנציאל וקצב יצירת המתאן בפירוק אנאירובי לפסולת ביתית, שפכים ושפכים סינתטיים. במקרה שיש מגבלה כלשהי מטעם משרד החינוך בנוגע לעבודה עם שפכים, ניתן לעבוד עם שפכים סינתטיים. הכנת שפכים סינתטיים יכולה להיעשות במעבדה ע"י ערבוב של שמן סויה, צלולוזה ואלבומין לקבלת שפכים מורכבים כדוגמת שפכים ביתיים. הרכב השפכים הסינתטיים ייקבע על פי נושא החקר. דוגמאות:

שפכי תעשייה עתירי שומן כגון תעשיית החלב - השפכים הסינתטיים יכילו שמן סויה בריכוז 3g/L .

שפכי תעשייה עתירי סוכר כגון תעשיית הנייר - השפכים הסינתטיים יכילו צלולוזה בריכוז 3g/L .

שפכי תעשייה עתירי חלבון כגון שפכי בית מטבחיים - השפכים הסינתטיים יכילו אלבומין או כל חלבון מסחרי אחר בריכוז 3g/L .

בניסוי ניתן להשתמש באנזימים מסחריים מפרקי שמנים כגון ליפאז, מפרקי פוליסכרידים כגון צלולאז, או מפרקי חלבונים כגון פרוטאז (בהתאם לסוג החומר ממנו יוכנו השפכים הסינתטיים). הפירוק של מולקולות הענק למולקולות קטנות מזרז את תהליך הפירוק האנאירובי בריאקטור באמצעות זירוז שלב ההידרוליזה (השלב הראשון בתסיסה האנאירובית) על ידי האנזים.

נושאי חקר שניתן לבדוק באמצעות מערכת זו כוללים את סוג האנזים, ריכוזו או תקופת האינקובציה של השפכים עם האנזים. גורמים נוספים שניתן לבדוק הם חומרים היכולים לזרז תהליך התסיסה האנאירובית ולגרום להעלאת פוטנציאל יצירת הביוגז, כדוגמת חומצות הומיות מסחריות, חרסיות כגון חרסיות הבינוניט ופסולת כגון גפת (תוצר תהליך סחיטת זיתים). חומרים אלו יכולים לספוח תרכובות רעילות הנוצרות בריאקטור בזמן העיכול.

אילו גורמים תפעוליים היכולים להשפיע על פוטנציאל יצירת המתאן בריאקטור האנאירובי ניתן לבדוק?

1. טמפר'
2. pH
3. ריכוז אנזים
4. תקופת אינקובציה
5. סוג שפכים והרכבם
6. זמן שהייה
7. תוספת פחם
8. תוספת חומצה הומית

9. תוספת חרסיות

10. תוספת גזם, גפת ועוד

מתקנים pH עד ל-7 = pH ומוסיפים בופר פוספט בריכוז 4g/L. סוגרים את הבקבוק באמצעות פקק גומי אשר לתוכו מושחל צינור פלסטיק באורך 5 ס"מ המחובר למזרק בנפח 100 מ"ל (ראו תמונה 6).

את הביוריאקטור מדגירים באינקובטור ב-37°C (או בתנור מתאים).

הביוגז הנוצר מצטבר במזרק. ניתן לעקוב אחרי נפח הביוגז ע"י בדיקת גובה מדחס המזרק כפונקציה של זמן.

מערכת ניסוי 4 - השפעת גורמים אביוטיים על הביזמסה של האצות

זהו עוד נושא חקר חדש. בתי ספר מעטים בלבד מאפשרים חקר נושאים אלו היות ובדרך כלל הכלים לביצוע ניסויים מסוג זה אינם זמינים.

כיום ניתן למצוא כמעט בכל בית ספר מכשיר ספקטרופוטומטר, בעזרתו ניתן לעקוב אחרי המשתנה התלוי - צפיפות האצות. ניתן להשיג אצות מיקרוסקופיות מסחריות, ולעקוב אחרי צפיפותן כפונקציה של גורמים אביוטיים שונים (עוצמת אור, ריכוז פחמן דו חמצני, ריכוז פוספטים, ריכוז ניטראטים, ריכוז סבון, ריכוז דשן) האצות מכילות כלורופיל אשר בולע באורך גל 665 nm. ניתן לעקוב אחר גדילת האצות באמצעות בדיקת ריכוז הכלורופיל כפונקציה של הגורמים האביוטיים הנחקרים.

אילו גורמים אביוטיים ניתן לבדוק במערכת זו?

1. עוצמת אור
2. ריכוז CO_2
3. ריכוז פוספטים
4. ריכוז ניטראטים
5. דטרגנטים כגון סבון
6. דשנים

החומרים והכלים הדרושים:

מבחנות זכוכית
ספקטרופוטומטר
אצות

מהלך הניסוי:

שלב א' - הכנת עקומת כיוול: מיצוי, ריכוז וסינון כמויות ידועות של אצות. בדיקת הבליעה המתקבלת בכל מיצוי לקביעת הקשר בין ריכוז הכלורופיל (התסנין) לבין הבליעה.

שלב ב' - גידול האצות: מומלץ להשתמש באצת הספירולינה,

בניית ריאקטור אנאירובי מעבדתי (Asli et al., 2014)

החומרים והכלים הדרושים:

בקבוקי זכוכית בנפח 330 מ"ל

בוצה אנאירובית (10-15% w/v). ניתן להזמין בוצה ממפעל פריגת חדרה ללא תשלום (ייתכן שניתן לקבל בוצה גם ממפעלים אחרים)

בופר פוספט בריכוז 4g/L

פקק גומי שלתוכו מושחל צינור פלסטיק באורך 5 ס"מ

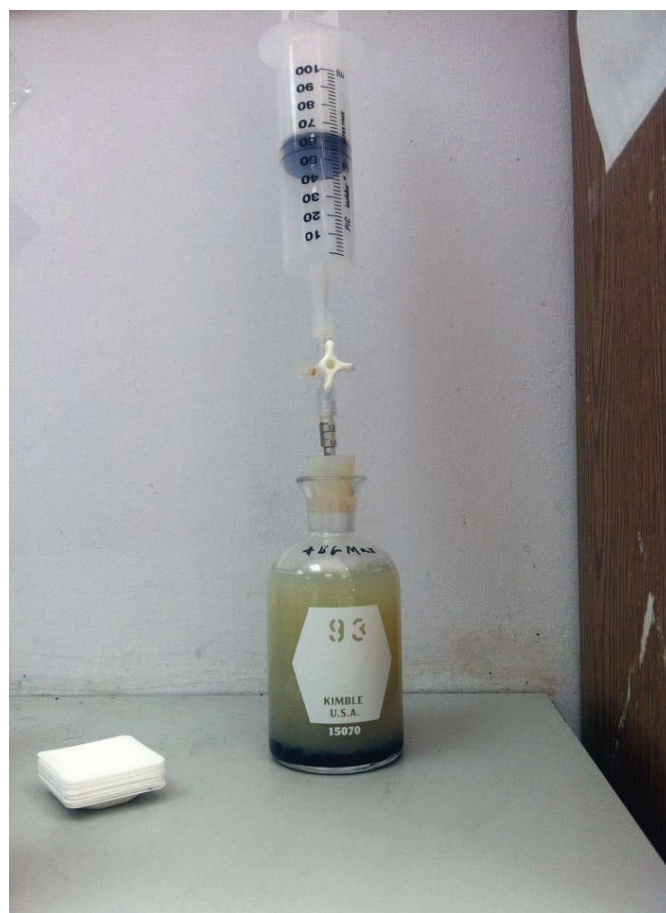
מזרק בנפח 100 מ"ל

מהלך הניסוי:

לתוך בקבוקי זכוכית בנפח 330 מ"ל, מכניסים בוצה אנאירובית (10-15% w/v).

מכניסים את השפכים הרצויים (פסולת או שפכים סינטיים).

מוסיפים אנזים (למשל - ליפאז בריכוז 0.3g/L).



תמונה 6: מערכת הניסוי של ביוריאקטור אנאירובי

מקורות

1. Asli S, (2009). Effects of colloids in the root environment on apoplastic water transport and plant growth. PhD thesis, Technion.
2. Asli S, Sabbah I, Bisher M, Massalha N. (2014). Enhancing methane production from lipid-rich wastewater by enzymatic pretreatment. Submitted to Renewable Energy Journal.
3. Chazen O., Hartung W., Neumann P.M. (1995). The different effects of PEG 6000 and NaCl on leaf development are associated with differential inhibition of root water transport. Plant Cell and Environment. 18, 727-735.
4. Fan L., Neumann P.M. (2004). The spatially variable inhibition by water deficit of maize root growth correlates with altered profiles of proton flux and cell wall pH. Plant Physiology. 135, 2291-2300.
5. Fan L., Linker R., Gepstein S., Tanimoto E., Yamamoto R., Neumann P.M. (2006). Progressive inhibition by water deficit of cell wall extensibility and growth along the elongation zone of maize roots is related to increased lignin metabolism and progressive stelar accumulation of wall phenolics. Plant Physiology. 140, 603-612.
6. Palmegiano GB, Agradi E, Forneris G, Gai F, Gasco L, Rigamonti E, Sicuro B, Zoccarato I. (2005). Spirulina as a nutrient source in diets for growing sturgeon (*Acipenser baeri*). Aquaculture Research, 36:188-195.

שהינה צמח מים קטנטן ושייכת למשפחת המיקרואצות. ניתן להשתמש בה כאצה מייצגת מאחר ותנאי הגידול שלה גמישים ולכן קל מאוד לגדלה במעבדת בית הספר.

האצות יגודלו למשך 1-2 שבועות ב- $pH=3.5-11$, וטמפרטורה של $30-32^{\circ}C$.

אם בחדר הגידול חלונות הפונים מזרחה, דרומה או מערבה, התאורה הטבעית מספיקה. אם אין מספיק תאורה טבעית, ניתן גם להאיר את האצות במנורת שולחן פלורסנטית. האצות יגודלו במבחנות זכוכית בנוכחות הגורם הנבדק. יוכן מיצוי מהאצות והבליעה תבדק בספקטרופוטומטר.

ריכוז הכלורופיל, המייצג את צפיפות האצות, יקבע באמצעות בדיקת הבליעה בספקטרופוטומטר.

סיכום

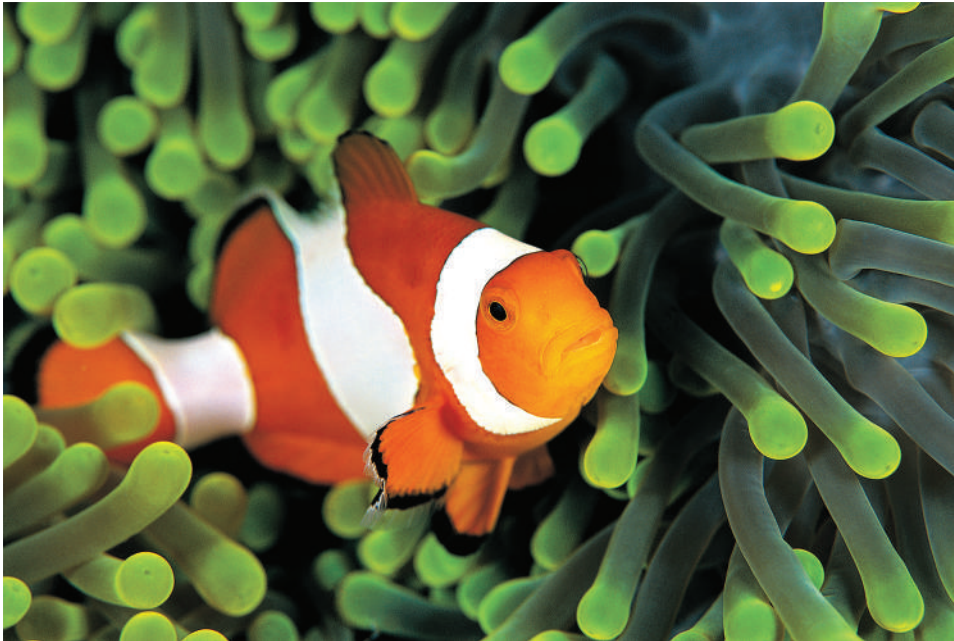
בסקירה זו הוצעו שיטות חדשות ופשוטות המאפשרות לגוון את נושאי חקר ולהפוך נושאים רבים לברי ביצוע בבית הספר. בנוסף, באמצעות שיטות אלו ניתן לחקור היבטים שונים של נושאים מסוימים, שלא מתאפשרים בשיטות אחרות, כגון המעקב אחרי גדילת השורשים כפונקציה של ריכוז מלחים במצע הגידול.



