



המרכז הישראלי למצוינות בחינוך
Israel Center for Excellence
through Education



משרד החינוך
התרבות והספורט

מצוינות 2000
בחסות קרן סקירבול

המכון למצוינות בהוראה

נבטי חשיבה

ד"ר קובי בן-ברק

עריכה וייעוץ מדעי:

ד"ר אבי פולג, ד"ר אילת חסון, ד"ר ניר פלג, ד"ר גיא אשכנזי, ד"ר מיכל עזז



מדעים – יסודי

מהדורת תשע"ד

דצמבר 2013

@כל הזכויות שמורות למרכז הישראלי למצוינות בחינוך ולמשרד החינוך.

חומרי הלימוד הגם לשימוש בהוראת תכנית "מצוינות 2000" בלבד. אין להפיצם בלא רשות,
מראש ובכתב.

הקדמה

נושא הנביטה הוא נושא מרתק ומלהיב. קל מאד לראות גם כמה רלוונטי הוא לחיינו. גם אם התלמידים אינם בקיאים עדיין בתורת האקולוגיה, כל אחד מהם בוודאי מבין שעיקר מזונו מגיע מעולם הצומח, באופן ישיר או עקיף. כל אחד מהתלמידים מבין בוודאי שהשאלה כיצד ניתן להעלות את תנובת התירס, למשל, היא שאלה מאד רלוונטית, בעלת השפעות עצומות על שאלות רחבות כמו הרעב או תוחלת החיים בעולם.

תהליך הנביטה הוא, בראש ובראשונה, תופעה הגורמת להתרגשות רבה, בעיקר כאשר שאלת החקר היא פרי יוזמה של התלמידים, ההנבטה נעשית על-ידיהם, והם אלה העוקבים אחר גידול הנבטים במהלך הימים והשבועות לאחר הזריעה.

מספר הניסויים אותם ניתן לבצע בתחום זה הוא גדול מאד, ואינו דורש, לפחות בתחילה, כל ידע מוקדם. הדרך בה נערך החקר של תופעת הנביטה הוא ביצוע סדרה של ניסויים פתוחים, ניסויים שתוצאתם אינה ידועה לתלמידים (ולעיתים אף לא לכם).

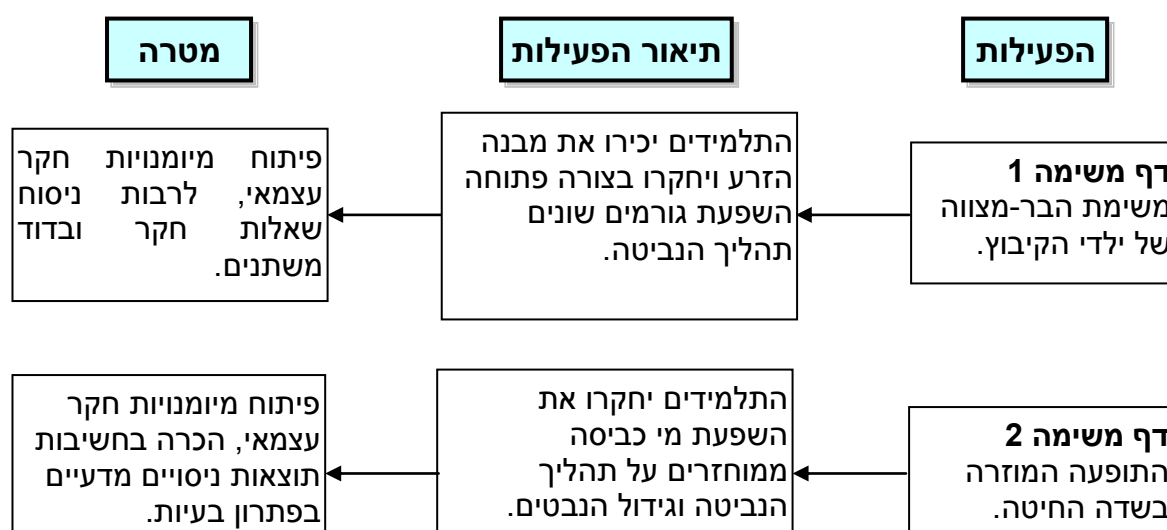
נושא הנביטה מהווה חלק מתוכנית הלימודים של מערכת החינוך בכל הרמות – מבתי-הספר היסודיים ועד לאוניברסיטה, ולכן ייתכן מאד שביצעתם יחד עם תלמידיכם ניסויים שונים בנושא זה. יש להציג חיסרון לכאורה זה כיתרון – הדגישו לתלמידים כי גם אם הנושא אינו חדש עבורם, אנו בוחרים לעסוק בו שוב בכיתות הגבוהות יותר, כיוון שהמטרה שלנו כעת היא שאפתנית יותר – אנו מנצלים נושא מוכר זה לא רק בכדי להכיר את נושא הנביטה עצמו טוב יותר, אלא בעיקר כדי להעמיק את הידע המדעי ולטפח את מיומנויות החקר – ואלו אינן מעטות כלל!

פעילות זו מומלצת להוראה בכיתות ה-10.

מבנה יחידת הלימוד

הנביטה הוא תהליך מורכב מאד, ומסיבה זו מספר שאלות החקר שניתן לשאול בנושא זה הוא גדול מאד. בחרנו לעסוק בתחילה בשתי שאלות ממוקדות – שאלה אחת בעלת נגיעה לשימור הסביבה (השפעת מים ממוחזרים) והשנייה תעסוק בתופעה המרתקת של השפעת האור על הנביטה.

עם זאת, ניתן (ואף מומלץ) להרחיב נושא זה לשאלות מחקר רבות נוספות. בפרק ההרחבה, "היבטים נוספים של תהליך הנביטה", תוכלו למצוא דיון בשאלות מחקר נוספות אלה, ותוכלו לעסוק בהן אם תחליטו להרחיב את יריעת ההוראה ולהקיף את תופעת הנביטה על שלל היבטיה.



משך הפעילות

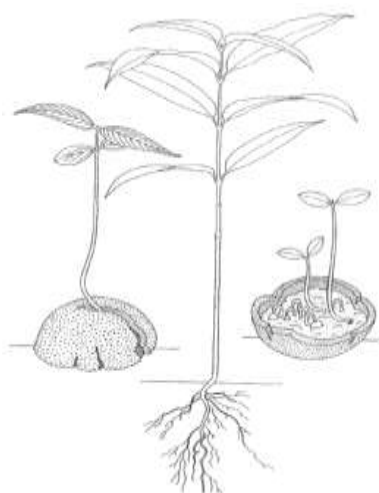
משך הוראה המומלץ ליחידה זו הוא 4 מפגשים כפולים: שני מפגשים כפולים לתכנון ולביצוע הניסויים בדף משימה 1 ושני מפגשים כפולים לתכנון ולביצוע הניסויים בדף משימה 2. כיוון שתהליך הנביטה הוא תהליך מתמשך, יש להביא בחשבון שהמדידות השונות תתבצענה באמצע השבוע, או בתחילת שיעור המוקדש לנושא אחר.

חקר תהליך הנביטה

בקיעת הנבט מן הקרקע והתארכותו הן מתופעות הטבע המרתקות ביותר. אין ספק שרבים מהתלמידים ראו נבטים הבוקעים מן הקרקע, וייתכן אף שביצעו הדגמות של נביטה בכיתה. אנחנו נרחיב את התופעה ונבחן כאן מספר היבטים חשובים שלה. כפי שניווכח, תופעת הנביטה יכולה להיות גם כלי מדעי מרתק לטיפול חשיבה מדעית וסקרנות.

הדידקטיקה של תהליכי החקר

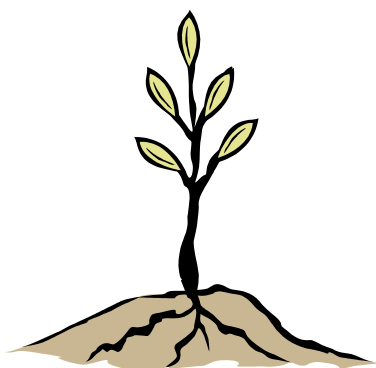
הבחירה בניסוי הנבטה נובעת ממספר יתרונות ייחודיים להם:



○ **הפיכת תצפית לשאלת חקר** - התלמידים מוקפים צמחים נובטים, וסביר להניח שהם מתייחסים לכך כאל תופעה מובנת מאליה. עבורכם, המורים, זוהי הזדמנות להפוך תופעה יומיומית ומובנת מאליה, לכאורה, לשאלה מדעית מרתקת.

○ **אקולוגיה והרלוונטיות לחיי היומיום** - עולם הצומח הוא "השכבה היצרנית", המספקת לאדם את מזונו. מכאן שחקר תהליכי הנביטה וגידול הנבטים והצמחים הוא בעל השלכות כלכליות מרחיקות לכת.

