

חום, אנרגיה וקיני נמלים

תלמידי¹ חט"ב קציר א', רחובות, תום ביאליק², אהוד פוניו³, עופר פיינרמן³

תהליך חקר חדשני בנושא התנהגות נמלים התבצע במהלך שנת הלימודים תשע"ד על ידי תלמידי כיתה ט' הלומדים בתכנית נחשון בחט"ב במרכז הארץ, כחלק מפרויקט החקר הנדרש בתכנית הלימודים. פרויקט זה התבסס על עקרונות למידה פעילה ממוקדת-תלמיד, הוראה שיתופית, שילוב של סביבת לימודים פורמלית ובלתי פורמלית, מפגש בלתי-אמצעי עם חזית המדע ועם חוקרים במכון המחקר ולימוד באמצעות מאמרים מדעיים מתורגמים ומעובדים.

רקע הפרויקט

תהליך חקר חדשני בנושא התנהגות נמלים התבצע במהלך שנת הלימודים תשע"ד על ידי תלמידי כיתה ט' הלומדים בתכנית נחשון בחט"ב קציר א' ברחובות, כחלק מפרויקט החקר הנדרש בתכנית הלימודים. פרויקט זה התבסס על עקרונות למידה פעילה ממוקדת-תלמיד, הוראה שיתופית (מורה-חוקר-איש הוראת מדעים), שילוב של סביבת לימודים פורמלית (שיעורי מדע וטכנולוגיה בבית הספר) ובלתי פורמלית (מעבדה במכון ויצמן למדע), מפגש בלתי-אמצעי עם חזית המדע ועם חוקרים במכון המחקר ולימוד באמצעות מאמרים מדעיים מתורגמים ומעובדים (Yarden, 2009). הרעיון לפרויקט הגיע משני מקורות: תכנית הביוטק בארץ המיועדת לתלמידי כיתות י"א במגמת הביוטכנולוגיה ופרויקט נוסף שהתבצע לפני מספר שנים באנגליה, ובסופו כתבו החוקרים והתלמידים יחדיו מאמר מדעי, והמאמר פורסם באחד מכתבי העת המקצועיים בתחום (Blackawton et al, 2011).

בחקר אותנטי על כל שלביו ובסיומו לכתוב מאמר מדעי בשיתוף עם מדענים, עם המורה למו"ט ועם תלמידי הכיתה. הפרויקט נעשה באישור אגף מו"ט חט"ב במשרד החינוך ובתמיכת הנהלת בית הספר וצוות המדעים. שיתוף הפעולה עם החוקרים במכון ויצמן היה מוצלח וכלל מספר מפגשים לאורך השנה ותקשורת רציפה בין המורה והחוקרים. התלמידים פעלו בעצמאות רבה במהלך הפרויקט על שלביו השונים וקיבלו הנחיה ותמיכה מן המורה למו"ט ומחוקרי המכון. במהלך הפרויקט ובסיומו חשו התלמידים גאווה רבה במחקרם, השקיעו זמן ומרץ רב בעבודה לאורך כל השנה והביעו סיפוק רב מהתהליך. בסיום הפרויקט הציגו התלמידים את תוצאות המחקר בכנסים מקומיים ואף לקחו חלק בכנס בינלאומי של תלמידי החוקרים נמלים שנערך בצרפת. מאמר זה נכתב במלואו על ידי תלמידי הכיתה באופן שיתופי ומקוון, בשיתוף עם המורה והחוקרים. התמונות, הגרפים והטבלאות הוכנו גם כן על ידי התלמידים.

הקדמה

במהלך שנת הלימודים, בנוסף לתכנית הלימודים הרגילה, עברנו תהליך ארוך של מחקר מדעי אקטי, אשר עסק בנמלה הבנאית.