מוצאים את (יחסי הגומלין בעזרת) נמו

נעמי רייבשטיין

אקדמיה למוסיקה ולמחול ירושלים



יש אפשרויות רבות לדון עם תלמידים על יחסי גומלין: באמצעות הספר, בסיוע של תמונות וסרטונים מדעיים וכדומה. אך ליווי של כל אלה באמצעות דרך משעשעת וחוויתית חוסכת זמן (גם אם זה לא נראה כך), מגוונת, מלכדת את הקבוצה ומחזקת את הלמידה.

הסרט "מוצאים את נמו" מספק את הצרכים האלה. הסרט נחמד בפני עצמו והוא מהימן מבחינה מדעית משום שהוא מבוסס על ידע ביולוגי רחב שנתרם על ידי קבוצה גדולה של ביולוגים ימיים. הסרט מאפשר לנו דיון עם תלמידים בצורה מרעננת ופעילה.

בסרט נמצא נקודות שונות לדיון בנושא אקולוגיה:

1. [שוניות האלמוגים](#). בסרט מיוצגת שונית האלמוגים הגדולה בעולם - השונית האוסטרלית, עם שפע הצבעים ומגוון היצורים החיים שבה. מומלץ לשוחח עם התלמידים על השונית באילת, מצבה, בריכות הדגים והשפעתן, הלבנת השונית.
2. חשיבות הצבע בעולם החי: הסוואה, זיהוי תוך מיני, טריטוריאליזם.
3. התאמות לטריפה והגנה מפני טריפה.
4. החיים במעמקים וההתאמות המיוחדות של בעלי החיים המאכלסים בית גידול מיוחד זה.
5. [תקשורת בין לווייתנים](#).
6. החיים בלהקות ויתרונותיהם.
7. [זרמים תת ימיים והשפעותיהם](#) (זרם אוסטרליה, זרם הגולף).
8. [אניות טרופות](#) שהפכות לבתי גידול לאורגניזמים ימיים והפרויקט שקיים להטביע אניות ישנות על מנת להרחיב את שטח האכלוס של אורגניזמים ימיים.
9. [חשיבות החנקן](#). הדגים מחליטים לחבל בניקוי האקווריום והוא מתמלא באצות (עקב ההפרשות החנקניות שלהם). הזדמנות לדבר על חשיבות החנקן לבניית חלבונים וחומצות אמיניות, חומרים החשובים לפעילות התאים וחלוקתם (במיוחד עקב העובדה שרוב התלמידים לא ידעו לענות על שאלה זו בבחינת הבגרות).
10. ובעיקר: יחסי גומלין על כל מגוונם.

יחסי גומלין בסרט "מוצאים את נמו"

בסרט, שאורכו כשעה וארבעים דקות, ניתן למצוא את כל יחסי הגומלין בין מינים שונים. מומלץ לדון עם התלמידים על הסוגים השונים של יחסי הגומלין לפני הקרנת הסרט ואז לבקש מהם למצוא אותם בו. חשוב לציין שכל סוג של יחסים מופיע בסרט לפרק זמן קצר מאוד ויש להיות ערניים. מומלץ לבקש מהתלמידים למלא טבלה על מנת שיהיו ממוקדים. יש להסב את תשומת ליבם להבדל בין מדע לבין דמיון:

סימביוזה	הדדית	בין דג השושנון לבין שושנת הים. בין דג החכאי לבין חיידקים מאירים. סרטן מנקה דגים אחרים. דג חכאי וחיידקים זוהרים ב"חכה".
	קומנסליזם ²	סרטן הנזיר מאכלס קונניות של בעלי חיים שמתו. תפיסת טרמפ על בע"ח אחרים.
	טפילות	חיידקים פוגעים בשיניים של האדם.
יחסי גומלין בין מינים שונים	טריפה הגנה מפני טריפה	התאמות לטריפה מהירות רבה (טריפת הצאצאים של השושנונים). המבנה המיוחד של שיני הכרישים. דג חכאי מפתה ומושך דגים באמצעות "חכה" זוהרת. תאים יורים בזרועות המדוזות. הצבתות החזקות של סרטנים. ה"חרב" של דג החרב.
		הגנה בפני טריפה החיים של דגי השושנון בתוך השושנה. דג סולית מסתתר בחול. הדיונון משחרר דיו כדי להטעות ולברוח. דג נפחן מתנפח (גוף גדול) ומבליט את הקוצים. התחזות למת.
	תחרות	תחרות בין השחפים לבין השקנאים על מזון. תחרות בין מינים שונים של סרטנים.
יחסי גומלין בין בני אותו מין	תחרות	תחרות על מזון בין השחפים.
	שיתוף פעולה	דגים שחיים בלהקות. קיים תיאום מושלם ביניהם. באותה מידה אפשר להתייחס למושבות השחפים. אמנם יש תחרות בין השחפים, אבל הם משתפים פעולה בחיפוש מזון והגנה.
	רביה	טיפול בצאצאים אצל דג השושנון. שמירת הצאצאים בתוך הפה.

- 1 סוג זה של יחסי גומלין אינו מופיע בתוכנית הלימודים.
- 2 סוג זה של יחסי גומלין אינו מופיע בתוכנית הלימודים. אבל אולי כדאי להזכיר אותו בגלל שהתלמידים בדרך כלל מזהים ורושמים אותו.
- 3 למרות שניסיתי לדייק בזמנים, רוב הסצנות עוברות מהר מאוד ויתכן שפספסתי במספר שניות.
- 4 הקישורים מובילים לקטעים המתאימים ביותר. הם לצורך המחשה לנו. הם גם לא מתורגמים לעברית ואין בהם כתוביות. לא מומלץ להראות לתלמידים קטעים קטעים כי הם יוצאים מההקשר ומאבדים את האפקטיביות שלהם. מומלץ להראות את הסרט כולו ולבקש מהם למצוא את יחסי הגומלין ואולי אחר כך, בזמן דיון, להזכיר את הנושא על ידי קטעי היוטיוב.

זמן ³	יחס הגומלין	תיאור ⁴	במציאות
00:30	סימביוזה	זוג ההורים של נמו (דגים מסוג שושנון) מוצאים שושנה ומיישבים אותה. הם כבר הטילו ביצים.	דגי שושנון מקיימים יחסים סימביוטיים הדדיים עם שושנות הים. מכאן שם גיבור הסרט, נמו. השם שלו נכלל בשם השושנה aNEMOne. הדגים מאוד טריטוריאליים ולכן הצבעים הבולטים שלהם. כל שושנה מאוכלסת על ידי זוג שושנונים ומספר צעירים. בכל קבוצה יש נקבה אחת, שהיא גדולה מהזכרים והיא השולטת. קיימת היררכיה בין הזכרים. במקרה שהנקבה מתה, הזכר הגבוה בהיררכיה (שהוא זה שמתרבה) הופך לנקבה ונוצרת היררכיה חדשה בין שאר הזכרים. לשושנות הים, כמו לכל בני המשפחה (הידרות, מדוזות) תאים יורים בזרועות. כאשר השושנה חשה בקרבת בעל חיים התאים יורים "חוט" מצופה ברעל. רעל זה משתק את הטרף ומקל על לכידתו. דגי השושנון מושכים דגים אל השושנה וניזונים מהשאירות. הדגים גם מאווררים את השושנה באמצעות תנועותיהם סביבה. לסיכום: השושנה מספקת הגנה ומזון לשושנונים. השושנונים מושכים את הטרף, מנקים את השושנה, מאווררים אותה והפרשותיהם (במיוחד הפסולת החנקנית) מספקות נוטריינטים לאצות הגדלות בסימביוזה ברקמות השושנה וכך, באופן עקיף, הם תורמים לגדילת השושנה: האצות מבצעות פוטוסינתזה ותורמות חומרים אורגניים לשושנה. השושנה יורה גם על השושנונים. הם אינם ניזוקים ממנה הודות לשכבת ריר עבה המופרשת מעל עורם על ידי תאי העור. הריר נוצר בעקבות המגע עם השושנה. לכן, דגי השושנון משתפשים בזרועות השושנה בצורה תדירה , על מנת לחזק את הפרשת הריר. שושנון שמתרחק מהשושנה שלו זמן ארוך ימות מעקיצותיה עם חזרתו.
2:45	טריפה	ברקודה טורף את זוג ההורים ואת הביצים.	אם שמים לב, רואים את המבנה הארוך והצר (הידרודינמי) של הברקודה, התורם לתנועות המהירות שלה.
5:05	סימביוזה	מרלין (אבא של נמו) ונמו משוחחים על החיים בשושנה והיציאה ממנה .	כאמור, השושנה מאוד חשובה עבור השושנונים, היות שהיא מספקת להם הגנה ומזון. בקטע מוצגת ההערכה של הדגים לשושנה שלהם.
7:14	רביה וטיפול בצאצאים	דג שומר על הצאצאים בתוך הפה.	מעט דגים מטפלים בצאצאיהם ומגנים עליהם עד לבגרות. בין הדגים ששומרים על הצאצאים, יש קבוצה מיוחדת הדוגרת על הביצים בפה ובעת סכנה ההורה מכניס את הצאצאים לתוך פיו. בין המינים האלה מונים את דגי האמנון והציקלידים.
7:20	קומנסליזם	דגים משחקים עם הקונכייה של סרטן הנזיר. הוא דורש שיחזירו לו אותה.	סרטני הנזיר הם חסרי שלד חיצוני קשיח והם מגנים על עצמם על ידי אכלוס של קונכיות זרות, אותן הם מוצאים על קרקעית הים. בעל קונכייה, שכבר מת, "תורם" אותה וכך הסרטן מרוויח. יש לציין שסרטני הנזיר מקיימים, לעיתים קרובות, סימביוזה הדדית עם שושנות ים. הסרטנים "מדביקים" שושנת ים על הקונכייה והיא מתפתחת עליה. השושנה מספקת מזון, הגנה והסוואה לסרטן והוא מוביל אותה לאזורים חדשים.

8:13	הגנה מפני טריפה	דג סולית מסתתר בחול	דג הסולית נח על צדו האחד, מחופר באדמה. בצד המונח על החול יש פה עם שיניים מפותחות, בעוד ששתי עיניו מצויות על הצד השני הפונה כלפי מעלה. הדגים בוקעים מהביצים כמו דגים רגילים, ובמהלך התפתחותם, אחת העיניים נודדת לצד השני וכך הדג "נעשה שטוח". הוא ניזון בעיקר מאורגניזמים המצויים בקרקעית הים.
11:42	הגנה מפני טריפה	הדינון משחרר דיו בזמן סכנה.	דינון משחרר דיו במציאות.
18:56	טריפה	פגישת גמילה של כרישים מפני טריפת דגים. התאמה לטריפה: שיני הכרישים. עם הרחת דם, הכריש מאבד את העשתונות ורודף אחרי מרלין ודורי.	שיני הכרישים מסודרות בכמה שורות והן חדות להחריד.
25:50	סימביוזה	סרטן מנקה את נמו מפני הזיהומים של האוקיאנוס.	לא רק דג הנקאי מספק שירותי ניקיון (לדגים). מספר מינים של סרטנים חיים בסימביוזה עם שושנות ים ומספקות להן שירותי ניקיון. כל סרטן מוסווה בצורה מופלאה בשושנה שלו.
26:27	טפילות	טיפול שורש במרפאת השיניים. חיידקים פוגעים בבריאותנו. ציטוט מהסרט: "פה האדם הוא מקום גועלי".	
27:00	הגנה מטריפה	דג נפחן (אבו נפחה) מתנפח ומבליט את הקוצים שלו. מוטיב זה חוזר בקטעים נוספים: (1:11:25; 1:15:13)	דג נפחן מתנפח