○ **הצלחת הניסויים** – ניסויי ההנבטה כמעט ואינם יודעים כישלון. הם פשוטים לביצוע, קלים למדידה, ומתרחשים בקצב המתאים למעקב שוטף, המשתלב בחיי הכיתה. ניתן לבצע מדידות אחת למספר ימים, התלמידים יכולים אף לקחת את הנבטים הגדלים לבתיהם ולבצע שם את המדידות. אטיות התהליכים מאפשרת גם מחשבה ללא לחץ זמן, דיונים בכיתה בעת ביצוע הניסויים, הסקת מסקנות זריחה ושילוב הנושא בפרקי זמן קצרים בשיעורים, גם אם הללו מוקדשים לנושא אחר - מעין "פסקי זמן" בעת השיעורים, לאורך מספר שבועות.



○ **אופי החקר** - חקר תהליכי הנביטה יעשה באמצעות ניסויים פתוחים. התלמידים הם אלה שיקבעו את שאלות החקר, יתכננו את הניסויים, יבצעו אותם ויסיקו מהם מסקנות. תפקידכם, המורים, הוא ללוות את תהליך החקר מן הצד, תוך התערבות מועטה ביותר.

ניסוי פתוח הוא **ניסוי גילוי**, להבדיל מ**ניסוי אישור** (המאשר תופעה ידועה). תוצאותיו אינן ידועות לתלמידים, וייתכן שאינן

ידועות אף לכם, המורים. אלה הם ניסויים הנערכים עם הרבה חדוות גילוי וסקרנות. אפשרו לתלמידים לתכנן את הניסוי מתחילתו ועד סופו. הניחו את האחריות המלאה לניסוי בידיהם. כך תביעו את אמונכם ביכולתם. כך הם ירכשו אמונה ביכולתם.

חשיבות נושא המחקר

כיוון שהצמחים מהווים את הבסיס עליו מונח עולם החי כולו, הדגישו לתלמידים שהנביטה אינו תהליך שולי, אלא הוא תהליך מכריע בעולם החי – אם נצליח, למשל, להעלות את אחוז הנביטה או את יבול החיטה בעולם ולו רק ב-10%, חשבו על ההשלכות שיכולות להיות לכך על הרעב בעולם!

אם נצליח ליצור יבולים הצורכים מחצית מכמות המים, חשבו על השפעתו של הישג זה על משק המים בעולם והחקלאות באזורים צחיחים.

ובאמת, התלמידים עורכים ניסויים בשאלות חקר אלה, ומכאן החשיבות של הדגשת הערך הרב של נושא הנביטה באזני התלמידים.

מיומנויות החקר

ניסויי ההנבטה מספקים לכם, המורים, הזדמנות לטפח את יכולת החשיבה המדעית של התלמידים, כמו גם מושגים מדעיים חשובים:

- חשיבה ותכנון מוקדמים
- ניסוח מטרת הניסוי ושאלת החקר.
- הגדרת משתנים ובידודם.
- קבוצת בקרה מול קבוצת ניסוי.
- הצגת תוצאות - גרפים וטבלאות.
- הסקת מסקנות - אבחנה בין תוצאות למסקנות.
- מושגים סטטיסטיים - ממוצע, שונות, פיזור נתונים.

תכנון הניסוי וכתיבת הפרוטוקול - התערבותכם נדרשת בעיקר בהשגחה על כתיבה מוקפדת של פרוטוקול הניסוי. חייבת להיות חשיבה מאד עמוקה על האופן המדויק בו יש לבצע את הניסוי, כך ששיג את מטרותיו. זכרו את "כלל הזר ב-2:00 בלילה". על הפרוטוקול להיות כה מפורט, כך שגם זר המגיע למעבדה ב-2:00 בלילה, שאינו יודע כלל מהי מטרת הניסוי, יוכל לבצע את הפרוטוקול בדיוקנות.

הפרוטוקול אינו חייב להיות נכון מבחינה מדעית, אך הוא חייב לכלול הוראות חד-משמעיות ומפורטות, הגדרת המשתנים, בחירת כלי המדידה, מדידות מדויקות, עריכה מראש של

הטבלאות, כשהמשתנה המשפיע מוגדר היטב ועמודת המשתנה המושפע ריקה (שתתמלא על-ידי הזר ב-2:00 בלילה), ציור מראש של צירי הגרפים (עם היחידות), וכדומה.

זו הזדמנות עבורכם לטפח חשיבה מסודרת. היא באה לידי ביטוי בעיקר בעת כתיבת הפרוטוקול. התנאי להתחלת כל ניסוי יהיה **אישור הפרוטוקול** על-ידיכם. ללא אישור - לא יתחיל הצוות את הניסוי. כך יובטח היחס הרציני של התלמידים לשלב חשוב זה.

אם אתם מזוהים שגיא מדעית ברורה במהלך הניסוי המתוכנן (הצוות לא בודד משתנים, למשל) – התאפקו ואל תעירו לתלמידים. רק בסיום הניסוי העירו את תשומת ליבם לעובדה שהם לא יכולים להסיק מסקנה תקפה מתוצאות הניסוי כיוון ששני משתנים השתנו במקביל.

כפי שניתן לראות, יש אבחנה ברורה בין שלב התכנון, המחייב חשיבה ויצירתיות, לבין שלב הביצוע של הניסוי, המחייב מעקב דקדקני אחר שלבי הפרוטוקול. מטרתו של שלב התכנון להיות כה מפורט, עד שיהפוך את שלב ביצוע הניסוי לטכני בלבד, הנעשה ללא חשיבה. החשיבה על-ידי התלמידים נעשתה מראש, וכל אפשרות הובאה בחשבון.

החלפת פרוטוקולים - טכניקה יעילה ביותר לבדיקת איכות פרוטוקול הניסוי היא החלפת הפרוטוקולים בין הצוותים, כך שצוות א' יבצע את הפרוטוקול הנכתב על-ידי צוות ב'. האם יוכל לעמוד במשימה? אם לא – הצוות יחזיר את הפרוטוקול לצוות המתכנן לצורך שיפורו, עד לביצוע מושלם. התלמידים הופכים מבקרים של עצמם, כשאתם מחוץ לתמונה. זו הביקורת היעילה ביותר. בניסוח פשוט: זוהי הזדמנות עבורכם להנחיל מצוינות. אל תחמיצו אותה!

מהלך הניסויים

תהליך הנביטה הוא ממושך, ואורך ימים רבים. יש להתחשב באופי הייחודי של ניסויים אלה. יש להביא בחשבון שמשך כל ניסוי הוא שבועיים לערך.

רוב פעולות החשיבה, התכנון והעמדת הניסויים, מתרחשות בתחילת תהליך החקר, ולכך יש להקדיש את מירב תשומת הלב. המדידות עצמן אינן לוקחות זמן רב (20-15 דקות בדרך-כלל), ולכן הן יכולות להתבצע במהלך פעילויות אחרות. סיכום הנושא, ניתוח התוצאות והדיונים בהן הם תהליכים חשובים ביותר, ולהם יש להקדיש שיעורים מיוחדים בסיום הניסויים.

טכניקת ההנבטה

כאמור, ניסויי הנבטה כמעט ואינם נכשלים. זהו אחד מיתרונותיהם הגדולים. נפרט כעת מספר המלצות הנוגעות לאופן ביצוע הניסויים.

סוגי הזרעים - ניתן להשתמש במגוון רחב של זרעים לצורך הניסויים (ואף להשוות ביניהם). הגרגרים המומלצים כאן הם זרעי חיטה, כיוון שהם גדלים בקצב מתון, קל למדוד את גובהם

במהלך הניסוי והם זולים וזמינים בכל חנות למוצרי חקלאות. כל הניסויים המתוארים כאן נעשו על זרעי חיטה. מומלץ לרכוש זרעים שעברו טיפול המונע גידול פטריות, אך אין זה הכרח. זרעי עדשים אף הם גדלים מהר והם קלים מאד להשגה.

שימור הזרעים - יש לשמור את הזרעים בשקית אטומה בתנאי יובש במקרר. רוב הזרעים יהיו פעילים גם שבועות וחודשים לאחר קנייתם, כל עוד נשמרו יבשים בקור.

הדגרה טרם הנבטה - כפי שנראה בהמשך (זו תהייה אחת משאלות החקר), האות לתחילת ההנבטה הוא רטיבות בתנאי טמפרטורה נאותים. חשוב, לכן, לטבול את הזרעים במים בטמפרטורת החדר משך הלילה שלפני תחילת הניסוי המתוכנן, ולפזר אותם על המצע רק למחרת, וזאת כדי להפעיל את המנגנונים הגורמים לתחילת הנביטה. המים צריכים לכסות את הזרעים בשכבה דקה בלבד, כך שחמצן מסיס יגיע אל הזרעים ויאפשר להם לנשום. אם הניסוי נערך בחורף, רצוי (אך אין זה הכרחי) להדגיר את הזרעים באינקובטור, או בכל מקום אחר בו הטמפרטורה תהייה לא פחות מ- 25°C לערך (אין צורך לדייק).