בתהליך החקר שבוצע בארץ השתתפו מדענים מהמחלקה לפיזיקה במכון ויצמן למדע, תלמידי כיתה ט' והמורה שלהם למו"ט. מטרת הפרויקט הייתה לאפשר לתלמידים להתנסות

1 תלמידי כיתה ט', תכנית נחשון, חט"ב קציר א', רחובות, תשע"ד: אביסטרס ס', אהרוני ע', ארדני ר', בזנין ר', הלר י', זלצמן מ', חדד א', יוגב א', יעקב ש', יעקבוביץ ש', כסיף ש', מטבוסיאן מ', נוימרק י', נזלין מ', נחמי ג', סולומון ג', סיאני ע', סרור ע', עיני מ', פרלמן פ', צדוק ב', צור י', צעירי ד', קוזוקרו מ', רוזנברג י', רונן ת', שושן ט', שלימוביץ י', שלמה ל', ששון מ', תם ע'.

2 מורה למדע וטכנולוגיה, כיתה ט', חט"ב קציר א', רחובות, ודוקטורנט במחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

3 המחלקה למערכות מורכבות, הפקולטה לפיזיקה, מכון ויצמן למדע, רחובות.



תמונה 2. חלק מסולריום של נמלה בנאית. צולם במכון ויצמן.



תמונה 1. קן וסולריום נמלה בנאית. צולם במכון ויצמן.

זקוקות לאנרגיית חום חיצונית כדי להפעיל מערכות פנימיות (לונדון, 2013). במושבה של הנמלים לכל נמלה תפקיד שונה כמו הנמלים החיילות אשר מגנות על הוולדות ועל הקן או נמלים מלקטות אשר אוספות אוכל. תפקידן מותאם למבנה גופן. בין קן לקן סוגי התפקידים משתנים (Gordon, 1995).

הנמלה הבנאית הישראלית היא מין נמלה אנדמי בישראל (אופיינית רק לאזור זה) ומכאן בא שמה. גודלן של הנמלים הבנאיות הוא כ-3 מ"מ. המלכה והזכרים גדולים יותר ובעלי כנפיים. הנמלה הבנאית ניזונה מסוגי מזון כמו צוף של פרחים ופגרים של בע"ח. הנמלה הבנאית מקננת באדמה ומתחת לאבנים. בקיץ הקן נמצא בתוך הקרקע, אך בחורף הוא נבנה מעל לאדמה ויכול להתנשא לגובה של 30 ס"מ (ראו תמונות 1 ו-2). מבנה זה הוא הסולריום (Solarium). הסולריום קולט את קרני השמש ומסייע בחימום הקן. תופעה זאת ייחודית אצל הנמלה הבנאית (מתוך ויקיפדיה).

כפי שציינו, הנמלים זקוקות לאנרגיית חום חיצונית כדי לחמם את עצמן ולהפעיל את המערכות שלהן, ולכן יעדיפו להימצא באזורים חמים יותר. ככל הנראה גם הטמפרטורה הגבוהה בסולריום מסייעת להתפתחות תקינה של הוולדות, הזחלים והגלמים של הנמלה הבנאית. הטמפרטורה בסולריום יכולה להגיע לטמפרטורה הגבוהה ב-10 מעלות צלזיוס מזו של הסביבה. הטמפרטורה הגבוהה מאפשרת לנמלים לטפל טוב יותר בזחלים אשר בוקעים מביצי המלכה, ובקיץ הנמלים חוזרות לקנים אשר מתחת לאדמה - לחללים המוגנים מחום ומטורפים.