31:40-	טריפה	דג חכאי. התאמה למעמקים	בנוסף להתאמה של החכה ותכולת החיידקים המאירים, העובדה שהזכר "צמוד" לנקבה היא התאמה נוספת לחיים הבודדים במעמקים בהם קשה כל כך למצוא בן זוג (או מזון).
34:00	סימביוזה	דג חכאי: סימביוזה עם דגים מאירים.	
38:43	יחסים תוך מיניים	החיים בלהקה של דגים.	להקת דגים 1 להקת דגים 2
43:00	טריפה, הגנה מפני טריפה	מסע של מרלין ודורי בין מדוזות. מותר לגעת בראשים של המדוזות אך לא בזרועות.	זרועות המדוזות מכילות תאים יורים רעילים, אך הראשים לא. חוקי המסע של מרלין בין המדוזות מבוססים על עובדה זו. מרלין (שושנון) מוגן יותר מדורי למסע זה (למרות שהוא כבר זמן רב לא השתפשף בשושנה וסביר שרירו התדלדל). בסופו של דבר גם מרלין נפגע.
49:09	קומנסליזם	תפיסת טרמפ על שריון הצבים.	ברווזוני ים מתיישבים על עורם של לווייתנים ומוסעים כך לבתי גידול חדשים. ידוע גם מין של כריש שבעזרת כריות הדבקה בפיו נדבק לכרישים אחרים ותופס טרמפ עליהם (וחוסך אנרגיה).
54:06	התאמה לטריפה	צבתות הסרטנים	צבתות של סרטנים
54:40	התאמה לטריפה	התאמה של דגי חרב	למרות הדעה המקובלת, החרב אינה משמשת את הדג לתפיסת טרף, אלא רק לפצוץ אותו ולהקל על לכידתו (בעזרת הפה והשניים). זהו דג מהיר במיוחד.
54:41	תחרות תוך ובין מינית	בין שחפים ובין שחפים לשקנאים. יש המשך: 1:14:06; 1:17:06; 1:15:05. ציטוט: "שלי, שלי, שלי".	שני מיני שחפים החיים יחד
1:15:36	התאמה לטריפה	נמו עושה את עצמו מת.	טורפים אינם טורפים בע"ח מתים. כך ששיטה זו יעילה מאוד על מנת לחמוק מטורף.
1:20:18	תחרות בין מינית	תחרות בין סרטנים בביוב. ציטוט: "לך מפה".	
1:23:43	יחסי תוך מיניים	החוזק של החיים בלהקה	

טבלה לתלמידים

יחסי גומלין בין מינים שונים	סימביוזה	הדדית	
		קומנסליזם ¹	
		טפילות	
יחסי גומלין בין בני אותו מין	טריפה	התאמות לטריפה	
		הגנה מפני טריפה	
יחסי גומלין בין בני אותו מין	שיתוף פעולה רבייה	תחרות	
		תחרות	
		שיתוף פעולה	

והזוכים הם...

מי הם התלמידים ומוריהם שזכו בתחרויות של עבודות החקר בביולוגיה ובמדעי הסביבה? מה הם חושבים על החוויה שעברו, ואיך הם רואים את חשיבות המחקר שלהם?

ראיינה: זהר סנפיר

אולימפיאדה בביולוגיה

שם התלמידה: כרמל דוד

שם בית הספר: עתיד - תיכון למדעים

ישוב: לוד

במה עוסק המחקר שלכם?

המחקר שלנו עוסק בהשפעת עוצמת האור ובהשפעת אורך הגל על כמות הכלורופיל שנוצרת בעלים ובגבעולים של צמח העדשה התרבותית.

כיצד בחרתם את נושא המחקר שלכם?

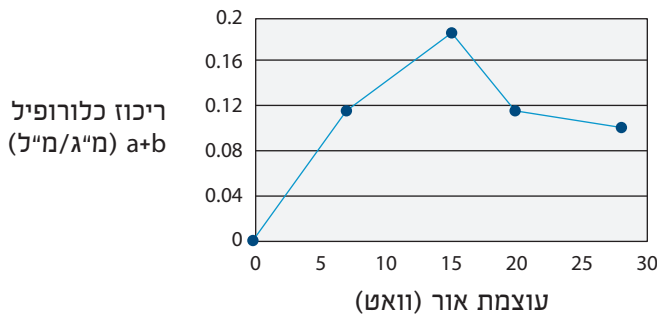
למען האמת, תכננו לבצע מחקר בתחום שונה לחלוטין - השפעת סוג הסוכר וריכוזו על קצב הגעת הנמלים אל מקור הסוכר. אך מכיוון שגם רותם וגם אני עלינו לשלב השני של האולימפיאדה עוד לפני ביצוע הניסוי, לא עמד לרשותנו מספיק זמן על מנת לבצע את הניסוי המתוכנן. כמו כן, לא מצאנו נמלים בעונת החורף בה התקיימו שלבי האולימפיאדה. לכן בחרנו באורגניזם שגדל מהר ומאפשר קבלת תוצאות במהירות.

ספרו לנו על ממצא אחד מעניין מהמחקר שלכם.

ראשית, מצאנו שכדאי ליצור מדרג של עוצמות אור ע"י שימוש בנורות מסוג Cool White שהן נורות שפחות מחממות את הצמח, דבר התורם למניעת איבוד מים בדיות. ההספק של נורות אלה הוא שווה ערך להספק גבוה פי 5 מזה של נורות ליבון. כלומר, עוצמת אור של 7 וואט Cool White שווה בערכה לעוצמת אור של 35 וואט נורת ליבון.

בניסוי גילינו כי ככל שעוצמת האור גבוהה יותר (עד ערך מסוים) ריכוז הכלורופיל בעלה גבוה יותר. בעוצמות אור גבוהות מאוד, ריכוז הכלורופיל בעלה יורד.

הקשר בין עוצמת האור לבין ריכוז הכלורופיל בעלי ובגבעולי עדשה תרבותית



האם לדעתכם המחקר שעשיתם חשוב? נסו להסביר במה הוא חשוב.

המחקר שביצענו הוא בעל חשיבות רבה בחקלאות. חקלאים רבים משתמשים בתאורה מלאכותית על מנת להגדיל את ריכוז הכלורופיל בצמח ואת קצב הפוטוסינתזה ובכך להגדיל את היבולים. מציאת עוצמת האור האופטימלית מאפשרת חשיפת צמחים לתנאים הדרושים תוך חיסכון באנרגיה. מציאת אורך הגל שמאפשר ייצור אופטימלי של כלורופיל יעזור לחקלאי בבחירת צבע הנורה.

מי הציע לכם לגשת לאולימפיאדה? מה הרגשתם?

המורה שלי לביולוגיה, רומי, הציגה בפני הכיתה את האופציה עוד בכיתה יא' ומיד ידעתי שארצה להשתתף. בתחילת יב', רומי ערכה רישום של המעוניינים לגשת לאולימפיאדה, נרשמתי ומשם החל כל התהליך.

האם היה משהו קשה במיוחד בביצוע המחקר? בהכנות לתחרות?

תכנון מערכת הניסוי היה מעט מסובך, מפני שהיינו צריכים לבודד את כל הנבטים ולמנוע השפעות של גורמים שלא נבדקו בניסוי. כמו כן, בדיקת ריכוז הכלורופיל בעזרת הספקטרופוטומטר הייתה קשה בשל הצורך בדיוק וביצוע מיהולים רבים.

איך עזרה לכם המורה שלכם?

המורה כיוונה אותנו בשלב ההחלטה על שאלת החקר, עודדה אותנו לבחור בנושא זה, קראה את העבודה ונתנה הערות לתיקון. בנוסף, המורה סייעה לי ולחברתי רותם שגם עלתה לשלב השני של האולימפיאדה בהכנת הכרזה ויעצה לגבי אופן הצגת התוצאות. כמו כן, המורה ואני עבדנו יחד על הפרזנטציה בפני השופטים והקהל בשלב הסופי של האולימפיאדה.

ספרו לנו על חוויה שזכורה לכם מיום האולימפיאדה.

רגע שזכור מהשלב הסופי של האולימפיאדה הוא רגע פתיחת המעטפה בה הופיעו השאלות שעליהן נדרשתי לענות בפני הקהל ובפני השופטים. ראיתי שאלות אלה לראשונה בחיי ברגע ההוא. מעט חששתי אך סמכתי על עצמי שאדע להתמודד איתן.

מה הייתם ממליצים לתלמידים שעומדים להשתתף באולימפיאדה השנה?

אני ממליצה לאותם תלמידים להתחיל בביצוע החקר וכתובת העבודה כמה שיותר מוקדם כדי להימנע מלחץ בשל היעדר תוצאות מהניסוי סמוך למועדי השלבים השונים.

מדוע בחרתם בלימודי ביולוגיה 5 י"ל?

הוריי עוסקים בביולוגיה (אבי חקלאי ואמי מורה לביולוגיה), אחי ואחותי למדו במגמת ביולוגיה, ולכן הדרך עבורי כבר הייתה סלולה. כמו כן, אני מאוד מתעניינת בנושאים שנלמדים במגמה.

מה תרצו לעשות כשתהיו גדולים?

עדיין לא החלטתי אך ברור לי שאשרת בצה"ל, אטייל בעולם ואחזור ללמוד באוניברסיטה (כנראה אתחיל בבר אילן בזכות המלגה שקיבלתי).

מה דומה ומה שונה לדעתכם בדרך שבה לומדים בפרויקט חקר לעומת הדרך שבה לומדים בכיתה?

ההבדל המשמעותי בין למידה בכיתה לבין למידה באמצעות פרויקט חקר היא שבפרויקט חקר הלימוד הוא עצמי ועצמאי, בעוד שבכיתה המורה הוא שמנחה את הלמידה. בנוסף, בביצוע החקר יש יישום של עקרונות שנלמדו בכיתה.



המורה: רומי ישראלי

אני מלמדת בתיכון עתיד מדעים לוד. בית הספר בו אני מלמדת הוא תיכון אינטגרטיבי המשלב אוכלוסיית תלמידים מלוד ורמלה ומיישובי הסביבה. כמו כן, לומדים אצלנו יהודים וערבים זה לצד זה. מגמות הלימוד הן על טהרת המדעים עם אפשרות לשלב גם מגמה ללימוד ערבית.

מזה מספר שנים אני מגישה תלמידים לאולימפיאדה בביולוגיה. אני רואה חשיבות גדולה בהתנסות של תלמידי גם בתחרות מעין זו.

בסוף יא' אני מקדישה שיעור לעניין האולימפיאדה. אני מספרת לתלמידי על התחרות ומנסה לשכנע אותם להירשם. הכנתי מצגת על האולימפיאדה, אני מראה אותה בכיתה ומנסה לאתגר אותם. כמובן שאני מספרת להם גם שהתחרות נושאת פרסים. כמו כן, אני ממליצה למעוניינים לבחור נושא ביוחקר שיהיה מעניין ולא שגרתי. ואני מידעת אותם, שהנרשמים חייבים לבצע את ניסוי הביוחקר מוקדם ככל שניתן, כבר בתחילת יב'.

בתום שיעור זה, תמיד ניגשים אלי מספר תלמידים שהתרשמו/ אותגרו ומבקשים להירשם. אני מאפשרת לעשרה תלמידים, עשרת הנרשמים הראשונים, לגשת לשלב א' של התחרות.

תלמידים אלה, מקבלים קדימות בכל הנוגע לביצוע עבודת החקר. זה אומר שכבר בתחילת יב' אני יושבת עם כל קבוצה ומנסה יחד איתם לקבוע לוי"ז עבודה. במקביל, אנחנו מעלים מושגי מפתח הקשורים לנושא העבודה ומחפשים מקורות ביבליוגרפיים העוסקים בכך. אני ממליצה על ספרים/



חוקרים סביבה

שם התלמידה: אופירה מושיאלוב

שם בית הספר: תיכון חדש על שם רבין

ישוב: קרית גת

במה עוסק המחקר שלכם?

המחקר שלנו עוסק בבחינת כושר הספיחה של פוליפינולים משפכים נוזליים על ידי חומרים אורגניים שונים.

כיצד בחרתם את נושא המחקר שלכם?

אנחנו לא בחרנו. המורה שלנו מאיר מלכה פנה למכון ואמר להם לגוון בנושאי הבחירה של העבודה. הוא ידע מה הכי טוב בשבילנו ולמה אנחנו מסוגלים.

ספרו לנו על ממצא אחד מעניין מהמחקר שלכם.