אופן ההנבטה על הצלחת - מומלץ להניח 25-30 זרעים על המצע בכל צלחת חד-פעמית, בשורות ישורות של 5X5 או 5X6 (אם ברצונכם לעקוב אחר נבטים אינדיבידואליים), או לפזר באקראי את הזרעים על המצע. מומלץ לסמן ב"מַרְקֵר" על דופן של כל צלחת נקודה ("צפון"), כך שבעת המדידות נוכל להניח כל אחת באותו כיוון ולעקוב אחר גידול של נבט ספציפי. רצוי להקדיש לכל טיפול 3-4 צלחות זהות. ההנבטה על מספר צלחות ומספר הנבטים הגדול בכל טיפול מבטיחים אמינות רבה של התוצאות (חוק המספרים הגדולים).

קצב הגידול לאחר תחילת הנביטה מושפע מאד מהטמפרטורה, אך מומלץ שלא להעלות את הטמפרטורה אל מעל ל- 30°C , וזאת כדי למנוע גידול של פטריות וזיהומים אחרים. מומלץ להשאיר את הצלחות על המדפים בטמפרטורת חדר ממוזג (גם בחורף), כשהנבטים חשופים לטווח טמפרטורות של 20°C - 25°C משך רוב שעות היממה.

המשתנים הנבדקים - שני הפרמטרים אותם ראוי וקל לבדוק הם אחוז הנביטה (אחוז הנבטים שגדלו מתוך כלל הזרעים שהונחו על הצלחת) ומשך הזמן עד תחילת הנביטה. קצב הגידול של הנבט (ס"מ ליום) הוא פרמטר נוסף שאינו משקף את הגורמים המהווים אות לנביטה, אך משקף את השפעת הגורמים השונים על שלב הנביטה, לאחר שהחל.



מצעי גידול - ישנם מצעים רבים עליהם יכולים הנבטים לגדול. הנבטה על צלחת חד-פעמית ועליה שכבה עבה של צמר-גפן תהייה השיטה הזולה והיעילה ביותר. סביר מאד שקרקעות שונות מחצר בית-הספר יתמכו בנביטה ובגידול אף הן.

התאמת קצב הגידול למהלך הדיקטי של הנושא - תחילת בקיעת הנבטים מתוך הזרעים מתרחשת מספר ימים לאחר הרטבת הזרעים. משתנה זה, כמו גם קצב הגידול, מושפע מהטמפרטורה. יש לכוון את הנביטה כך שאם ברצונכם להדגים לכיתה תופעה מסוימת בנבט הבוגר - עליכם להנביט 6-10 ימים לפני מועד השיעור המתוכנן, וזאת כתלות בעונת השנה.

המשתנים הנמדדים

כיצד נדע אם לגורם מסוים הייתה השפעה על תהליך הנביטה? שני המשתנים הפשוטים ביותר למדידה הם אחוז הנביטה וקצב הגידול.

אחוז הנביטה: לדוגמה, אם אנו מבצעים ניסוי עיכוב נביטה, והנבטנו 20 זרעים בכל אחת מצלחות הבקרה והניסוי, ובצלחת הבקרה נבטו 16 זרעים ובצלחת הניסוי רק 6, הרי אחוז הנביטה בצלחת הבקרה הוא $16/20=0.8=80\%$, ואילו בצלחת הניסוי אחוז הנביטה הוא רק $6/20=0.3=30\%$.

קצב הגידול: מדידות חוזרות תאפשרנה לנו להעמיק את הבנת המושג "קצב" – בכמה סנטימטרים (או מילימטרים) התארך הנבט בכל יום (נראה בהמשך תוצאות לדוגמה). כלומר היחידות של קצב הגידול הן אורך חלקי זמן.

ממוצע ופיזור התוצאות: ניסויים אלה מזמנים לנו את האפשרות להטמיע את מושג הממוצע ופיזור התוצאות. למשל, אם מדדנו את אורכם של 3 נבטים ביום מסוים, ומצאנו שאורכם הוא 8, 9 ו-10 ס"מ, הרי הממוצע של אורכם הוא $(8+9+10)/3 = 9\text{cm}$, משמע, יש להתייחס אליהם מבחינת חישוב התוצאות כאילו שלושתם היו באורך של 9 ס"מ.

אך שלושה נבטים באורך של 7, 9, ו-11 ס"מ יהיו אף הם בעלי אורך ממוצע של 9 ס"מ, אם כך, מה ההבדל? ההבדל הוא בפיזור התוצאות. במקרה הראשון הניסוי יהיה אמין יותר, כיוון שהתוצאות קרובות יותר זו לזו.

נושא זה הוא בעל חשיבות רבה בניתוח סטטיסטי של תוצאות במדע, ואין צורך להעמיק בזאת כאן, אך את מושג אחידות התוצאות וחשיבות האחידות ראוי להדגיש.

נעבור כעת לפעילות הראשונה והיא:

משימת בר-המצווה של ילדי הקיבוץ

משימת בר-המצווה מתחילה בחקירת האות (האותות) לנביטה והגורמים המשפיעים על גידול הנבט בראשית דרכו. זרעים הנשמרים במקרר אינם נובטים, אך אלה מהם המונחים על מצע רטוב בחדר מתחילים לנבוט. מדוע?

חקירת שאלה זו תניח את המצע לחקירה המורכבת יותר של השפעת מי הכביסה על גידול הנבטים וההשלכות האקולוגיות של שאלה זו.

בניסוי ראשוני זה התלמידים לא רק יענו על שאלות החקר, אלא גם יכירו את מבנה זרע החיטה והנבט הבוקע ממנו, האופן בו הוא מתארך, כמו גם מושגים מדעיים כלליים, כמו 'קבוצות ביקורת וניסוי', 'קצב גידול' ועוד.

ניסוי זה יטפח לא רק את מיומנויות החקר, אלא יחזק גם את תודעת שימור הסביבה וחסכון במים.

משימת בר-המצווה של ילדי הקיבוץ

בהגיע כיתת "אלומה" בקיבוץ "נוֹוָה חיטה" לשנת בר-המצווה, רבֵּתָה ההתרגשות בקרב ילדי הכיתה. מסוֹרֶת ארוכה הייתה זו בקיבוץ (ובקיבוצים אחרים) לפיה מְשִׁימת בר-המצווה היא המשימה החשובה ביותר בשנה גורלית זו. מִיָּמיו הראשונים של הקיבוץ, ולאורך כל השנים,



הייתה משימת בר-המצווה הסמל המובהק של מְעָרָר הילדים אל עולם המבוגרים. מסיֵבָה זו התייחסו אליה הילדים בכובד ראש והתכוננו לקראתה ברצינות רבה.

"בשנים הקודמות", אמרה מירב, "היו אלה המבוגרים שקבעו איזו משימה יִבְצְעו הילדים, אך המחזור שלנו הוא הבוגר ביותר שנולד בקיבוץ", המשיכה בענווה, "ולכן נראה לכולם שאנחנו מבוגרים מספיק לעשות החלטות בעצמנו".

"נכון מאד!", קרא יובל, כאילו הייתה לו הִתְגַּלּוּת מן השמיים. "לא רק שנבחר משימה בעצמנו, אלא נבחר משימה כזאת שתעזור לקיבוץ. עוד שנים ידברו על המחזור שלנו בהתפעלות", המשך יובל באותה ענווה.



"קל לדבר", קטע אור את דבריהם. "אבל איזו משימה יכולים ילדים כמונו לבחור, שהמבוגרים לא חשבו עליה?".

"יש לי רעיון", אמר גל. "כבר יותר משלוש שנים יש בצורת. נבחר משימה שתעזור לקיבוץ לחסוך במים".

"נהדר!", המשיכה דקלה. "יש לי רעיון שלא רק יחסוך מים לקיבוץ, אלא יוכל להביא תועלת נוספת", אמרה בפנים מסתוריות. עיני כולם הופנו אליה, והילדים התבוננו בה במבט בוחן. אלא שדקלה שתקה.

"נו...!?", אמר לבסוף גל בקוצר רוח. "את מתכוונת לספר לנו את הרעיון שלך?".

"מה שם הקיבוץ שלנו?", שאלה דקלה.

"מה זאת אומרת 'מה שם הקיבוץ שלנו'?, אמר גל. "את לא יודעת את שם הקיבוץ בו נולדת?".

"בוודאי שאני יודעת, וזה בדיוק הרעיון. אחד הענפים החשובים בקיבוץ הוא גידול חיטה. הבה נראה אם נוכל לחסוך במים, ובמקביל גם להעלות את יבול החיטה".

"איך נעשה זאת?", שאלו כולם.

"אנחנו עוברים יום יום מול המכבסה ורואים את מי הכביסה הנשפכים לביוב. אולי אפשר לנצל אותם להשקיית החיטה בשדות?"

"מי הכביסה?", שאלה תמר. "הרי הם מכילים סבון כביסה. הסבון לא רק שלא יגביר את גידול החיטה, אלא הוא אף עלול להזיק לה", אמרה בקול.