בתחילת השנה צברנו ידע על הנמלה הבנאית, קראנו את המאמר המדעי המעובד על מושבות הנמלים שנכתב ע"י ד. גורדון (Gordon, 1995), ואספנו מידע על הנמלה הבנאית מספרים ומאתרי אינטרנט, וכמובן בעזרת שני החוקרים ממכון ויצמן, ד"ר עופר פינרמן וד"ר אהוד פוניו. בקבוצתו של ד"ר פינרמן במחלקה למערכות מורכבות במכון ויצמן חוקרים נמלים ומכינים להן מתקנים אשר בהם הן צריכות לעבור מכשולים ולפתור בעיות. בעזרת תצפיות ממושכות החוקרים לומדים את דרך פתירת הבעיות שלהן. ד"ר עופר פינרמן הגיע לכיתתנו כדי להרצות ולחלוק אתנו את הידע שלו על נמלים ובכך לתת לנו נקודת מוצא גבוהה וטובה יותר. במהלך השנה ד"ר אהוד פוניו יצא אתנו לסיוורים במכון ויצמן כדי לאסוף אתנו נמלים וכדי לתת לנו הסבר עליהן. לקראת סיום הפרויקט השתתפנו בתחרות חקר עירונית. לקחנו את תוצאות הפרויקט ועל פיהן עשינו מצגת ופוסטר מדעי שהוצג בפני השופטים. לאחר מכן השתתפנו גם בכנס המחוזי לצד תלמידים מערים נוספות מאזור המרכז. לקראת סוף חודש יוני התקיים כנס בפריז אשר עסק בעבודות חקר של תלמידים על נמלים. שלחנו את עבודתנו על מנת להשתתף בכנס. לשם כך תרגמנו את העבודה לצרפתית בעזרת המורה לצרפתית אשר מלמדת בבית הספר. בכנס גם הצגנו סרטון קצר שעשינו לתיאור הפרויקט.

רקע - הנמלה הבנאית

נמלים הן חרקים, שחום גופן ופעילות מערכתיהן משתנות בהתאם לטמפרטורה החיצונית ותלויים בה. כיוון שהנמלים אינם מסוגלות לווסת את חום גופן באמצעות אנרגיה שמפיק גופן, הן



תמונה 3. מדידת טמפרטורה ופעילות הנמלה הבנאית בסולריום. צולם במכון ויצמן.

שאלת החקר והשערת החקר

הפרויקט היה כיתתי, ולכן העלינו שאלות אפשריות לניסוי מדעי על הנמלה הבנאית. ככיתה החלטנו על שאלת חקר מסוימת שעניינה את כולנו. שאלת החקר שבחרנו היא: כיצד משפיעה טמפרטורת הסולריום על התנהגות הנמלים ועל כמות הנמלים באזורים בעלי טמפרטורה שונה בקן ובסולריום?

שיערונו כי יותר נמלים ישהו בסולריום בעל הטמפרטורה הגבוהה יותר וכי פעילותן בסולריום זה תהיה גדולה יותר מזו של הנמלים שישהו בסולריום בעל הטמפרטורה הנמוכה יותר. זאת משום שעל מנת להפעיל את שריריהן, הנמלים זקוקות לחום חיצוני. אנו משערים שכדי לבצע יותר פעולות, ירצו הנמלים לעבור לאזור החם יותר אשר בו יוכלו לנצל יותר אנרגיית חום לשם פעולת השרירים והגוף. כל זאת הסקנו מהידע ומהעובדה שהנמלים הן בעלות דם קר, ולכן ירצו להתחמם, וכתוצאה מאנרגיית החום הרבה - הן יהיו פעילות יותר.

כלים ושיטות

על מנת שנוכל לענות על השאלה שלנו ולאמת או להפריך את ההשערה שלנו, ביצענו שני ניסויים עם הנמלים הבנאיות: ניסוי

אחד במעבדה וניסוי אחר בשטח. הסיבה שביצענו שני ניסויים היא בשביל לאמת את התוצאות שלנו, וגם כי בשטח קשה יותר לבדוד ולשנות תנאים מסוימים, ואילו במעבדה יש יותר שליטה עליהם.

התחלקנו לקבוצות, ולכל אחת מהקבוצות היה תפקיד שונה. למשל, קבוצה אחת הייתה אחראית על ניסוח שאלת החקר וכתובת השערה. הקבוצות האחרות היו אחראיות על כתיבת הרקע המדעי, תכנון הניסויים, ביצוע הניסויים ואיסוף המידע, ניתוח הממצאים והסקת המסקנות.