מה שהכי עניין אותי אלו התוצאות של HPLC. זו השיטה השנייה שהשתמשנו בה בשביל המחקר שלנו. זו בעצם מכונה שצריך ידע רב על מנת להשתמש בה. היא יותר אמינה מאשר השיטה הראשונה (folin reagent) שהשתמשנו בה. בדקנו בה בעצם את כושר הספיחה של פוליפינולים על ידי חומרים אורגניים שונים.

האם לדעתכם המחקר שעשיתם חשוב? נסו להסביר במה הוא חשוב.

כן, אפילו מאוד. המחקר שעשינו לדעתי הוא לא סתם עוד יחידת בגרות על מנת להוציא ציון וללכת, צריך ללכת ולעשות עם זה משהו. אפשרי לפתור את הבעיה של פוליפינולים, אך יש בזה סיבות כלכליות. לדוגמא: הפחם הפעיל המשמש כמסנן פילטרים בתמי 4, או syntactic zeolite אשר יש לו נקבוביות ויכול לספוח את הפוליפינולים. אך הפחם הפעיל עולה הרבה מאוד כסף. הבעיה המרכזית היא שהפוליפינול הוא חומר שקוף. לכן לא ניתן לראותו כאשר מסננים אותו לטהור מי קולחין וכך אי אפשר להשקות צמחים וזה פוגע בחקלאות. בהשקיית צמחים במי קולחין, ישנם צמחים שלא יכולים לספוח את ריכוז הפוליפינולים הגבוה ולכן הם מתים. צמח היקינטון הוא הצמח היחיד שהינו בעל כושר ספיחה של ריכוז גבוה של פוליפינולים. לדעתי צריך לקחת כאן רצינות, לקום ולחפש פתרונות על מנת לטהר את מי הקולחין לחקלאות ושתהיה סביבה יותר איכותית ונקייה מפוליפינולים לצמחים.

מי הציע לכם לגשת לחוקרים סביבה? מה הרגשתם?

מי שהציע לנו לגשת לתחרות זה המורה שלי במגמת מדעי הסביבה מאיר מלכה. הוא הוביל אותנו לכל אורך הדרך שעשינו את האקוטופ ותמך בנו. לא יכולתי לבקש מורה טוב יותר ממנו. הוא האמין בנו וידע שנצליח. בית הספר תיכון חדש קרית גת גם תמך בנו לאורך כל הדרך בתחרויות. הרגשתי הרגשה נפלאה והצלחה. תודה על התמיכה לכל אורך הדרך.

מאמרים ואתרי אינטרנט ראויים שמהם ניתן לקבל מידע.

בתחילת יב' אני מקדישה 3 עד 4 מעבדות לנושא למידת מיומנויות חקר. אנחנו מבצעים ניסוי קטן, מתארים ומסבירים את התופעה שנצפתה ומתכננים ניסוי כמותי, על כל שלביו. בשיעור שאחריו, אנחנו מבצעים ניסוי כמותי ומעבדים אותו כדוח מעבדה יחד, כולל גרף באקסל.

בנוסף לכך, אני משכפלת להם אנסין- מחקר מדעי, ומבקשת מהם לפתור בבית. את האנסין פותרים אחר כך יחד בכיתה, שוב כמחקר מדעי על כל שלביו.

אני שמה דגש על מיומנויות החקר השונות, החל מניסוח בעיה וכלה בהסקת מסקנה.

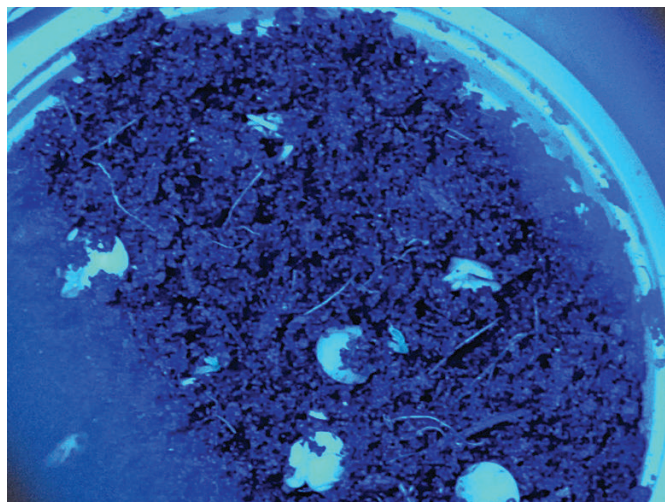
לאחר שלב א' של התחרות, הלבורנטית ואני מקדישות זמן לקדם את ביצוע הניסוי של העולים לשלב ב'. כמובן, שמדובר בתלמידים שבחרים לבצע את הניסוי במעבדת בית הספר. אלה המבצעים את הניסוי בבית, מקבלים מאיתנו ציוד מעבדה לעבודה בבית.

לאחר תכנון הניסוי וביצועו, אני יושבת איתם על התוצאות, ואנחנו מנסים יחד לתת הסבר למה שהתקבל ולראות איך זה מתחבר למקורות המידע שנאספו.

נכון שזה דורש ממני להקדיש לזה זמן ולעיתים אף שעות לאחר יום הלימודים, אבל....

כשאני רואה את העניין והסקרנות שלהם ואת הפנים הקורנות שלהם, זה מפצה אותי על הכל. אני חושבת שאם לא הייתי מגלה התלהבות מהעניין, תלמידי לא היו ניגשים לתחרות. גם ככה הם עמוסים מאד ב-יב', יש להם בגריות חורף ועוד עשרות מטלות אחרות.

חשוב לציין גם שאני מופרית מתלמידי לא פחות משהם מופרים ממני. הלמידה שלנו את הנושא נעשית יחד בשיתוף פעולה.



מה למדתם מהתהליך?

שנסעתי למכון הוולקני מאוד אהבתי את הנושא הזה. אני מקווה להמשיך עם המקצוע הזה ולעבוד במכון הוולקני.

מה דומה ומה שונה לדעתכם בדרך שבה לומדים בפרויקט חקר לעומת הדרך שבה לומדים בכיתה?

מה ששונה לדעתי היא הרצינות וכמות ההשקעה למחקר. שאתה מגלה דברים חדשים שלא ידעת לגבי הנושאים הללו שאתה חוקר. ויותר רצון והשפעה ועשייה עם הנושא שאתה חוקר אותו.

שם התלמיד: אלון ברקוביץ

שם בית הספר: תיכון חדש על שם רבין

ישוב: קרית גת

במה עוסק המחקר שלכם?

המחקר שלנו עוסק בכוסר הספיחה של פוליפינולים על ידי חומרים אורגנים שונים.

כיצד בחרתם את נושא המחקר שלכם?

אלו שיוצאים למחנה הקיץ במכון הוולקני לא בוחרים את הנושא, אלה בוחרים אותו בשבילם. לנו זה לא שינה כלל ואף רצינו לראות במה מדובר כשנגיע לשם.

ספרו לנו על ממצא אחד מעניין מהמחקר שלכם.

מצאנו במחקר כי הפחם הפעיל (אחד החומרים האורגנים שעבדנו איתם) סופח את הפוליפינולים מהמים בצורה מדהימה של בין 95%-100%. עבדנו על פי שיטת HPLC ושיטת פולין ראגנט ושתיהן מראות שהפחם הפעיל סופח כך.

האם לדעתכם המחקר שעשיתם חשוב? נסו להסביר במה הוא חשוב.

לדעתנו המחקר שעשינו הוא חשוב, בתי הבד זורקים שפכים שמלאים בפוליפינולים. אותם פוליפינולים עושים רע מאוד לצמחים ולסביבה בהם הם נמצאים. ראינו שהפחם הפעיל יכול לעשות שינוי גדול בנושא הזה ואני חושב שצריך לנסות להשתמש בזה ולא להשאיר את זה כעובדה קיימת אך ללא כל מעשה.

מי הציע לכם לגשת לתחרות? מה הרגשתם?

המורה שלנו בבית הספר הציע לנו לגשת לתחרויות. בהתחלה לא כל כך אהבנו את הרעיון מכיוון שכשיצאנו למחנה המטרה הייתה לסיים את יחידת הבגרות מוקדם יותר. כשהגענו לתחרות הראשונה וזכינו במקום השני מתוך 20 משתתפים, גילינו כמה

מה שלמדתי הוא שבשבילי זאת לא עוד סתם יחידת בגרות שצריך לעשות וללכת, לדעתי צריך לנקוט בכל הפעולות ולמצוא לזה פתרון, על מנת להשיב את מי הקולחין ושתהיה סביבה בריאה יותר לאורגניזמים.

האם היה משהו קשה במיוחד בביצוע המחקר? בהכנות לתחרות? לא, לא היה משהו ספציפי שלא יכולנו להתמודד איתו.

איך עזר לכם המורה שלכם?

המורה שלנו עזר לנו בכך שהוא ישב אתנו כל יום ועזר לנו בהכנות לתחרות ותמך בנו לאורך כל הדרך והאמין בנו ונתן לנו את הלגיטימציה לפעול, סייע לנו בכל זמן ובכל שעה לא משנה באיזה יום. 50 אחוז מהצלחת העבודה הייתה בזכות המורה שלנו מאיר מלכה.

ספרו לנו על חוויה שזכורה לכם מהיום התחרות.

החוויה הייתה שהודיעו מי הזוכה במקום השני, שאלו אנחנו. זאת הייתה הרגשה נפלאה.

מה הייתם ממליצים לתלמידים שעומדים להשתתף בתחרות השנה?

הייתי ממליצה תרגול רב בנוגע להרצאות, וללמוד איך ליצור קשר עין עם הקהל כך שהוא יבין את מהלך העבודה שעשית.

מדוע בחרתם בלימודי מדעי הסביבה 5 יחידות?

בחרתי במגמה זו בגלל שזה עניין אותי. אהבתי את הנושא של המחקר, הניסויים, והאופן בו מלמדים במגמה. זו מגמה מיוחדת אשר משלבת בה הרבה תחומי למידה ונושאים שונים.

מה תרצו לעשות כשתהיו גדולים?

אני רוצה להמשיך עם מדעי הסביבה והמחקרים הללו. מאז



מה הייתם ממליצים לתלמידים שעומדים להשתתף בתחרות השנה?

להשקיע מאוד בדיבור מול קהל ולתרגל את זה המון. כל עבודה שמגיעה לתוך התחרות יכולה לזכות. בנוסף לכך צריך באמת לדעת על מה מדברים וקצת מעבר למה שכתוב במצגת כי השופטים שואלים שאלות וחייבים לענות על הכל, אך לא משנה מה, תמיד צריך לענות על שאלות השופטים ואסור להגיד שלא יודעים את התשובה.

מדוע בחרתם בלימודי מדעי הסביבה 5 י"ל?

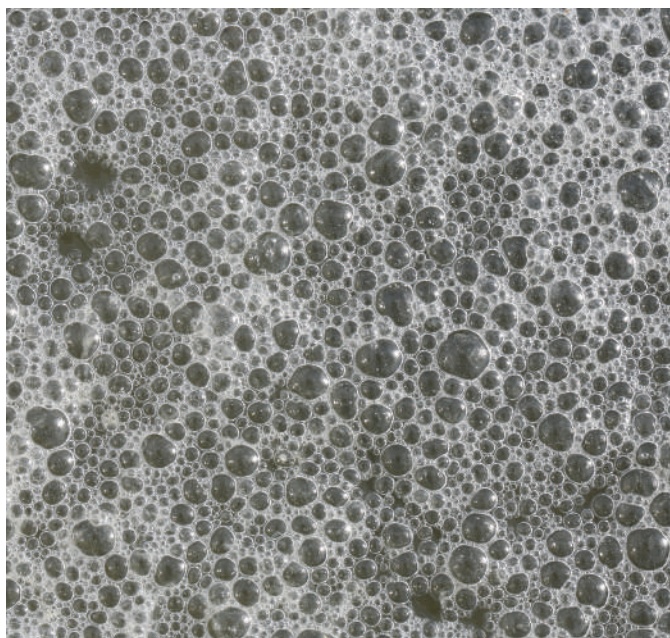
בהתחלה בחרתי את המקצוע כי אמרו לי שהוא מאוד קל. אחרי שיצאתי למחנה התפיסה שלי השתנתה גם לגבי המקצוע וגם לגבי המורה לטובה.

מה תרצו לעשות כשתהיו גדולים?