"בדיוק בגלל זה אנחנו לומדים מדע. האם אתם זוכרים מה אמרה לנו אפרת, המוכה למדעים? **אל תנחשו! בדקו!** ייתכן שאת צודקת, תמר, וריכוז הסבון יהיה גבוה ומזיק, אך ייתכן שלא. ייתכן גם שנוכל למהול את מי הכביסה במי ברז, כך שניתן יהיה לנצל אותם בכל זאת. מי בעד לנסות זאת?", שאלה דקלה את הילדים.

כל הילדים, ללא יוצא מן הכלל, הרימו את ידיהם בהתלהבות.



"רגע!", אמר יהונתן, שהיה שקט עד אז. "יש לנו רק זרעי חיטה בשקית. לפני שעושים את הניסוי, אנחנו צריכים לדעת כיצד להנביט את הזרעים. אנחנו צריכים לדעת מה מתחיל את הנביטה ובאילו תנאים היא גדלה בצורה הטובה ביותר." "זה ממש מיותר", אמרה נעמה. "פשוט ננהג כמו עובדי ענף החיטה בקיבוץ. נפזר זרעים על הקרקע, והם כבר יגדלו לבד".

"אני ממש לא מסכים איתך", אמר יהונתן. "לפני שעורכים ניסוי אורך, יש למצוא את התנאים בו נערוך אותו בצורה הטובה ביותר. על איזה מצע (קרקע) ננביט? הרי יש הרבה סוגי קרקעות. באיזו טמפרטורה? הרי יש ימים חמים וקרים. האם נרטיב את המצע? הרי יש ימים עם ובלי גשם. חייבים להגדיר את תנאי ההנבטה.

- האם אתם מסכימים עם יהונתן? הסבירו מדוע.

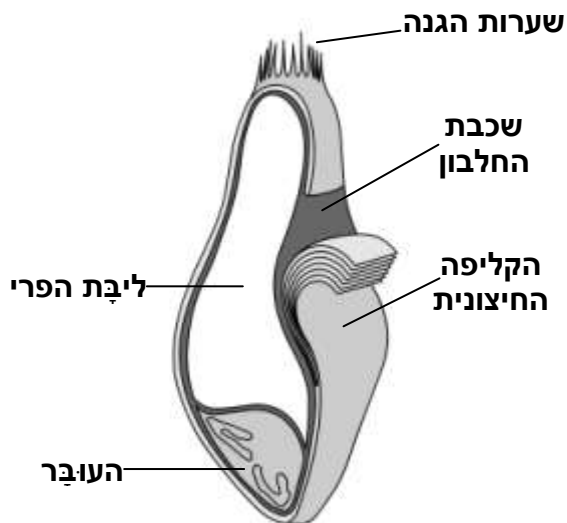
התבוננות בזרע החיטה

לפני שנדון בתוצאות הניסוי, מן הראוי לערוך היכרות עם "גיבור" המשימה – זרע החיטה. כאשר מחליטים המדענים לחקור מערכת מסוימת, ראשית עליהם להכיר אותה היטב. בגלל התקדמות הטכנולוגיות בשטחי המדע השונים, נזנחה בשנים האחרונות מיומנות ההתבוננות.

הבה נחזיר אותה למרכז הבמה שוב. אנו עוסקים ביחידת לימוד זו בזרעי החיטה. הבה נכיר אותם היטב.

רצוי להתבונן בזרע חיטה שתפח משך יומיים על מצע לח, ובמקביל בנבט שהחל את צמיחתו יומיים או שלושה קודם לכן. הניחו זרעי חיטה על צמר גפן לח כ-5 ימים לפני השיעור. בנוסף, הניחו זרעי חיטה נוספים יומיים לפני השיעור. הביאו את הזרעים לכיתה להתבוננות.

נבט החיטה, ואחר-כך הצמח הבוגר, מקורם בעוֹבֵר המצוי בתוך זרע החיטה. ממה מורכב הזרע?



חתך בזרע החיטה

הזרע מורכב משני חלקים עיקריים – העוֹבֵר ויתר החלקים התומכים בצמיחתו של העוֹבֵר עד היותו נבט וצמח בוגר.

הרחבה למורה – מבנה הזרע

הבה נסקור כמה מהרקמות החשובות בזרע הצמח:

העוֹבֵר - נמצא בתחתית הזרע (בחלק המחובר לשיבולת) והוא עטוף בעלה או שניים. כמו בבעלי-חיים, העוֹבֵר הוא הצמח החדש. כל שאר חלקי הזרע מהווים תמיכה - הם מגינים עליו ומזינים אותו. למרות מידותיו הקטנות, ערכו התזונתי רב והוא מכיל חומצות שומן חיוניות וכן ויטמינים ונוגדי חמצון.

רקמות תומכות-גדילה – הרקמות התומכות בעוֹבֵר, ומהוות את רוב נפחו ומשקלו של הזרע. רקמות אלה הן:

- **הקליפה החיצונית** – המכילה בעיקר רב-סוכרים מסועפים הידועים בשם "סיבים תזונתיים". סיבים אלה כמעט ואינם מפורקים על-ידי מערכת העיכול האנושית, אולם הם סופחים נוזלים, ועל-ידי כך מקילים על המעבר של המזון במעי הדק.

- **שכבת החלבון** – הנמצאת מיד מאחורי הקליפה. תאי השכבה מייצרים חלבון, ורוב החלבון בגרגר החיטה מקורו משכבה זו. החיטה מכילה תערובת של שני חלבונים עיקריים שקיבלו את השם המשותף **גלוטן**. החלבון הוא זה שנותן לבצק את האלסטיות שלו. כאשר אנו מתפחים בצק וכוהל משתחרר כגז על-ידי השמרים, הגלוטן הוא זה שנמתח ומאפשר את לכידת בועות הגז בתוך הבצק.

- **ליִבָּה** - המהווה את החלק העיקרי בגרגר החיטה. הליבה מכילה בעיקר עמילן. עמילן זה משמש את הנבט כמקור החומר והאנרגיה עד שהוא מתחיל לבצע פוטוסינתזה בעצמו. קמח לבן מורכב ברובו מהליבה לאחר שהקליפה והעוֹבֵר הוסרו.

אין צורך לזכור או לפרט חלקים אלה, אך יש להדגיש את הבדלי הגודל בין העוֹבֵר לבין החלקים התומכים בו, המהווים את מקור האנרגיה והחומרים הדרושים לגדילתו. הדבר דומה במקצת למטוס גדול, המלא כמות גדולה של דלק ומכשירים מתוחכמים, המביא טייס בודד בשלום ממקום למקום.

זרעי צמחים ובעלי-חיים

אפשר ללכת לאיבוד בקלות ביער המונחים; זרע, פרי, עוֹבֵר, תרמיל, גרגר, גרעין ועוד. הבה נעשה סדר במונחים אלה. כיוון ששמות עלולים ליצור תחושת שווא של הבנה, נעשה סדר על-ידי כך שנתעלם, בשלב הראשון, מן המונחים, ונתרכז במהות.

כיצד מתבצעת רִבֵּיה בצמחים? רוב מיני הצמחים, ממש כמו רוב מיני בעלי-החיים, הם יצורים דו-מיניים. העוֹבֵר הצמחי נוצר על-ידי איחוד תא הזרע הזכרי (גרגר האבקן) עם התא הנקבי (ביצית),

הנמצא בשחלה). העוֹבֵר, אם כן, ממש כמו בבעלי-חיים, נוצר וגדל ומתפתח בגוף אמו - הצמח הנקבי (שבדרך כלל הינו דו-מיני).

הצמח הנקבי משקיע השקעה לא מבוטלת לא רק בעוֹבֵר המתפתח, אלא גם (ואף בעיקר) ברקמות תומכות הגדילה העוטפות את העוֹבֵר בשפע של חומרים עתירי אנרגיה – רב-סוכרים מסוגים שונים (בעיקר עמילן), חלבונים, שומנים ועוד. חומרים אלה ישמשו את העוֹבֵר במהלך התפתחותו העצמאי, לאחר ניתוקו מאמו. אריזה זו, המכילה את העוֹבֵר ואת חומרי התשמורת שיזינו אותו במהלך התפתחותו, נקראת "זרע" (seed)¹ (או "גרעין" או "גרגר", אך שמו המקובל הוא "זרע").

בשלב מסוים (הנקרא בפינו "בְּשִׁלוּת"), האריזה מתנתקת מהאם לבלי שוב. המשאבים היחידים העומדים לרשות העוֹבֵר לאחר ההתנתקות הם הרקמות עתירות המזון והאנרגיה בהם ציידה אותו אמו, ומהם הוא ניזון עד שהוא בוקע אל פני הקרקע ומתחיל את תהליך ההטמעה. הזרע הוא, אם כן, יחידת התפוצה הבסיסית.