ערכנו תצפיות בשטח, עקבנו אחר נמלים בבית הספר בזמן שעות הלימודים ולאחריהן; מדדנו את הטמפרטורה במספר קינים, מדדנו את מספר הנמלים וכמובן תיעדנו את התנהגותן ואת סביבתן. לאחר מכן התחלנו בניסוי. כל קבוצה יצאה לחפש קנים של הנמלה הבנאית בחודשי החורף, ערכה תצפיות על קן של הנמלה הבנאית ורשמה תוצאות.

א. תצפית בשטח

את איסוף הנתונים מהתצפיות ביצענו בקבוצות קטנות (שלושה עד ארבעה תלמידים) בעונת הסתיו, בשעות אחר הצהריים,



המכל. הסולריומים היו בנויים ממספר קומות של קרטון אשר אפשרו לנמלים תנועה חופשית במתקן. אחת השכבות הייתה צלופן אדום, הסיבה לציפוי זה היא שנמלים אינם יכולות לראות צבע אדום, כך שעבורן נוצר חושך, שבו הן רגילות לחיות, וכך ייצרנו "תחושה של בית". בנוסף מרחנו על קצות המכל חומר המונע מהנמלים לצאת מהמכל (פלואון).

על מנת לבדוק את ההשפעה של הטמפרטורה על התנהגות הנמלים, וכדי לראות כמה נמלים נמשכות יותר לחום וכמה נמשכות יותר לקור - חיממנו רק סולריום אחד מתוך השניים בעזרת מנורה. הנמלים הסתובבו בכלי בחופשיות ובחרו להן את הסולריום שבו הן רצו לגור. מדדנו את הטמפרטורה בסולריומים בעזרת מד טמפרטורה, כדי למדוד את עוצמת החום כאשר מרחיקים ומקרבים את הנורה (ראו תמונה 5).

תוצאות

א. תצפית בשטח

אספנו נתונים משבעה קנים שונים, והתוצאות מפורטות בטבלה 1. נקודות עיקריות שמצאנו:

- הטמפרטורה הגבוהה ביותר נמדדה באמצע הסולריום.
- כמות הנמלים שיצאו באמצע הסולריום הייתה הגדולה ביותר, והנמלים זזו במהירות והיו פעילות מאוד.

בימים חמים באופן יחסי. את המדידות עשינו בסביבת בית הספר באזורים עם חול ואדמה רכה.

כל קבוצה חיפשה קנים של הנמלה הבנאית. על מנת לבדוק את הטמפרטורה בנקודות שונות בסולריום ובקן, הכנסנו את מד הטמפרטורה לנקודות שונות בתל ובסביבתו: בראש התל, באמצע התל, בצד התל, בקרקע ליד התל ובאוויר. את מד הטמפרטורה השארנו כשתי דקות בכל אחת מהנקודות ואז רשמנו את התוצאה. מדדנו את הטמפרטורה ועקבנו אחר התנהגות הנמלים. יכולנו לראות את הנמלים, את פעילותן ואת כמות הנמלים, מכיוון שאחרי שהוצאנו את מד הטמפרטורה, נוצר חור שממנו יצאו הנמלים החוצה (ראו תמונה 3). חישבנו את התוצאות הסופיות מתוך ממוצע הנתונים שנאספו (סה"כ 7 תצפיות מקבוצות שונות).