אני מתאמן בקראטה כבר 10 שנים ואני רוצה להיות מאמן קראטה וכבר בזה הרגע אני עושה קורס מדריכים. אני רוצה לעשות תואר ראשון בחינוך גופני במכללת ווינגייט ומשם אולי נעשה תואר שני או שאני אתחיל לעבוד בכל דבר שקשור לספורט. אני אלוף ישראל כבר 3 שנים ברציפות ואני חושב שיש לי המון מה להעביר לדור שיבוא אחרי.

מה דומה ומה שונה לדעתכם בדרך שבה לומדים בפרויקט חקר לעומת הדרך שבה לומדים בכיתה?

בפרויקט חקר פשוט הרבה יותר כיף ובגלל ההנאה לומדים יותר. עבודת החקר גם לא חייבת להיות נושא שנלמד בכיתה אלא כל נושא שאתה בוחר לעשות עליו את העבודה. כמובן שבשניהם לומדים המון אך עבודת החקר לדעתי היא העדיפה.



אנחנו באמת יכולים לעשות שינוי אפילו עם עבודה קטנה כמו זו.

מה למדתם מהתהליך?

למדנו לא לפסול אפשרויות, בין אם זה היה ללכת למחנה ובין אם להשתתף בתחרויות עם העבודה. כשאין מה להפסיד יש רק מה להרויח, ואם זה לא כסף או זכיה בתואר כלשהו, הרווח הוא החוויה.

האם היה משהו קשה במיוחד בביצוע המחקר? בהכנות לתחרות?

כשסיימנו את המחנה העבודה עוד לא הייתה גמורה ולקח חודשיים עד שהתיישבנו לסיים אותה. אך כשהתיישבנו גילינו שאנחנו לא זוכרים המון מהחומר, ונתקלנו בשאלות שגם המורה שלנו לא ידע לענות עליהן והיינו צריכים לנסוע למחנה בשביל כמה שאלות למרצה. המון דברים בעבודה נגעו בכימיה שלא הייתה לנו פשוטה כלל אך בסופו של דבר הבנו אותה. לגבי ההכנות לתחרות לא היה משהו קשה במיוחד אלה רק תרגול של המצגת בפני קהל, דבר שהסתדרנו איתו מאוד.

איך עזר לכם המורה שלכם?

המורה שלנו עזר לנו מאוד בכל מה שקשור לחזרות לתחרויות, בעבודה עצמה דברים שלא הבנו ואפילו היה בקשר קבוע עם המנחה שלנו בשביל שלא נצטרך לנסוע אליו לכל שאלה. המורה שלנו הוא מאוד אכפתי כלפינו, ולא ויתר לנו עד שהעבודה תהיה מושלמת בביצוע שלה.

ספרו לנו על חוויה שזכורה לכם מיום התחרות.

בתחרות כל מי שזכה הראה את העמוד הראשון במצגת על מסך ענק בפני כל המשתתפים, השופטים והאורחים. ברגע שהכריזו על המקום השלישי חשבנו שאם לא זה אז כבר לא זכינו והשלמנו עם העובדה הזו. כאשר הראו את המקום השני במסך עלה באיטיות וראינו חלק קטן על המסך וישר ראינו שזו העבודה שלנו. שמחנו מאוד ולקח לנו זמן לעכל שבאמת זכינו.

מה דורשת ממך הנחיית פרויקט חקר?

יש צורך להקדיש זמן למפגשים עם התלמידים, ללמד אותם את תהליך כתיבת העבודה בהסתמך על ההנחיות לכתיבת אקוטופ, להעניק להם בסיס מדעי ראוי בנושא של חקר (מעבר לנעשה בכיתה), מאחר והם מבצעים את החקר בסוף כיתה יוד בניגוד לכלל תלמידי הכיתה העושים זאת ב"ב.

מה דרשה ממך הגשת התלמידים לתחרות?

ההגשה לתחרות דרשה ממני הכנות מאוד אינטנסיביות עם אופירה ואלון שניסיונם בהצגת עבודות בפני קהל היה מועט ביותר. ראיתי את ההתפתחות שלהם לאורך התהליך ואת הניסיון שצברו מפעם לפעם. בזמן התחרות הם התעלו על עצמם ועשו זאת טוב יותר מכל החזרות שקדמו לכך, הקהל שימש להם כגורם מפעיל והם הציגו את עבודתם באופן יוצא דופן בהחלט. גם היכולת שלהם לענות על שאלות שהציגו בפניהם אנשי אקדמיה שונים, הייתה משכנעת מאוד והעידה על הבנה די טובה. אני מניח שאם הייתי שואל את אלון ואופירה בתחילת התהליך, אם הם מאמינים שניתן להגיע לשיא שהגיעו אליו, הייתי נתקל בספק לא קטן. תהליך זה ללא ספק העצים אותם מאוד.

מה היית ממליץ למורה שרוצה להגיש לתחרות?

לאפשר לכל תלמיד שמגלה עניין להיכנס לתהליך זה. המוטיבציה הראשונית היא הבסיס לכל מה שיתרחש מאוחר יותר. לדעת שהתהליך דורש השקעה רבה של זמן, מפגשים מעבר לשעות הלימוד הרגילות, תמיכה ועידוד של התלמידים. לעיתים יש צורך לעורר בהם את האמונה לגבי עצמם, זה לא מובן מאליו לעמוד מול קהל רב, להציג את העבודה באופן משכנע ולענות בזמן אמת על שאלות של אנשי אקדמיה העוסקים בתחום.



האם תוכל לתאר את בית הספר שלך (שם, מיקום, מאפייני אוכלוסייה)? מה מיוחד בו?

בית הספר נקרא תיכון רבין קריית גת. הוא אחד מחמישה תיכונים בעיר, ומכיל כ-1000 תלמידים. האוכלוסייה ברובה מהמגזר החילוני. בית הספר מטפח בצורה יוצאת דופן את הנושא של מעורבות חברתית וקהילתית ותלמידים רבים עושים תעודת בגרות חברתית.

מה מאפיין את התלמידים שזכו בתחרות?

אלון ואופירה הם תלמידים ממגמת מדעי הסביבה שיצאו בקיץ שעבר למחנה קיץ מדעי שהתקיים במכון וולקני. הם ביצעו שם את עבודת החקר (אקוטופ). את האפשרות לצאת למחנה פתחתי בפני כל תלמידי המגמה. אלון ואופירה גילו עניין מיוחד ומוטיבציה רבה להשתתף במחנה, תוך ידיעה ברורה שיאלצו לוותר על תכניות אחרות בחופשת הקיץ. אלון כספורטאי מצטיין (אלוף ישראל בקרטה) השתתף במכביה ולאחר סיום התחרויות הצטרף למחנה שהחל יומיים לפני כן.

האם אתה יכול לספר על רגע מסוים שבו הבנת שעבודת החקר מצוינת? מה גרם לך להבין זאת?

הנושא היה חדשני למדי ורלוונטי מאוד לחיי היום יום. עבודתם חשפה את הבעיה והציעה דרך מסוימת של פתרון - השימוש בשיטות מתקדמות על מנת לבדוק את אחוזי הספיחה של החומרים המזיקים מתוך השפכים של בתי הבד, התוצאות התואמות בין שתי השיטות ואיתור הפחם הפעיל כחומר בעל פוטנציאל יישומי בדרך לצמצום הנזקים הנגרמים מהזרמת השפכים. כלומר, העבודה מציעה פן יישומי מעניין הרבה מעבר לתיאוריה.

במה התבטאה המעורבות שלך בפרויקט של התלמידים?

המעורבות שלי החלה בהבנה כי נושא זה יכול לעורר עניין אצל התלמידים ובהחלט נגזר מבעיה סביבתית. ליוויתי את התלמידים לאורך כל השהות במחנה, נפגשתי עם המנחה מר מוחמד סמארה שהתחבב מאוד על התלמידים ועשה את תהליך ההנחה למרתק ובעל עניין מיוחד. את התלמידים הנחתי לאחר המחנה בכתיבת העבודה על פי ההנחיות לכתיבת אקוטופ, אתרנו יחד את מוקדי הקושי, והיו התייעצויות נוספות עם מוחמד להעמקת ההבנה בדרכי החישוב השונות ופרטים נוספים שהיה זקוקים להבהרה.

איך אתה רואה את נושא החקר: מהי לדעתך החשיבות של ההתנסות בחקר?

נושא החקר מאוד רלוונטי ונוגע בסוגיות חשובות הקשורות לחינוך. נושא המים הוא מרכזי בארץ ובעולם ומדינת ישראל משקיעה מאמצים רבים בהשבה של מים. ההתנסות במחקר פותחת צוהר עבור התלמידים לעולם המופלא והמרתק של המדע. ההתנסות במכון וולקני מעניקה לזה ערך מוסף, התלמידים מונחים על ידי חוקרים בעלי ידע וניסיון ועוסקים בנושאים הנמצאים בחזית המדע וישנה אפשרות להשתמש במכשור מתקדם.

עיצוב למידה ניידת בגן האקולוגי

השתלמות ייחודית למורים מובילים במדעי הסביבה

מדי קרן¹, תיכון דרכא בגין גדרה

קרן לוי², המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון, חיפה

לאחריה יצאו המורים לפעילות חקר בחלקת החיפויים שבגן האקולוגי. הגן האקולוגי הינו פינת חמד הכוללת מגוון של בתי גידול וסביבות שונות כגון חורשה ונחל אשר נמצאים במתחם אחד בתוך קריית הטכניון. הסביבה המגוונת והעשירה מזמנת מגוון של פעילויות חקר בשדה בנושאי אקולוגיה וסביבה. הגן מהווה מרכז לחינוך והוא פתוח בפני מורים ותלמידים בכל הגילאים. חלקת החיפויים הינה חלקה מלאכותית שנבנתה למטרות לימודיות וכוללת שמונה חלקות קטנות של חיפויים שונים כגון טוף בגדלים וצבעים שונים, קש וחצץ. הפעילות של המורים החלה במדידות ביוטיות ואביוטיות כדי להשוות את איכות החיפויים כמונעי נביטה כחלק מפעילות החקר. איסוף הנתונים נערך בדרך לא שגרתית, באמצעות הסמארטפון. דרך מיידית, אשר חוסכת את הצורך בדפים וכלי כתיבה, ומאפשרת חיבור ישיר בין הטלפון הנייד לבין המחשב. דבר זה חוסך זמן ומעבר לכך זוהי השפה בה תלמידינו מדברים. בנוסף לאיסוף הנתונים, תיעדנו את השטח בתמונות באמצעות אפליקציית טאמבלר (Tumbler). התמונות הועלו ישירות לאתר המלווה של ההשתלמות. לאחר מכן, המורים יצאו לסיור בגן כדי להעלות רעיונות למקומות ונושאים בגן שניתן לשלב בפעילות החקר שיפתחו בהמשך. לאחר הסיור, חזרו המורים לכיתה ונחשפו לפעילויות באתר ייעודי, אשר תומכות בשלבי הניתוח ועיבוד הנתונים.

לאחר מכן החליפו המורים את כובע הלומד בכובע המורה המפתח. בכובע זה המורים החלו לעבוד בצוותי הפיתוח. על בסיס הנושא שבחרו לעסוק בו, החלו המורים בתכנון כללי של הפעילות לתלמיד.

המפגש הראשון היה משמעותי עבורנו כיוון שביצוע הפעילות כתלמידים אפשר לנו להכיר את הקשיים בפעילות ובאתר ממקור ראשון, להבין באיזה מקומות יש צורך להרחיב את הסבר, והיכן לתת דגשים. המפגש חשף אותנו המורים לאופן בו ניתן לשלב את הסמארטפון לצורך איסוף הנתונים בשטח. ראינו כיצד יישומים בסמארטפון היכולים לעזור למורה בכיתה בגיוון ההוראה והפיכתה למשמעותית יותר. הוא מאפשר תיעוד של מדדים וגם תיעוד ויזואלי באמצעות תמונות. באופן כזה מתאפשרת למידה רב חושית וחוייתית, ולכן גם משמעותית יותר. בנוסף, העבודה נעשית בשיתוף פעולה בין חברי הצוות.