יש לזכור שבצמחים קיים נתק בין האם לבין הצאצא. בניגוד לבעלי-חיים רבים (בעיקר עופות ויונקים), צאצאי הצמחים אינם נמצאים בקשר עם אָמָם לקבלת מנות מזון לאורך תקופת התפתחותם, ומכאן החשיבות הרבה של השקעת צמח האם ברקמות התומכות.

בצמחים רבים ארוז הזרע (או זרעים רבים) בתוך אריזה גדולה יותר, אריזה המשמשת להפצה ולהגנה, הנקראת "פרי". גם בפרי משקיע צמח האם השקעה לא מבוטלת. החומרים העוטפים את הזרעים אף הם ברובם חומרים עתירי-אנרגיה. אך חומרים אלה אינם משמשים את העוֹבֵר המתפתח. הם מושכים בעלי-חיים שונים (בעיקר עופות), האוכלים את הפירות, ניזונים מהחומרים העוטפים את הזרעים, ומפיצים את הזרעים הנמצאים בתוך הפרי בתפוצה רחבה. ישנם פירות המכילים זרע אחד (אפרסק, משמש, מנגו, אבוקדו, למשל), וישנם פירות המכילים זרעים רבים, (עגבנייה, ענבים, תירס, מלפפון, אבטיח, תרמיל הקטניות, תפוח עץ, פלפל ועוד). צריך להבדיל, אם כן, בין חומרי המזון הנמצאים בזרע והמשמשים את העוֹבֵר המתפתח, לבין חומרי המזון הנמצאים בפרי, המושכים את בעלי-החיים השונים (כולל אותנו) ותורמים להפצת הזרעים.

נסכם: המונח החשוב אותו אנו צריכים להכיר הוא "יחידת התפוצה". יחידת התפוצה הבסיסית היא הזרע הבודד, ובו העוֹבֵר וחומרי התשמורת העוטפים אותו. במקרים אחרים יחידת התפוצה היא אריזה גדולה יותר, הפרי, בה נמצאים זרע אחד או זרעים רבים, המופצים באמצעים שונים

¹ לצערנו, וכפי שקורה פעמים לא מעטות, המונחים בעברית עלולים לגרום בלבול. המונח "זרע" הוא דו-משמעי - זרע של צמחים (seed) הוא העוֹבֵר השלם הנוצר לאחר איחוד תא המין הצמחי הזכרי (תא האבקן) עם תא המין הנקבי (הביצית). הוא מכיל זוגות כרומוזומים (2n) – מחציתם מקורם בתא האבקן הזכרי, ומחציתם בתא המין הנקבי. לעומת זאת, תא הזרע של בעלי-חיים (sperm cell) הוא תא המין הזכרי, המכיל מחצית ממספר הכרומוזומים (1n). הוא מתפתח לעוֹבֵר רק לאחר שהוא מתאחד עם הביצית הנקבית. תא זרע בבעלי-חיים הוא המונח המקביל לתא אבקן בצמחים.

לכל עבר, ושם, לאחר שהפרי נרקב ונפתח, מתפתחים העוֹבְּרִים הנמצאים בזרעים הארוזים בפרי להיות לנבטים ולצמחים בוגרים.

חקירת האות לתחילת הנביטה

הכרת זרעי החיטה

- הניחו זרעי חיטה למשך יומיים על מצע של צמר גפן רטוב. קחו זרע חיטה אחד בידיכם, והתבוננו בו היטב בעיניכם, או בעזרת זכוכית מגדלת. חתכו אותו בסכין חדה ונסו לראות את חלקיו השונים.
- חתכו גם נבט צעיר הנמצא בתחילת תהליך צמיחתו. מהיכן בוקעים השורשים והנצרון (הגבעול)?

השערת השערות

- התחלקו לצוותים, והעלו השערות - מהו האות לנביטה? מה יכול להיות התנאי (או התנאים, המשתנים) הגורמים לזרעי החיטה להתחיל לנבט. רשמו את שמות המשתנים בשורה העליונה בטבלה.

המשתנה:				
_____	_____	_____	_____	_____
קבוע / משתנה	קבוע / משתנה	קבוע / משתנה	קבוע / משתנה	קבוע / משתנה

- בחרו משתנה אחד מתוך המשתנים עליהם חשבתם.

שאלת שאלות

נסחו את שאלת החקר. שאלת החקר היא:

תכנון ניסוי

- תכננו ניסוי שיענה על השאלה האם זהו הגורם לנביטה. את כל יתר המשתנים השאירו קבועים.
- נסחו הוראות מפורטות ומדויקות, על פי "כלל הזר ב-2:00 בלילה" המופך לכם.
- בקשו מהמורה ציוד כנדרש מהתכנון.
- שרטטו את הטבלא(ות) בה(ן) תתעדו את התוצאות.
- קבלו את אישור המורה לביצוע הניסוי ובצעו אותו.

דיון באות לתחילת הנביטה

- שאלו את התלמידים מהן מסקנותיהם מהניסוי שערכו לגבי האות לתחילת הנביטה?
- לאחר דיון בכיתה נסו להגדיר: מה הוא האות לתחילת הנביטה? האם יש רק אות אחד? מיהם הגורמים המשפיעים ביותר על תחילת הנביטה?

חקירת האות לתחילת הנביטה

הנושא הראשון אותו חוקרים התלמידים ביחידה זו הוא כיצד גורמים שונים משפיעים על הנביטה. ואילו השני הוא האם וכיצד ניתן לנצל מי כביסה להשקיית חיטה. בשלב ראשון יעלו התלמידים רעיונות לגורמים שונים העשויים לגרום לתחילת הנביטה, ינסחו בהתאם מגוון שאלות חקר, בהתאם להן תבצע כל קבוצה ניסוי אחר. במהלך חלק זה של היחידה, התלמידים ימדדו ויעבדו את התוצאות, יציגו אותן ויסיקו מסקנות. סדרת ניסויים זו תאפשר לתלמידים להגדיר את התנאים המתאימים ביותר לנביטה. בשלב השני, לאחר בצוע סדרת הניסויים המקדימה, יתכננו התלמידים ניסוי שיענה על השאלה האם יש מקום להשתמש במי הסבון של המכבסה להשקיית החיטה בקיבוץ נווה חיטה.

ניתן לשמור זרעים משך שבועות וחודשים בתוך שקית במקרר. אם נפזר כמה מהם על מצע של צמר-גפן, נרטיב את צמר-הגפן ונניח את הצלחת על המדף בחדר, כעבור ימים ספורים תתחיל נביטה בצלחת. בשקית השמורה במקרר, לעומת זאת, אין כל סימני נביטה.

מדוע? מהו האות לתחילת הנביטה? ניתן לחשוב על האפשרויות הבאות:

- ◆ **הארה** - הזרעים שוהים במקרר בחשכה ויוצאים מחושך לאור.
- ◆ **טמפרטורה** - הזרעים יוצאים מטמפרטורת המקרר הנעה בטווח 4°C - 8°C לטמפרטורת החדר. בקיץ הפרש הוא גדול למדי.
- ◆ **צפיפות ומגע** - ייתכן שחומרים עוברים מזרע לזרע באמצעות המגע ביניהם בשקית, ומעכבים נביטה. מנגנונים מסוג זה ידועים היטב בתקשורת בין תאים בודדים, ומכונים "מנגנוני עיכוב על-ידי מגע" (contact inhibition). מנגנון מסוג זה הוא אחד הגורמים להפסקת חלוקת תאים ברקמות לאחר החלמה מפציעה, למשל. האם קיים מנגנון כזה גם בזרעים?
- ◆ **לחות** - מנגנון כזה יבטיח נביטה עם הגשם, ולכך יתרון הישרדותי ברור.
- ◆ **מגע עם המצע** - ייתכן שהמגע עם המצע הספציפי הוא האות לנביטה. האם כל מצע יגרום לנביטה? האם יהיה מצע עליו לא יגדלו הנבטים?
- ◆ **חילופי גזים** - הזרעים בצלחת חשופים לאוויר (חמצן, בעיקר) יותר מאשר בשקית. השקית לא הייתה אטומה לחלוטין לחילופי גזים, אך ייתכן שצפיפותם הרבה בתוכה עיכבה את תהליכי הנשימה של הזרעים.

◆ **משתנים חריגים** – הקריאו לתלמידים את המשפט הבא:

השפעת מוסיקה על גידול הנבטים

"אני מציעה שנבדוק כיצד משפיעה מוסיקה על גידול נבטים", אמרה יונית. שמעתי שברפת משמיעים מוסיקה לפרות, ותנובת החלב גדלה. ייתכן שגם החיטה תגדל מהר יותר עם מוסיקת רקע".

• מה דעתכם על הצעתה של יונית?

שאלתה של יונית בנוגע להשפעת מוסיקה על גידול הנבטים תחייב את התלמידים לחשוב "מחוץ לקופסא". אלה המתנגדים להצעה זו מודים בכך שהם יודעים את התשובה (השלילית) מראש, עוד לפני שערכו את הניסוי. זו אינה דרכו של המדע.