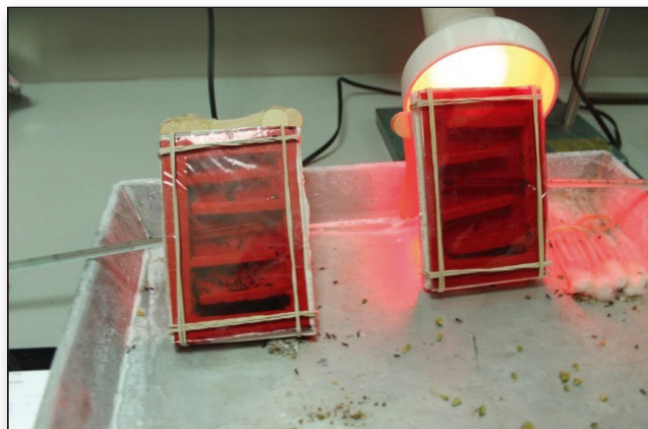
ב. ניסוי במעבדת בית הספר

על מנת שנוכל לבצע את הניסוי במעבדה, אספנו נמלים בפרדסים שבמכון ויצמן למדע אשר נמצא ברחובות (ראו תמונה 4). הגענו למעבדת בית הספר באשכול הפיס כשבידינו מכל ובו חול, ורק מדי פעם מבצבצת ממנו נמלה, והתחלנו בתהליך ארוך של ניפוי עדין מאוד של החול מהמכל על מנת שנוכל לראות את תגובת הנמלים בזמן הניסוי. לאחר כשלושה שבועות היה לנו מכל של נמלים נקי מחול.

תחילה תכננו והכנו זוג סולריומים מדומים אשר הכנסנו לתוך

טבלה 1: השפעת הטמפרטורה על התנהגות הנמלים בסולריום בשטח.

מקום המדידה	טמפרטורה ממוצעת (°C)	גובה ממוצע מהקרקע (ס"מ)	תגובת הנמלים
קרקע	18.4	0	לא היו נמלים בקרקע.
בסיס הסולריום	19.5	0	כמות קטנה מאוד של נמלים יצאו מהקן.
אמצע הסולריום	20	4.625	כמות הנמלים שיצאו החוצה גדולה מכמות הנמלים שיצאו החוצה מבסיס הסולריום.
ראש הסולריום	18.8	8.5	התגובה הייתה שונה מקן לקן.
אוויר	19.5	0	אין נמלים באוויר.



תמונה 5. מערכת הניסוי במעבדה: הדמיה של סולריומים. צולם באשכול הפיס ברחובות.



תמונה 4. איסוף קן נמלה בנאית. צולם במכון ויצמן.

יכול להיות כי בחודשי החורף נמצאות יותר נמלים בנאיות באמצע הסולריום מאשר במקומות אחרים, מפני שהמלכות והוולדות שלהן צריכות טמפרטורה גבוהה המתאפשרת בסולריום על מנת לתפקד כראוי. גם פועלות המבצעות את הפעולות הרגילות בקן יימצאו בכמות גדולה יותר בסולריום, כי להן תפקיד מיוחד בנוסף לתפקידיהן הרגילים, והוא לדאוג למלכות ולוולדות. בנוסף יהיו חיילות, הצריכות להגן על הוולדות והמלכות מפני נמלים אחרות ואויבים. החיילות נמצאות לרוב במינים של נמלים גדולות יותר, כמו הנמלה הבנאית. ראינו כי אמצע הסולריום הוא אחד מהאזורים הכי מרווחים. לכן אנו מניחים שנוח לקיים שם את הפעולות הרגילות, לטפל במלכות ולגדל את הוולדות. בנוסף זהו המקום החם ביותר בקן. לכן, ככל הנראה, רוב הנמלים יהיו באזור זה של הקן.

אחת מהשערותנו הייתה שהנמלים יעברו לסולריום החם יותר בשל הדם הקר שלהן, ובנוסף לכך - גם קצב התנועה שלהן יהיה מהיר יותר עקב עודף האנרגיה התרמית שיהיה בסולריום. השערותנו הופרכו למחצה; הנמלים אשר היו בסולריום הקר יותר לא עברו לסולריום החם, אך הנמלים הבודדות שהיו בסולריום החם יותר בהחלט זזו מהר יותר ומספר פעמים רב יותר.

לדעתנו, אחת הבעיות בניסוי המעבדה הייתה שאפשרנו לנמלים להתרגל לסולריום, ולכן הן סימנו אותו כמקום המועדף ולא רצו לצאת ממנו. הקנים שמדדנו בשטח היו בגדלים שונים, לכן קשה יותר לדעת

■ ככל שמתרחקים מאמצע הסולריום לתחתית הסולריום, תגובת הנמלים נמוכה יותר (הן פעילות פחות, ויש פחות נמלים).