העולם מתקדם והטכנולוגיה תופסת חלק חשוב בחיינו, הלוח והגיר כבר מזמן איבדו את מקומם כאמצעי הלימוד היחיד, כבר ברור לכולם שהמורה הוא לא מקור הידע אלא מתווך בין התלמיד לידע. הטכנולוגיה כיום נותנת לנו כלים אשר יכולים לקדם את הלמידה ואף להעמיק אותה. בנוסף, הטכנולוגיה הניידת יכולה לסייע ללמידה בסביבה החוץ כיתתית, המהווה חלק מהלימודים לבגרות בביולוגיה ומדעי הסביבה. אולם, מה שברור כל כך לתלמידים הרבה פחות ברור עבור המורים. זאת ועוד, ידע טכני בשימוש בכלים הטכנולוגיים, לאו דווקא מעיד על ידע ביישום הכלים הללו לקידום ההוראה בכיתה. במטרה לצמצם את הפער בין הדורות, וללמוד כיצד ניתן לגייס את הטכנולוגיה לקידום הלמידה בכיתה, השנה שולבה ההשתלמות ייחודית כחלק מהשתלמות מורים מובילים למדעי הסביבה. ההשתלמות "עיצוב למידה ניידת בגן האקולוגי" הונחתה על ידי צוות חוקרות בתחום החינוך אשר כלל את הגב' קרן לוי, דוקטורנטית במחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון, פרופ' טלי טל, חברת סגל במחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון, פרופ' יעל קלי, חברת סגל במגמה לטכנולוגיות בחינוך באוניברסיטת חיפה ודר' אורנית שגיא, פוסט-דוקטורנטית במגמה לטכנולוגיות בחינוך באוניברסיטת חיפה.

מטרת ההשתלמות הייתה לקדם את יכולות המורים בעיצוב ופיתוח פעילויות חקר בשדה המשלבות את הטכנולוגיה. ההשתלמות כללה שלושה מפגשים פנים-אל-פנים בטכניון ומפגש וירטואלי אחד. 20 מורים מובילים השתתפו בהשתלמות, במהלכה התנסו בפעילות חקר בגן האקולוגי בטכניון אשר שילבה טכנולוגיה ניידת (סמארטפונים וטאבלטים). כמו כן, המורים התנסו בעיצוב ופיתוח של פעילות משלהם המשלבת את הטכנולוגיה הניידת, ואף הפעילו את עמיתיהם באמצעות הפעילות שעיצבו.

תיאור הפעילויות בהשתלמות

המפגש הראשון של ההשתלמות החל בהכרות קצרה. זו כללה הצגה קצרה של הפעילות ועיסוק בנושא חיפויי קרקע כנושא לחקר על ידי תלמידים. בדומה לתלמידים המבצעים חקר בשדה, גם אנו, המורים, התחלנו בהעלאת שאלות חקר. מיד

1. מדי קרן הייתה בצוות שארגן את ההשתלמות המורים המובילים, והשתתפה בהשתלמות בעצמה.

2. קרן לוי היא אחת מצוות החוקרות שפיתחו והובילו את ההשתלמות.

קצת על סביבת הלמידה הניידת

סביבת הלמידה שליוותה את ההשתלמות כללה אתר מלווה ואפליקציות לסמארטפונים. האתר המלווה כלל את כל המשאבים לתמיכה בתהליך חקר בגן האקולוגי כמו גם משאבים לתמיכה בתהליך הלמידה של המורים כחלק מהשתלמותם. נפרט כאן מעט על סביבת הלמידה הניידת אשר יועדה לתמוך בתהליך החקר בגן האקולוגי. ניתן להתרשם מהאתר המלווה של ההשתלמות בקישור.

כאמור, סביבת הלמידה שעוצבה נועדה לתמוך בלמידת חקר חוץ כיתתית. לשם כך סביבת הלמידה נבנתה על בסיס מספר עקרונות:

1. מודל לשילוב סיור לימודי (Orion, 1993)
2. הבנייה של תהליך החקר
3. קידום למידה שיתופית במגוון של מבנים חברתיים
4. תמיכה באיסוף הנתונים בשטח ועיבודם
5. מודל לשילוב סיור לימודי (Orion, 1993)

להלן פירוט העקרונות.

1. מודל לשילוב סיור לימודי

על פי אוריון (Orion, 1993), סיור לימודי, ובכללו חקר בשדה, צריך להתבצע לאחר הכנה מסודרת בכיתה, ולהסתיים בפעילות מסכמת. כמו כן, ישנה חשיבות גם למאפייני הפעילות בשדה. בהתאם לעקרונות אלו, סביבת הלמידה שעוצבה כללה אתר אינטרנט אשר ריכוז את כלל הפעילויות - ההכנה, הפעילות בגן ופעילות הסיכום. פעילות ההכנה כללה הכרות עם הגן האקולוגי, תיאור הפעילות הצפויה בגן ותכנון החקר. הפעילות בגן האקולוגי כללה איסוף נתונים ביוטיים ואביוטיים כדי לענות על שאלת החקר שהועלתה. הפעילות המסכמת כללה פעילות לעיבוד הנתונים, הסקת מסקנות והצגת תהליך החקר בפני הכיתה.

2. הבנייה של תהליך החקר

כדי לסייע לתלמיד בהתקדמות לאורך תהליך החקר, האתר כלל הנחיות ומסמכים אשר מלווים את התהליך החל מהעלאת השאלה ותכנון החקר, דרך איסוף הנתונים בשטח ועד לסיכום הנתונים והצגתם. תהליך החקר בסביבה החוץ כיתתית כולל עשייה בסביבות שונות - החל מהכיתה, דרך השדה, ועד הסיכום בבית התלמיד. האתר אפשר לרכז את כל התהליך יחד, גם כאשר מדובר בסביבות השונות. כמו כן, מתן ההנחיות המלאות באתר, על פי השלבים, מסייע לתלמיד להתמודד עם התהליך הרחב והמורכב, כאשר כל שלב מכיל רק את ההנחיות הרלוונטיות לו. באופן זה העומס על התלמיד מופחת ומאפשר לו ארגון וסדר לאורך תהליך החקר.

3. קידום למידה שיתופית במגוון של מבנים חברתיים

כל המסמכים באתר היו מסמכי גוגל אשר כללו מסמכים, גיליונות אלקטרוניים ומצגות. מסמכי גוגל נשמרים בענן ומאפשרים עריכה שיתופית של כל מורשי העריכה, בו זמנית ומכל מקום. תכונות אלו של מסמכי גוגל מאפשרות למידה שיתופית גם מרחוק, כאשר התלמידים עובדים מביתהם, למשל. אפשרות ההגדרה של מורשי העריכה אפשרה אף גיוון במאפייני

כידוע, עבודת צוות היא מיומנות נרכשת ולא נוצרת בהכרח באופן טבעי, אולם העבודה בה כולם משתפים את כולם בנתונים שנאספים מקדמת את עבודת הצוות ומעורבות גבוהה של כל התלמידים.

במפגש השני צללו המורים לתוך מלאכת העיצוב והפיתוח של הפעילות. לצורך כך נדרשו המורים להכיר את האופן בו עורכים כלים של גוגל כגון מסמך שיתופי, בניית טופס ועריכת אתר. המפגש היווה סדנת עיצוב בה המורים למדו והתנסו בעריכה של כלי גוגל. לכל צוות הוקצה אתר אינטרנט משלו עליו הופיעה הפעילות המלאה לתלמיד כפי שהתנסו בה כמורים. כל צוות התבקש לערוך ולהתאים את האתר על פי הרעיון לפעילות שהועלה במפגש הקודם. העבודה נעשתה תוך הנחייה צמודה של מנחות ההשתלמות. הנחייה זו בשילוב העובדה שלכלים כבר נחשפנו כלומדים במפגש הראשון, הפכה את הטכנולוגיה לנגישה יותר. חשוב לציין שמי שישב ועבד ליד המחשב, קלט, הבין, והפנים את השימוש בכלי גוגל לעומת אלו שהיו פחות מעורבים.

כבר בזמן העבודה עלו בין המורים רעיונות כיצד ניתן לעבוד עם הכלים הטכנולוגיים בכיתה, גם בתחומים אחרים. לדוגמה, שימוש במסמך שיתופי מאפשר איסוף נתונים בתחילת השנה מקבוצה או מכיתה, כתיבת עבודה ואף עבודת חקר בקבוצה, הכנת מצגת משותפת ועוד. אין ספק שעבודה במסמך משותף מגבירה את היעילות של עבודת הצוות ומאפשרת חלוקת תפקידים יעילה בין חברי הקבוצה. בנוסף העבודה על מסמכים שיתופיים מקלה על ניסוח התהליך על ידי המורה: מעורבות חברי הקבוצה בעבודה כמעט שקופה לחלוטין בפני המורה, והכל מתועד בצורה מסודרת.

במפגש השלישי, לאחר שסיימו ליצור טופס לאיסוף נתונים, יצאנו שוב לגן האקולוגי לנסות להפעיל את הצוותים האחרים באמצעות הטופס שיצרנו. כמו ההתנסות הראשונה, כלומדים, גם ההתנסות כמורים מנחים אפשרה לנו לראות עד כמה הפעילות טובה וישימה. בעקבות ההפעלה יכולנו להצביע על מרכיבים שהיו מוצלחים בפעילות, ועל מרכיבים פחות מוצלחים בפעילות שאותם שיפרנו לאחר מכן. לבסוף, סיימו את המפגש בסיכום. מדברי המורים עלה שאמנם ההשתלמות הייתה קצרה מידי, אינטנסיבית ועמוסה אך הרווח ממנה היה משמעותי. כל המורים חשו כי קיבלו מיומנויות לעריכה של כלי גוגל, ואף ראו כיצד הם יכולים לשלבם לקידום ההוראה בכיתה ומחוצה לה.

לאור בקשת המורים להנחיה נוספת ללימוד האופן בו עורכים בכלי גוגל התווסף מפגש וירטואלי לתוכנית המפגשים. המפגש התקיים באמצעות מערכת **join-me** המאפשרת ל-10 אנשים להתחבר חינוך לשיחה דרך המחשב הכוללת הצגה של מסך המנחה. במפגש זה קיבלנו הדגמה נוספת של אפשרויות העריכה באתר גוגל ובמסמכי גוגל. כמו כן, ניתנה אפשרות לשוחח עם המנחה ולקבל סיוע בפתרון בעיות טכניות בהן נתקלנו.

מאפשרת העלאה אוטומטית של הפוסט לאתר של גוגל. באופן זה כל התמונות שצולמו על ידי המורים במהלך הסיורים בגן האקולוגי הועלו ישירות לאתר ההשתלמות.

לסיכום...

הטכנולוגיה הייתה מוכרת לחלקנו ברמה כזו או אחרת, אבל בהשתלמות למדנו לא רק כיצד ליישם אותם אלא גם כיצד לשלבם בהוראה היומיומית. עבודת ההכנה שנדרשת מהמורה בטלה בשישים מול היתרונות הרבים של שימוש בטכנולוגיה. ההשתלמות חשפה אותנו, המורים, למעט מהאפשרויות הטמונות בטכנולוגיה לקידום ההוראה שלנו בכיתה ובשדה. למדנו כיצד ניתן לרתום את הטכנולוגיה לקידום הלמידה השיתופית של התלמידים כקבוצות וככיתה, למדנו כיצד ניתן לשלב את הסמארטפון האישי של כל תלמיד לקידום הלמידה בשטח, וגם גילינו את יכולותינו כעורכים בטכנולוגיה.

יחד עם זאת, דבר נוסף שאותו לא ציפינו ללמוד הוא שנכון שהטכנולוגיה מהווה חלק בלתי נפרד מחיינו, אבל בסופו של דבר אין תחליף למפגש פנים אל פנים, לעבודה משותפת כתף אל כתף ובנייה ביחד של פעילויות, כאשר כל אחד תורם את רעיונותיו, ומקבל משוב מעמיתיו.

אנחנו נמצאים בתקופה שאין לנו, המורים, ברירה אלא להתעדכן ולהכיר יישומים טכנולוגיים, לא רק כדי להיות צעד קדימה לפני תלמידינו, אלא גם כדי לעורר את הסקרנות ולשדרג את הלמידה. המאמץ שהושקע בהשתלמות, בזמן, בהגעה לטכניון בהחלט השתלם.

מקורות

Orion, N. (1993). A model for the development and implementation of field trips as an integral part of the science curriculum. *School Science and Mathematics*, 93(6), 325-331.