עודדו את התלמידים להיות פתוחים לרעיונות חריגים. לא מעט מהפכות מדעיות נולדו מתצפית וניסויים בלתי צפויים (גילוי המקרי של הפניצילין, למשל). עם זאת, אסור לשכוח שיש לערוך ניסוי מבוקר, גם אם הוא מהפכני. כיצד יקבעו התלמידים את המשתנה המשפיע (מוסיקה)? סוג המוסיקה? עוצמתה? מוסיקה כלית או קולית? אין זו שאלה פשוטה כלל. הגדרת ציר ה-X (המשתנה המשפיע) אינה פשוטה.

החשיבה על שאלה זו תעמיק במוחם את ההכרה שהמדע חייב להיות פתוח לשאלות בלתי שגרתיות, אך ההתלהבות אסור לה שתשכיח מאתנו שכל ניסוי במדע חייב להיות מבוקר היטב. יתרה מזאת, דווקא ניסוי מהפכני חייב להיות נבחן בקפידה יתרה.

ניסוח שאלת החקר

שאלת החקר היא המפתח לתכנון הניסוי, הצגת התוצאות והסקת המסקנות. לעיתים קרובות מנסחים התלמידים שאלות חקר בעלות המבנה הבא "מהו הקשר בין גורם 1 לגורם 2?". ניסוח זה הוא ניסוח שמאפשר לתלמידים להתחמק מהשאלה מי מגורמי הניסוי הוא הגורם המשפיע ומי מהם הוא הגורם המושפע. מומלץ ששאלת החקר תנוסח על פי אחד מהמבנים הבאים:

"כיצד משפיע ... (הגורם המשפיע) על ... (הגורם המושפע)?" או:

"כיצד תלוי... (הגורם המושפע) ב... (גורם המשפיע)?"

כדי להגיע לניסוחים אלו מומלץ לרשום על הלוח בשתי עמודות את כל הרעיונות שמעלים התלמידים. בעמודה הימנית יפורטו **הגורמים המשפיעים** שיועלו על ידי התלמידים ובעמודה השמאלית יפורטו **הגורמים המושפעים**. ביניהם יש להוסיף את מילות השאלה והיחס המתאימות. לדוגמא:

?	גורם מושפע	על	גורם משפיע	כיצד משפיע/ה
	<ul style="list-style-type: none"> • אחוז הנביטה • משך הזמן עד לנביטה 		<ul style="list-style-type: none"> • עוצמת האור • הטמפרטורה • מוזיקה • ועוד 	

או :

?	גורם משפיע	מ	גורם מושפע	כיצד מושפע
	<ul style="list-style-type: none"> • עוצמת האור • הטמפרטורה • מוזיקה • ועוד 		<ul style="list-style-type: none"> • אחוז הנביטה • משך הזמן עד לנביטה 	

זה המקום להבהיר לתלמידים כי ערכיו של הגורם המשפיע נקבעים על ידי החוקר (התלמיד), ואילו הגורם המושפע הוא הגורם שערכיו נקבעים על-ידי המערכת הנחקרת, והוא משתנה (אם בכלל) בהתאם לערכיו של הגורם המשפיע. משום כך, בתחילת הניסוי נקבעים ערכיו של **הגורם המשפיע** על-ידינו, מתכנני הניסוי ונרשמים בעמודה המתאימה בטבלה, ואילו ערכי **הגורם המושפע** נמדדים רק לאחר ביצוע הניסוי. למשל, אם נרצה לבחון כיצד משפיע ריכוז דשן מסוים על אחוז הנביטה של נבטי עדשים, הרי אנו אלה הקובעים את ריכוז הדשן בניסוי (המשתנה המשפיע), ואילו אחוז הנביטה הוא התוצאה של הניסוי, והוא נקבע על-ידי תכונות המערכת הנבדקת. יכול להיות, למשל, שאחוז הנביטה של זרעי עדשים יושפע מן הדשן כבר בריכוזים נמוכים, ואילו אחוז הנביטה של זרעי מלון יושפעו בריכוזים גבוהים הרבה יותר, ואילו זרעי פלפל לא יושפעו כלל. הזרעים של כל מין הם מערכת נפרדת, ולכן לא נופתע אם תגובותיהם למשתנה המשפיע תהיינה שונות ולעתים אף הפוכות.

באותה מידה רצוי להיצמד למושגים **גורם משפיע** ו**גורם מושפע**, ולא למושגים "גורם תלוי" ו"גורם בלתי תלוי", המבלבלים יותר. שהרי הגורם ה"בלתי-תלוי" תלוי בערכים שקבע התלמיד או החוקר).

בידוד משתנים

התלמידים יגלו כי הם חשבו על רשימה ארוכה למדי של גורמים משפיעים אפשריים. מי מגורמים אלה (או צירוף של שניים או יותר) הוא המעורר נביטה? שאלה זו היא תרגיל נפלא ב**בידוד משתנים**. התלמידים יבינו שהם חייבים לבצע ניסויים שונים, כשבכל ניסוי עליהם לבדוק משתנה אחד בלבד, ולהשאיר את המשתנים האחרים קבועים.

עמדו על כך שהתלמידים ימלאו את הטבלה ובה כל המשתנים - **המשתנים הקבועים**, ומשתנה ה**ניסוי** הנחקר בניסוי ספציפי זה. טבלה כזאת תמחיש להם היטב את חשיבותו של בידוד המשתנים בכל ניסוי.

הערה: בעת הקניית מיומנות שאילת שאלות חקר ביסודי, כינוי הגורם המשפיע, שערכיו קבועים ומוגדרים על ידי התלמיד מראש: "משתנה", עשוי להטעות תלמידים. על כן, רצוי להבהיר כי המושג **גורם** והמושג "משתנה" הם מושגים נרדפים, כי **בידוד משתנים** הוא בעצם "בידוד גורמים משפיעים".

לאחר שעמדתם על מבנה שאלת החקר, ינסח כל זוג תלמידים שתי שאלות חקר: האחת עוסקת בהשפעתו של גורם משפיע כלשהו על תחילת הנביטה, והשנייה תעסוק בהשפעת אותו גורם משפיע, על גורם מושפע נוסף: קצב גידול הנבט לאחר נביטתו.

התלמידים ילמדו כי בניסוי אחד אפשר לעיתים (ואף מומלץ) לבחון את השפעתו של גורם משפיע אחד על יותר ממשתנה מושפע אחד.

בידוד משתנים בחקר הנביטה

התבוננו בטבלה הבאה. בניסוי זה פוזרו על מצע צמר-גפן 40 זרעי חיטה שנשמרו בשקית במקרר עד למועד הניסוי. המצע הושקה במים עד רוויה והצלחות הונחו על המדף בחדר. אחת ליומיים-שלושה הוספו מים למצע כדי שיהיה לח משך כל הניסוי.

לקראת הניסוי הוכנה מראש טבלה לרישום תוצאות. הטבלה נראתה כך:

הגורמים העשויים להשפיע על תהליך הנביטה						
משתנה מושפע: אחוז הנביטה	קצב חילופי הגזים	מגע עם המצע	לחות	טמפ'	תאורה	המשתנים:
						מערכות הניסוי
	נמוך (שקית)	אין	נמוכה	נמוכה	חשיכה	שקית המקור (במקרר)
	גבוה (צלחת)	יש	גבוהה	חדר	אור	הנבטה בצלחת (בחדר)

שימו לב: בטבלה זו מוצגים הערכים של מגוון של משתנים _____ (משפיעים/מושפעים).

לעומתם הערכים של המשתנה ה _____ (משפיע/מושפע) חסרים. מדוע?

לאחר 12 יום נמדדו התוצאות הבאות וטבלת התוצאות נראתה כך:

הגורמים העשויים להשפיע על תהליך הנביטה						
משתנה מושפע: אחוז הנביטה	קצב חילופי הגזים	מגע עם המצע	לחות	טמפ'	תאורה	המשתנים:
						מערכות הניסוי
0%	נמוך (שקית)	אין	נמוכה	נמוכה	חשיכה	שקית המקור (במקרר)
80%	גבוה (צלחת)	יש	גבוהה	חדר	אור	הנבטה בצלחת (בחדר)

- לאור התוצאות, מי מהמשתנים המופיעים בטבלה היה הגורם לנביטה?

דיון בבידוד משתנים

הזרעים שהושארו בשקית במקרר לא נבטו כלל, ואילו הזרעים שפוזרו על מצע רטוב בטמפרטורת החדר נבטו באחוזים גבוהים. אך מי ממשתנים אלה היה הגורם לנביטה? כפי שנראה בטבלה, ההבדלים בתנאים בין שתי מערכות הניסוי הם רבים. כל המשתנים שזונו במקביל, ולכן אין לדעת מי מהם (או צירוף של שניים או יותר מהם) גרם לנביטה. כדי לגלות את הגורם (או הגורמים) לנביטה יש לבדוד את המשתנים ולתכנן ניסויים מהם ניתן יהיה להסיק מסקנות תקפות.