ג. ניסוי במעבדה

הטמפרטורה בסולריום המחומם הייתה גבוהה בכ-4-5 מעלות צלזיוס בהשוואה לסולריום בטמפרטורת החדר. מיד עם תחילת הניסוי בחרו רוב הנמלים להתמקם באחד מהסולריומים המדומים, התאספו ונשארו בסולריום זה במשך כל הניסוי, בלי קשר למיקום גורת החימום. כמו כן בנו הנמלים בסולריום זה מעין 'רמפת כניסה' למתקן משאריות של מזון ולכלוך על מנת להקל עליהן את הכניסה והיציאה ממנו (ראו תמונה 6).

עם זאת, ראינו שהנמלים שהיו בסולריום המחומם היו פעילות יותר וזזו הרבה יותר מאלו ששהו בסולריום הקר יותר בלי הנורה.

דין

תוצאות הניסוי אימתו את השערותנו: ככל שהטמפרטורה הייתה גבוהה יותר באזור מסוים בסולריום, כך יותר נמלים יצאו מהקן החוצה. באמצע הסולריום היו עשרים מעלות צלזיוס, וכמות גדולה יותר של נמלים יצאה בהשוואה לכמות הנמלים שיצאו מבסיס הסולריום, שהטמפרטורה בו הייתה נמוכה בכחצי מעלת צלזיוס בממוצע. תוצאות הניסוי שלנו היו דומות לתוצאות שנמצאו במחקרים אחרים (לונדון, 2003), ולפיהן כאשר הטמפרטורה עולה - פעילות הנמלים גדלה.



תודות

אנו מודים לצוות ולהנהלת חטה"ב קציר א' על התמיכה והליווי לאורך הפרויקט. אנו מודים גם לפרופ' ענת ירדן מהמחלקה להוראת מדעים במכון ויצמן ולרחלה שמלה על הסיוע בעריכה ובכתיבה של המאמר.

פרטים מלאים על מהלך הפרויקט ניתן לקבל בפנייה לכותבי המאמר (Tom.bielik@weizmann.ac.il).

מקורות מידע

Blackawton, P. S., Airzee, S., Allen, A., Baker, S., Berrow, A., Blair, C., Lotto, R. B. (2011). Blackawton bees. *Biology Letters*, Vol. 7(2), 168-172.

Gordon D. M. (1995). The Development of Organization in an Ant Colony. *American Scientist*, Vol. 83(1), 50-57

Yarden, A. (2009). Reading Scientific Texts: Adapting Primary Literature for Promoting Scientific Literacy. *Research in Science Education*, 39(3), 307-311.

לונדון ע., (2013). מה הקשר בין פעילות הנמלים למזג האוויר? [אתר דוידסון און-ליין](#).



תמונה 6. הנמלים בסולריום המדומה במעבדה, ורמפת הכניסה שנבנתה על ידיהן. צולם באשכול הפיס ברחובות.

את היחס שבין כמות הנמלים היוצאות מהקן בעת המדידה לכלל הנמלים בקן. כדאי לנסות לעשות את הניסוי בקנים בגודל דומה.

רפלקציה

הפרויקט היה מעניין מאוד והועיל לנו מאוד. היה קושי במציאת קני הנמלה הבנאית. רכשנו המון כלים למחקר אשר אולי יועילו לנו בעוד מספר שנים. למדנו המון על הנמלה. כן, היצור הקטנצ'יק הזה שכל הזמן היינו דורכים עליו ונהנים לראות אותו נמחץ, והיינו בטוחים שהנמלה הזאת היא יצור לא כל כך חשוב. אתגרנו את עצמנו שוב ושוב בניסיון למצוא תשובות לשאלות מורכבות, וכמובן למדנו איך לתכנן ולבנות את הניסוי ובאיזה ציוד להשתמש.