הקבוצות ובמבנים החברתיים. למשל, כאשר פעילות ההכנה עסקה בהכרות עם הגן האקולוגי, הפעילות שילבה את כלל תלמידי הכיתה (או במסגרת ההשתלמות - כלל המורים) כאשר כל צוות אחראי לסכם על היבט אחד של הגן. כל הצוותים עבדו על אותו המסמך ובכך התאפשר מסמך אחד המרכז את כל המידע על הגן. לעומת זאת, פעילות אחרת הקשורה להכנה לפעילות בגן האקולוגי עסקה בהעלאת שאלת חקר. כיוון שכל צוות עובד בנפרד על שאלה משלו, לכל צוות הוקצה מסמך משלו עליו רק חברי הצוות עובדים. יתרון בולט נוסף לכלים השיתופיים הוא האפשרות למעקב המורה אחר התהליך ומתן משוב מעצב. המשוב יכול להינתן באמצעות מתן הערות או תיקונים על גבי המסמך.

4. תמיכה באיסוף הנתונים בשטח ועיבודם

כדי לסייע לתלמידים באיסוף הנתונים בשטח, סביבת הלמידה שילבה שתי אפליקציות המיועדות לסמארטפונים. הראשונה טפסי גוגל והשנייה אפליקציית "טאמבלר". טפסי גוגל מאפשרים למורה יצירה של טופס לתוכו התלמידים יכולים להזין את המדדים שאוספים בשטח. כל מורה ואפילו כל תלמיד, יכול ליצור טופס משלו בהתאם למדדים שצריך לאסוף. איסוף נתונים באמצעות טופס שנוצר מראש, כחלק מההכנה לחקר, יהיה מסודר וממוקד יותר בשטח. בנוסף, כל הנתונים שנאספים באמצעות טופס נשמרים בגיליון אלקטרוני שאליו יש גישה מכל מקום. גיליון זה יכול לשמש בהמשך גם לעיבוד הנתונים. באופן זה אין איבוד או לכלוך של דפים, המדדים מתועדים, מסודרים ומאורגנים. אפליקציית "טאמבלר" (Tumbler) הינה אפליקציה של רשת חברתית המאפשרת שיתוף תמונות. האפליקציה מאפשרת לצלם וידאו וסטילס, להוסיף כתוביות לתמונות ולהעלות את הפוסט לציבור. גם כאן, האפליקציה תומכת בתיעוד של תהליך החקר, ותורמת עוד לשיתוף בין הצוותים השונים באמצעות פרסום התמונות. היתרון בשילוב של טאמבלר (בשונה מאינסטגרם, למשל) הוא שאפליקציה זו

"מורים כמעצבים": התפתחות מקצועית לשילוב טכנולוגיה בהוראת חקר בסביבה החוץ כיתתית

קרן לוי

בהנחיית: פרופ/ח טלי טל, הטכניון ופרופ/ח יעל קלי, אוניברסיטת חיפה

מטרה ושאלות המחקר

מחקר זה בוחן מודל להתפתחות מקצועית של מורים בה המורים מעורבים בעיצוב סביבת למידה המשלבת טכנולוגיה ניידת ואת השפעתו על תפישות והשקפות המורים לגבי שילוב הסביבה בפרקטיקה שלהם.

- איזה שינוי בהשקפותיהם עוברים המורים לאורך תוכנית ההשתלמות לגבי:
 - א- יתרונות הסביבה הטכנולוגית כתומכת בלמידת חקר בכיתה ומחוץ לה?
 - ב- כוונותיהם לשלב את הסביבה הטכנולוגית בכיתותיהם?
- אילו מרכיבים בתוכנית ההשתלמות תורמים לשינויים בתפישותיהם של המורים לגבי יתרונות הסביבה הטכנולוגית וכוונותיהם לשלב בכיתותיהם (אם בכלל)?
- באילו אופנים משפיעה מעורבות המורים בעיצוב פעילויות על האמונות ועל הפרקטיקה שלהם בהקשר לשימוש בטכנולוגיה ניידת ללמידת חקר בשדה?

רקע

- למידת חקר בסביבה החוץ-כיתתית מקדמת למידה משמעותית ומהווה מרכיב מרכזי בלימודי מדעים.
- הטמעה של גישה זו בבתי הספר איננה פשוטה בשל אתגרים רבים בהם נתקלים המורים כמנחים של תהליכי החקר.
- שילוב של למידה ניידת בסביבה החוץ כיתתית עשוי לתמוך בתהליך החקר בסביבה החוץ כיתתית, ובכך להקל על תפקיד המורה.
- על פי גישת "מורים כמעצבים" עיסוק המורים בעיצוב סביבת הלמידה מקדמת את התפתחותם המקצועית ואת ההטמעה של גישות הוראה חדשות.

מתודולוגיה

מחקר עיצוב (Design-based research) הכולל 3 איטרציות. להלן מבנה האיטרציה הראשונה.

מבנה התוכנית להתפתחות מקצועית

- מורים כלומדים - התנסות בסביבת הלמידה הניידת בגן האקולוגי בטכניון
- מורים מפתחים - סדנת עיצוב
- מורים מנחים - הפעלת עמיתים

משתתפי המחקר

- 20 מורים מובילים במדעי הסביבה במסגרת השתלמות מורים בעלי ותק בין 10-30 שנה
- גברים ונשים
- מהמגזר היהודי והמגזר הערבי

איסוף הנתונים

- שאלונים סגורים ופתוחים - לפני ואחרי ההשתלמות
- תצפיות - במהלך ההשתלמות
- ראיונות - לאחר ההשתלמות
- ניתוח תוצרי המשתלמים

תאור סביבת הלמידה

סביבת הלמידה כללה אתר אינטרנט אשר עוצב במטרה לתמוך במורים במסגרת ההשתלמות כלומדים, כמפתחים וכמורים, בשדה בכיתה ובבית. העיצוב התבסס על עקרונות עיצוב מתוך מאגר עקרונות העיצוב (Kali & Linn, 2008) ועל עקרונות מתוך המסגרת לתשתית החברתית לקידום הטמעה של טכנולוגיה בלמידה (Bielaczyc, 2006).



ממצאים מתוך איטרציה ראשונה

ממצאים אשר עלו מתוך הראיונות עם המורים לאחר ההשתלמות:



מקורות

- Bielaczyc, K. (2006). Designing social infrastructure: Critical issues in creating learning environments with technology. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(3), 301-329.
- Tal, R. T. (2001). Incorporating field trips as science learning environment enrichment—an interpretive study. *Learning Environments Research*, 4(1), 25-49.
- Tal, R. T., & Argaman, S. (2005). Characteristics and difficulties of teachers who mentor environmental inquiry projects. *Research in Science Education*, 35(4), 363-394.
- Kali, Y., & Linn, M. C. (2008). Design principles database (DPD). Retrieved 05/28, 2013, from <http://www.edu-design-principles.org/dp/designHome.php>
- Kali, Y., & McKenney, S. (2012). Teachers as designers of technology enhanced learning. *A Pre-Conference Workshop of the International Conference of the Learning Sciences (ICLS)*, Sydney, Australia.

חינוך סביבתי בעידן דיגיטלי

עקרונות, פעילויות ולמידה שיתופית

ד"ר פריד חמדאן

מרכז ארצי לתכניות בינלאומיות לחינוך מדעי,

משרד החינוך, המינהל למדע ולטכנולוגיה, הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

אקולוגיה ואיכות הקרקע. כל אחד מהתחומים מהווה יחידת לימוד (המכונה פרוטוקול) באתר גלוב העולמי. כל בית ספר המשתתף בתכנית הגלוב בוחר שני פרוטוקולים המתאימים לסביבה הקרובה של ביה"ס לפי התחומים שצוינו. ציר הפעילויות החוץ-כיתתיות כולל פעילויות חקר, המקנות לתלמיד כלים ומיומנויות לבצע מדידות שטח, תצפיות, הגדרת סוגיות סביבתיות באתר הנמדד, איסוף נתונים בשדה והעברתם לאתר גלוב העולמי. איסוף הנתונים באתר העולמי מאפשר ניתוח נתוני המדידות וביצוע השוואה בין בתי ספר בארץ ובעולם בזמן אמת. הציר השלישי הוא ציר של שיתוף פעולה בין תלמידים מבתי ספר שונים בארץ ובעולם. שיתוף פעולה זה מאפשר לתלמידים להרחיב את ההבנה המערכתית מהסביבה הקרובה לרמה האזורית, על ידי התמקדות בסוגיה סביבתית משותפת אותנטית ורלוונטית הקשורה לסביבת חייהם ולמיקום בית הספר. דוגמאות לכך יכולות להיות זיהום נחל על ידי מפעל בקרבת בית הספר, תופעת אי חום עירוני באזורים של בתי ספר שונים, או מעקב פנולוגי אחר צמחים אנדמיים לעומת צמחים ממינים פולשים. התלמידים בוחרים נושא חקר מדעי סביבתי משותף, מתוך מטרה לבצע למידת חקר השוואתית בין לפחות שני בתי ספר המשתתפים בתכנית גלוב (או בתכנית סימ"פ), שבמהלכה עוקבים בזמן אמת אחר הסוגיה הסביבתית הנבחרת בשני אזורים ברמה הארצית או ברמה הבינלאומית.

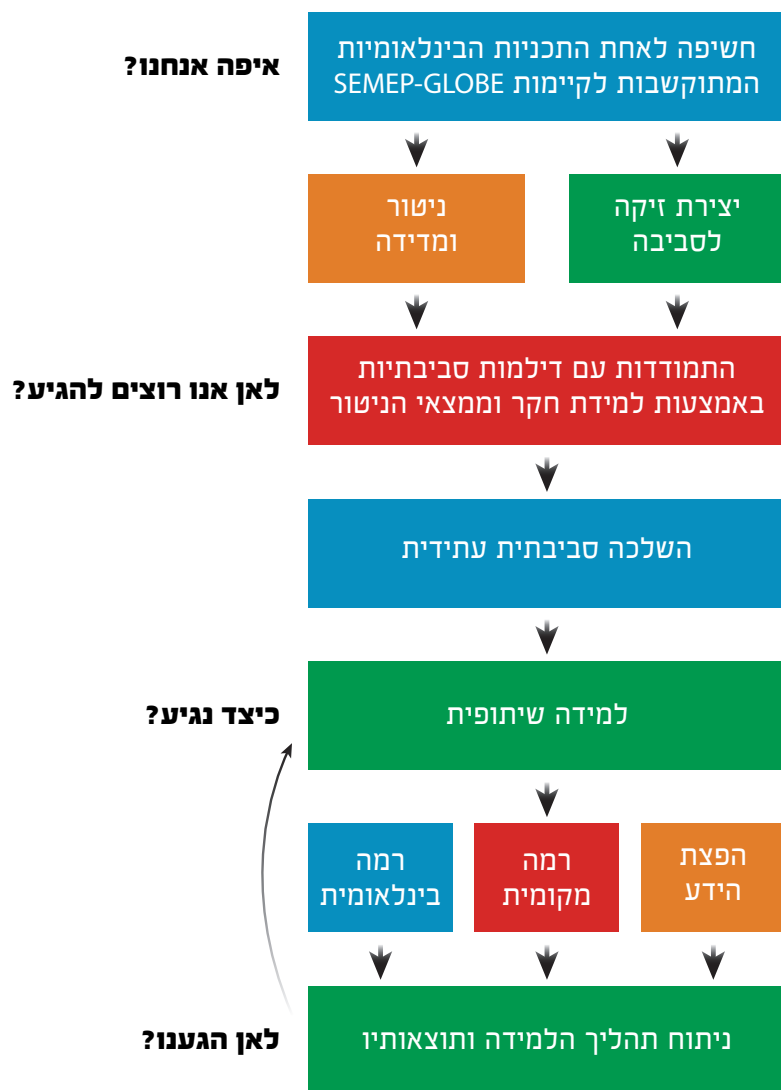
התוצר הסופי הינו הצגת פרויקט החקר ההשוואתי באתר גלוב העולמי, השתתפות בתחרות בינלאומית (Science Research Campaign) וכן בתחרות הארצית השנתית לעבודות חקר המתקיימת במהלך הכנס השנתי לתכניות בינלאומיות מתוקשבות. במסגרת הפרויקט נוצרים שיתופי פעולה בין בתי ספר ממגזרים שונים בארץ. מודל זה, של שיתוף בין מגזרים שונים הינו ייחודי לתכניות אלה, ונותן צביון ייחודי למדינת ישראל בקרב קהילת גלוב העולמית, של הובלת מציאות ברמה הארצית, וטיפול אוכלוסיית תלמידים נבחרים מגוונת מכל המגזרים ושכבות האוכלוסייה, ללא הבדל גזע ודת. בארץ פעילים 126 בתי ספר יסודיים, חטיבות ביניים ותיכונים מהמגזרים השונים, לרוב בכיתות ה'-ו' ביסודי, ז'-ט' בחטיבות ביניים וכיתות י' בתיכונים, במסגרת לימודי גיאוגרפיה, סביבה ומדע וטכנולוגיה.