לאחר הצגת התוצאות של כל הקבוצות בכיתה, התלמידים יגלו כי האות המשמעותי ביותר לנביטה הוא רטיבות. עם זאת, גם הטמפרטורה היא גורם משמעותי ביותר. זרעים שהושארו במקרר ינבטו בקצב אטי מאד, גם אם יונחו על מצע רטוב. לכן, כדי שתהליך הנביטה יתקדם באופן מהיר, יש צורך בהדגרה בתנאי לחות ובטמפרטורת החדר. זרעים החשופים לטמפרטורת החדר לא ינבטו, אלא אם כן יהיו בסביבה לחה (מצע רטוב). לפיכך, זו דוגמה לתהליך מורכב, התלוי בשני משתנים, ולא רק באחד.

האם אפשר להשתמש במי כביסה להשקיית זרעי חיטה?

כעת, לאחר שביצעתם את הניסוי המכין, בו הגדרתם את התנאים המיטביים להנבטת זרעי החיטה ולגידול הנבטים, אתם יכולים לגשת לתכנון הניסוי בו תבחנו אם תוכלו להשתמש במים היוצאים ממכונת הכביסה. עליכם לתכנן שני ניסויים שונים הבוחנים שני משתנים שונים:

א. האם מי הכביסה משפיעים על אחוז הנביטה של זרעי החיטה?

ב. האם מי הכביסה משפיעים על קצב ההתארכות של נבטי החיטה?

א. האם וכיצד משפיעים מי הכביסה על אחוז הנביטה של זרעי החיטה?

• תכננו ניסוי העונה לשאלת החקר. **עצה:** תכננו לבדוק ריכוזים שונים של מי הכביסה.



• כתבו את פרוטוקול הניסוי בדקדקנות לפי "כלל הזר ב-2:00 בלילה" כולל רשימת ציוד וחומרים.

• הכינו גם את הטבלאות ואת צירי הגרפים המתאימים, כולל יחידות המידה המתאימות.

• הראו את הפרוטוקול למורה, וקבלו את אישורו/ה לביצוע הניסוי.

• בצעו את הניסוי. עקבו אחר הנבטים הגדלים ורשמו את התוצאות בטבלאות שהכנתם ושרטטו את הגרפים המתאימים.

ב.

דף משימה זב

האם וכיצד משפיעים מי הכביסה על קצב ההתארכות של נבטי החיטה?

- תכננו ניסוי שמטרתו לבחון שאלת חקר זו.
- הכינו את הטבלאות ואת צירי הגרפים המתאימים, כולל יחידות המידה המתאימות.
- לאחר הנביטה, עקבו אחר הנבטים הגדלים ורשמו את התוצאות בטבלאות שהכנתם ושרטטו את הגרפים המתאימים.
- נסחו הוראות מפורטות ומדויקות, על פי "כלל הזר ב-2:00 בלילה" המופך לכם.
- בקשו מהמורה ציוד כנדרש מהתכנון.
- שרטטו את הטבלא(ות) בה(ן) תתעדו את התוצאות.
- קבלו את אישור המורה לביצוע הניסוי ובצעו אותו.

מצוינות 2000

בחסות קרן סקירבול



מדידת קצב גידול הנבטים

- עקבו אחר קצב גידולם של ארבעה נבטים על-ידי מדידת אורכם בכל יום משך 7-14 ימים.
- הכינו מראש טבלה לרישום התוצאות. מהם המשתנים אותם תרשמו בעמודות הטבלה?
 - מהו המשתנה המשפיע? מה הן היחידות של המשתנה המשפיע? האם הוא משתנה רציף / בדיד? הסבירו את תשובתכם.
 - מהו המשתנה המושפע? כיצד תמדדו אותו? מה הן היחידות של המשתנה המושפע? האם הוא משתנה רציף / בדיד? הסבירו את תשובתכם.
- הכינו מראש גם את צירי הגרף עליו תשרטטו את תוצאות הניסוי. אל תשכחו לרשום את שמות המשתנים בשני הצירים, כולל יחידות המידה.
- מהו קצב התארכות כל נבט? האם הוא שווה בכל הנבטים? אם לא – מדוע לדעתכם יש שוני בקצב ההתארכות של הנבטים השונים?
- האם קצב ההתארכות של הנבטים הוא לינארי (ישר, קבוע בזמן)?
- בחרו נבט אחד מתוך הארבעה שמדדתם וקבעו מה היה אורך הנבט לאחר 5.5 ימים.
- מה יהיה אורכו של נבט זה לאחר 25 ימים?
- מתי צפיתם לראשונה בבקיעת הנבט מתוך הזרע? מה קרה, לדעתכם, בתקופה בה לא ראיתם כל התרחשות?



חקירת השפעת מי הכביסה על גידול הנבטים

- מה הן מסקנותיכם משני חלקיו של ניסוי זה?

שאלת חקר א':

שאלת חקר ב':

- האם יוכלו ילדי קבוצת "אלומה" להמליץ למשק של קיבוץ נווה-חיטה לנצל את מי הכביסה ולחסוך במים?

מדידת אחוז הנביטה וקצב גידול הנבטים

שתי שאלות החקר בודקות שני מנגנונים שונים, שאינם בהכרח תלויים זה בזה – מנגנון הנביטה ומנגנון התארכות הנבט. אנו יכולים לחשוב על דשן, או חומר או גורם חיצוני כלשהו, המעודד את תהליך הנביטה (ייצור הגבעול והשורשים על-ידי העוֹבֵר), אך אינו משפיע על (או אף מאט את) קצב ההתחלקות וההתארכות של תאי הנבט לאחר שהחל להתארך. מאידך אנו יכולים לחשוב על חומר חיצוני כלשהו שאינו משפיע כלל על ייצור הנבט מן הזרע (ולכן לא ישפיע על אחוז הנביטה), אך יעודד (או יעכב) את קצב ההתחלקות של תאי הגבעול ו/או את קצב גידול נפח התאים. למשל, רוב זרעי הצמחים נובטים במידה שווה באור ובחשיכה, אך האור משפיע מאד על קצב ההתארכות של הפסיגים לאחר שנוצרו.

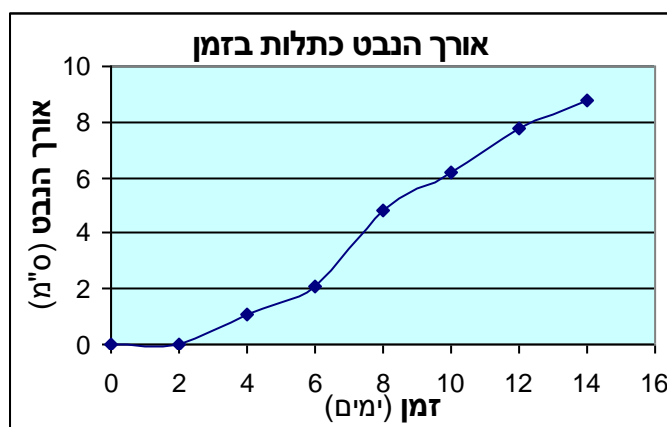
הבה נבחן כל שאלת חקר בנפרד. האם מי הכביסה משפיעים במידה שווה של שני המשתנים שבדקנו?

מדידת אחוז הנביטה

מה היה אחוז הזרעים שנבטו בריכוזים השונים של מי הכביסה? זו שאלה ביולוגית, אך גם הזדמנות לתרגל עם התלמידים את האופן בו מחושבים אחוזים.

מדידת קצב גידול הנבטים

מומלץ לבקש מהתלמידים לבצע לפחות סדרה אחת של מדידות יומיות (או אחת ליומיים) של מספר נבטים מסומנים, לשרטט גרף, ולבחון האם קצב הגידול שלהם הוא לינארי. מגרפים אלה נוכל להפיק את השיפוע, שהוא קצב ההתארכות היומי. למשל, בגרף המוצג כאן גדל הנבט ב-9 ס"מ תוך 14 ימים, ומכאן שקצב הגידול הממוצע שלו היה 0.64 ס"מ ליום.



גרף זה יוכל לעזור לנו שפר את מיומנות ההבנה של גרפים, ונוכל לשאול: מה היה אורך הנבט ביום ה-11? (אינטרפולציה, מציאת ערך שלא נמדד, הנמצא בתוך תחום המדידות), או:

מה יהיה אורך הנבט כעבור 16 יום? (אקסטרפולציה, חיזוי ערך הנמצא מחוץ לתחום המדידה). הדגישו את

הסכנה בחיזוי לעתיד. האם הנבט יגדל לנצח? אם לא - איך לדעתכם יראה הגרף?

בקשו מהתלמידים לשרטט על אותה מערכת צירים את הגרפים השונים שעשויים להתקבל במהלך 16 הימים הבאים: יתכנו שלושה תרחישים:

- א. העקומה תמשיך לעלות באותו שיפוע (המשך גידול באותו הקצב),
- ב. העקומה תמשיך לעלות בשיפוע הולך וקטן (קצב הגידול מתמתן),
- ג. העקומה תמשך בשיפוע 0, מקבילה לציר ה-X (גרף רוויה, כלומר הנבט מפסיק להתארך).