לפיכך, תכניות אלה מהוות בסיס ללמידה חוץ כיתתית, המעשירה את תכנית הלימודים במדעים ובגיאוגרפיה. תכניות

בשנים האחרונות התרחב מאד השימוש במושגים "פיתוח בר קיימא" ו"קיימות" בהקשר לחינוך לאורח חיים המצמצם את הפגיעה במשאבי הטבע למען הדורות הבאים. מושג מרכזי נוסף בתחום החינוך הסביבתי הינו אוריינות סביבתית. על פי Roth, C.E. & Gayford, C.G, אוריינות סביבתית היא היכולת לתפוס ולהבין את תפקוד המערכות הסביבתיות ולנקוט בפעולות מתאימות על מנת לשמר, לשקם או לשפר את בריאותן של מערכות אלו. אדם בעל אוריינות סביבתית יכול לנתח ולהעריך מידע לגבי מערכות אקולוגיות טבעיות ומלאכותיות אשר מאפשר לבחון השלכות ותוצאות של יחסי גומלין במערכות אלו, וכן יכול לאסוף נתונים, לנתח מידע ולבחור דרכים חלופיות אשר פגיעתן בסביבה תהיה המזערית ביותר. אחת הדרכים להשמעת אוריינות סביבתית היא שילוב תכניות בינלאומיות סביבתיות, כגון תכנית הגלוב (GLOBE) ותכנית הסימ"פ (SEMPEP) במסגרת הוראת מדע וטכנולוגיה בבית הספר. תכניות אלה תורמות לפיתוח חשיבה מורכבת ויכולת לחקור דילמות סביבתיות חברתיות-אקולוגיות, לטיפול תרבות של שיתוף מחקרי והבנת החשיבות של מחקר ארוך טווח וכן לחיזוק הערכים של שמירה על הסביבה ופיתוח בר-קיימא.

תכניות בינלאומיות מתוקשבות אלה מנוהלות על ידי מרכז החקר המדעי המתוקשב במדעי כדור הארץ באוניברסיטת קולוראדו בחסות סוכנות החלל נאס"א. באמצעות תכניות מתוקשבות אלה נוצרת תשתית מתוקשבת באתר גלוב העולמי ובאתר סימ"פ בחסות אונסקו, שמשרתן לנטר היבטים הקשורים לאקולוגיה ולמדעי הסביבה בכדור הארץ. תשתית מתוקשבת זו יוצרת "קהילת לומדים", הן ברמת המורים והן ברמת התלמידים, תוך קיום השתלמויות מתוקשבות, סמינרים ברשת (Webinars), פורומים, עדכונים וחידושים המתייחסים לאקלים, למים, ולסוגיות סביבתיות מגוונות נוספות בהתאם לתכני גלוב וסימ"פ.

הסביבה המתוקשבת באתר גלוב העולמי מהווה אמצעי לחיבור בין מורים מבתי ספר שונים וכן בין מורים ותלמידים לחוקרי נאס"א או חוקרים מקומיים באקדמיה. התכניות מאורגנות בשלושה שדות הוראה מקבילים: עיוני, פעילויות חוץ-כיתתיות וחקר שיתופי. החלק העיוני כולל מאגר מידע ומאגר חומרי הוראה בתחומי מדע וטכנולוגיה, וכן בתחומי הגיאוגרפיה והסביבה, כמו אקלים ואטמוספירה, פנולוגיה של צמחים, איכות המים, כדור הארץ כמערכת



לימודים אלו חושפות את התלמיד לדילמה, או לסוגיה סביבתית בסביבתו הקרובה, להבניית דרך חשיבה מערכתית, יצירתית, וביקורתית, ולשימוש בהן בפתרון בעיות סביבתיות וקבלת החלטות, במתן שיפוט ערכי ובנקיטת עמדה, ובכך מובילות לגילוי אחריות סביבתית ואפשרות לפעולה שיתופית למען הסביבה ללא הבדל גזע, דת ולאום. הלמידה החוץ כיתתית מאפשרת התנסות ישירה, הבנת יחסי גומלין בין האדם לסביבה הפיזית, זיהוי בעיות ודיאלוג מתמיד עם השותפים לתכניות אלה לקראת למידה משמעותית לחיזוק הזיקה לשמירה על הסביבה, הן ברמה המקומית והן ברמה העולמית.

בכל אחת מהתכניות קיים מחוון מפורט לשלבי ביצוע עבודת החקר, אשר נשלח לכל ב"ס המשתתף בתכנית גלוב או סימ"פ.

להצטרפות לתכניות החקר מקוונות, ניתן לשלוח מייל לקבלת טופס הרשמה Fredi2811@gmail.co.il, או להכנס לקישור הבא:

<https://docs.google.com/forms/d/1DePmow3khKhQxtsiq7BI7Fs1iKenImn2kBj0A4IQwoY/viewform?c=0&w=1>

רשימת מקורות:

Lucas, A.M. 1989. Environment and environmental education :Conceptual issues and curriculum implications.Melbourne : Australian International Press and Publications.

Roth,C.E. & Gayford, C.G. 1992. Environmental Literacy: Its roots,evaluation, and directions in the 1990's .Columbus , OH : ERIC/SMEAC, information reference centre.

www.globe.gov

אטינגר, ל. 2007. מה בין חינוך סביבתי לחינוך לקיימות? ביטאון הכדור בימינו, 10.
צולר, א., קייני, ש. 1986. החינוך הסביבתי בישראל. תמונת מצב לקראת שנת 2000. מדרשת שדה-בוקר.



THE GLOBE PROGRAM

CONNECTING THE NEXT GENERATION OF SCIENTISTS

תכנית הגלוב (GLOBE), שנוסדה ביוזמתו של סגן נשיא ארה"ב לשעבר אל גור, היא תכנית לחינוך סביבתי מתקדם העוקב בעיקר אחר תופעות מזג האוויר בעולם בחסות סוכנות החלל נאס"א ואוניברסיטת קולוראדו. בארץ התכנית נמצאת גם תחת חסות של מחלקת המדעים והבריאות של שגרירות ארה"ב. תכנית זו מזמינה מורים, סטודנטים ותלמידים ממדינות רבות בעולם לנער כל מרחב של כדור הארץ. התלמידים בוחרים אזורי חקר ודגימה, מבצעים מדידות קבועות של האקלים והאטמוספירה, איכות המים, או פנולוגיה (חקר תופעות מחזוריות בחיי הצמח) ומזינים את הנתונים באתר גלוב העולמי.

מטרות התוכנית:

1. חשיפת התלמידים לתכנית גלוב הבינלאומית בסביבת למידה וירטואלית.
2. הזנת נתונים לאתר "גלוב" העולמי ברשת האינטרנט.
3. רכישת מיומנויות חקר ושיתופיות בלמידת חקר ברמה הארצית/הבינלאומית.
4. התמקדות בסוגיה אקולוגית אותנטית ורלוונטית הקשורה לסביבת ביה"ס.
5. בניית תלקיט בית-ספרי המתאר את המודל האקולוגי-חברתי ביישוב הנבחר בהתאם.
6. התמקדות בסוגיה אקולוגית-חברתית אותנטית ורלוונטית הקשורה לסביבת ביה"ס, הן ברמה המקומית/אזורית והן ברמה הבינלאומית.

פרויקט סימי"פ (SEMEP), פרויקט חינוכי בינלאומי בחסות הוועד הישראלי לארגון אונסק"ו (<http://www.unesco.org/semp>), העוסק בנושאים סביבתיים מההיבט המדעי-טכנולוגי-חברתי-תרבותי. מטרת הפרויקט הינה ליצור תקשורת של חינוך סביבתי-טכנולוגי-תרבותי ולטפח מודעות של התלמידים ושל הקהילה המקומית לבעיות בתחום איכות הסביבה והקיימות.

המדינות המשתתפות בתכנית סימי"פ הן אלבניה, בולגריה, איטליה, ישראל, יוון, קפריסין, מצרים, סלובניה, הרשות הפלסטינית, מלטה, טורקיה ורומניה. בארץ פעילים בתכנית 25 בתי ספר (חט"ב ותיכונים) מהמגזרים השונים.



הנושא השנתי של תכנית סימי"פ לשנת תשע"ה, 2015:

קיימות לנושא המים בהיבט מדעי או/ו תרבותי רב-תחומי.

תוצרי למידה מהתכנית:

1. רכישת מיומנויות-חקר.
2. הקמת פינה לימודית בהתאם לנושא השנתי של התכנית במהלך השנה.
3. הכנת תלקיט ומצגת: הצגת דגם, דו"ח ניסוי, תוצרי חקר, קטעי עיתונות שנאספו עבור הנושא הנחקר, רפלקציה והערכה עצמית, נתוני תצפיות, הצגת תמונות מהסביבות השונות ותיאורן.
- שלושת המצגות המצטיינות ישתתפו בכנס הבינלאומי של תכנית סימי"פ.

התנאים להצטרפות לתכנית:

1. קיום מערכת תקשוב בביה"ס.
2. רמת הישגים טובה במדעים, בבחינות המיצ"ב, בבחינות PISA.
3. השמעת החינוך המדעי-טכנולוגי-סביבתי במערכת הבית-ספרית.
4. שיתוף פעולה בין מורים מתחומים שונים (מדע וטכנולוגיה, תקשוב, גאוגרפיה, אנגלית, אמנות).
5. רכישת ציוד מתקדם הכולל תחנה מטאורולוגית, מכשיר רב-חיישני מתקדם המודד משתנים אביוטיים לביצוע חקר/תצפית השוואתית (במחיר מסובסד).
6. השתתפות של המורים המשתתפים בתכנית בהשתלמות של 30 שעות או בימי עיון ארציים.

מותר להוציא ניידים

אפליקציות ואתרים שמוציאים את הסמארטפון לטבע

אפליקציית "מגדיר צמחים ישראלי"

אפליקציה זו מחליפה את מגדיר הצמחים המסורתי. ניתן להכניס אליה מאפיינים שונים של הצמח, כגון צבע פרח, חודש ואזור פריחה וכך לזהות את הצמח. כמו כן, באמצעות האפליקציה ניתן לקבל מידע על צמחים שונים.

אפליקציית Leafsnap

באמצעות אפליקציה זו ניתן לצלם עלי עץ, והאפליקציה מזהה את העץ ונותנת עליו מידע. האפליקציה מותאמת בשלב זה לזיהוי עצים בארה"ב ובאנגליה.

אפליקציה זו היא חלק ממגמת "מדע האזרחים". באמצעותה המשתמשים חולקים תמונות וזיהוי מינים. מטרת האפליקציה היא בניית מודעות והערכה של המגוון הביולוגי. ניתן להתרשם ממטרות ושימושי האפליקציה, שפותחה בשיתוף אוניברסיטאות בארה"ב, באתר:

<http://leafsnap.com>

אפליקציית BreezoMeter

אפליקציה זו, שפותחה על ידי מהנדסים ישראליים, נותנת מידע על איכות האוויר בזמן אמיתי. האפליקציה משתמשת באלגוריתם ייחודי שמחשב את איכות האוויר במיקום המשתמש, ונותנת המלצות להפחתת החשיפה למזהמים.

<http://www.breezometer.com>

פרויקט "קיר ירוק"

בפרויקט זה, שיזם המורה סטיבן ריץ בדרום ברונקס, נעשה שימוש ב"קירות ירוקים" - גידול של צמחי מאכל ונוי על "קיר". במהלך העבודה, תלמידים החיים באזור עירוני נחשפים לטבע ומפתחים אכפתיות לסביבת המגורים שלהם. להלן קישור להרצאת טד של סטיבן ריץ:

http://www.ted.com/talks/stephen_ritz_a_teacher_growing_green_in_the_south_bronx?language=he#t-511296