כדי לדון בתוצאות יש לתאר אותן. תיאור מילולי של התוצאות הוא מיומנות בפני עצמה. בקשו מהתלמידים לתאר באופן מילולי את תוצאות הניסוי שלהם.

רק לאחר שסיימו התלמידים את הניסוי שלהם, הקרינו בפניהם את הדף הבא:

דף הקרנה 4

השפעת מי כביסה על נביטת זרעי חיטה וקצב התארכותם

תוצאות ניסוי לדוגמה:

אחוז הנביטה וגובה הנבטים בתמיסות אבקת כביסה בריכוזים שונים						
תמיסת מקור	1:5	1:25	1:125	1:625	ביקורת (מי ברז)	ריכוז: המשתנה
2/30=7%	12/30=40%	28/30=93%	28/30=93%	28/30=93%	28/30=93%	אחוז הנביטה
0.1	0.4	2.0	2.8	3.8	4.0	גובה ממוצע (מ"ס)



תמיסת המקור (ראו הוראות הכנה בסוף הניסוי) בניסוי זה הייתה בריכוז של 1 גרם אבקת כביסה ל-40 מ"ל מי ברז (זהו בערך הריכוז של מי הסבון הנפלטים ממכונת הכביסה). היא נמהלה בסדרת מהולים של 1:5 עד ריכוז של 1:625 (1:5, 1:25, 1:125 ו-1:625). תמיסות מי הכביסה בריכוזים השונים נמזגו למצע הצלחות המתאימות עד רווייה בהתאמה, ועל המצע הרטוב בכל צלחת הונחו 30 זרעי חיטה שהושרו במי ברז משך הלילה. אחת ליומיים או שלושה נבדקה מידת רטיבות המצע ותמיסה הוספה לפי הצורך כדי לשמור על מצע רטוב משך כל זמן הניסוי. בניסוי שבתמונה נעשה שימוש באבקת הכביסה "TIDE". ניתן להשתמש באבקות כביסה אחרות, וסביר שהתוצאות תהיינה דומות באופיין.

דיון - משימת בַר-המצווה של ילדי הקיבוץ

הגענו אל השאלה המרכזית שעמדה בפני תלמידי כיתת אלומה בקבוץ נווה חיטה והיא: האם ניתן להשתמש במי הכביסה לגידול חיטה? האם מי הכביסה השפיעו על אחוז הנביטה? קצב ההתארכות של הנבטים שנבטו? האם נמצא אפקט דיפרנציאלי (שונה) של מי הכביסה על שני תהליכים אלה?

בניסוי זה גילינו שתמיסת מי הכביסה משפיעה על שני המשתנים הנמדדים – על אחוז הנביטה ועל גובה הנבטים. ההשפעה הולכת ויורדת עם המיהול. במיהול של 1:625 ההשפעה על שני המשתנים זניחה ואולי אף לא קיימת.

מה המסקנה מניסויים אלה? האם ניתן למחזר את מי הכביסה?

התשובה מורכבת: בוודאי שלא ניתן להשתמש במי הכביסה כפי שהם נפלטים ממכונות הכביסה (בריכוז השווה לריכוז תמיסת המקור בניסוי), אך ניתן למהול אותם במי ההשקיה כך שריכוזם יהיה נמוך מ-1:625. האם זה כדאי? האם מיהול כל כך גבוה יתרום לחסכון משמעותי במי השקיה? זו גם שאלה טכנית שהתשובה עליה תלויה במקור המים להשקיה, ההוצאות הכרוכות באיסוף מי הכביסה ועוד. גם בתחום איכות הסביבה מתעוררת שאלה: האם להצטברות סבון עלולות להיות השלכות מזיקות על פוריות הקרקע?

ניסוי זה מדגים באופן בולט את האבחנה בין תוצאות למסקנות. התוצאות ברורות. המסקנות העולות מהן מורכבות הרבה יותר.

מבחינת התלמידים חשיבות הניסוי היא בכך שהוא מדגים כיצד יכולות תוצאות של ניסוי מדעי להוות את הבסיס העובדתי והאובייקטיבי לדין רחב יותר בעל השלכות כלכליות ואקולוגיות. בדיון כזה יש מקום לא רק לשיקולים מדעיים טהורים, אלא לשיקולים נוספים ומורכבים. התמונה הרחבה המצטיירת מניסוי זה היא ששימור הסביבה הוא נושא מורכב יותר מאשר סימאות חלולות כמו; "הבה נמחזר מים". הדיון במסקנות העולות מן הניסויים יטפח הסתכלות בוגרת ומציאותית על נושא מורכב זה.

הדגישו גם את ההיבטים האקולוגיים של ניסויים אלה. הדגישו כי חיטה אינה מושקית בדרך כלל, אך עדיין ניתן ונכון היה לשאול את השאלה האם תנובת החיטה יכולה לעלות אם תושקה במי הכביסה, היורדים בדרך כלל לטמיון? גם אם התברר שהפתרון אינו מתאים לגדול חיטה, הרי שלגיטימי לשער שמי הכביסה יכולים לשמש להשקיית צמחים אחרים כמו הדשאים, הפרחים והכותנה בקיבוץ, כך שניסוי זה הוא בעל השלכות אקולוגיות וחינוכיות רחבות, והניסוי שערכנו עם זרעי החיטה יכול לשמש עבורנו כמודל לחקירת ניצול יעיל של מים גם ללא קשר ליישום המעשי של פעילות זו.

אם הצלחנו להדגים לתלמידים כיצד יכול המדע לשרת את החברה וגם להרחיב את השקפת עולמם, הרי זה הישג מבורך.

סיכום

נושא הנביטה נלמד ברמות שונות משך כל שנות בית-הספר היסודי וחטיבת הביניים. אנו בחרנו להציג אותנו כאן לא רק כדי ללמוד על תהליך הנביטה, אלא כדוגמה מובהקת לניסויים פשוטים, זולים ואמינים היכולים להוות מצע דידקטי מעולה לחינוך לחשיבה מדעית נכונה, העברת האחריות מן המורה אל התלמידים ויצירת תחושת מסוגלות.

אל תחמיצו הזדמנות זו!

ציוד וכלים

דף משימה 1

(לכל צוות)

- ◆ זכוכית מגדלת
- ◆ צלחות חד-פעמיות (ללא הגבלה)
- ◆ צמר גפן (ללא הגבלה)
- ◆ 25-30 זרעי חיטה לכל צלחת ניסוי (אפשר להשיג זרעים בחנויות למוצרים חקלאיים או בחנויות טבע)
- ◆ סרגל
- ◆ סכין לחיתוך הגרגר

דף משימה 2

(ציוד לכיתה)

- להכנת תמיסת מי כביסה (הוראות בהמשך):
- ◆ 200 גרם אבקת כביסה Tide (או אחרת)
- ◆ מאזניים לשקילת אבקת הכביסה (דיוק של גרם)

ציוד לכל צוות

- ◆ צלחות חד-פעמיות (ללא הגבלה)
- ◆ צמר גפן (ללא הגבלה)
- ◆ 25-30 זרעי חיטה לכל צלחת ניסוי
- ◆ מנורה
- ◆ 400 מ"ל של תמיסת מקור של מי כביסה
- ◆ 5 כוסות כימיות של 400 מ"ל (עבור מיהול אבקת הכביסה)
- ◆ משורה של 250 מ"ל
- ◆ פיפטה (או מקל זכוכית) לבחישת התמיסות
- ◆ 4 בקבוקי משקה ריקים (עם פקק) של 0.5 ליטר (לשמירת ריכוזי התמיסות המהולות)

הכנת מי הכביסה

הכנת תמיסת המקור

בניסוי זה נבדקה אבקת הכביסה Tide. סביר שהתוצאות תהיינה דומות גם עם אבקות מסוגים שונים, אך יש לבדוק זאת קודם לפעילות.

ריכוז המקור של האבקה הוא 1 גרם ל-40 מ"ל מי ברז². כל צוות זקוק ל-400 מ"ל של תמיסת מקור. עבור 5 צוותים יש להמיס 50 גרם של אבקת הכביסה בתוך שני ליטר (2,000 מ"ל) של מי ברז (אם מספר הצוותים גדול יותר יש להכין נפח גדול יותר של תמיסת מקור). התמיסה טולטלה משך מספר דקות. חלק מהאבקה לא הומס, ולכן נלקח רק הנוזל העליון, ועל הפוס הכימית נרשם "תמיסת המקור" וממנה נמהלו יתר הריכוזים. התמיסה נשמרה בחדר בתוך בקבוקי משקה ריקים של 1.5 ליטר (אין צורך לקרר).

מיהול מי הכביסה

כל צוות יקבל מן המורה 400 מ"ל של תמיסת מקור, ואותה יש למהול במהולים סדרתיים של 1:5. לכל צלחת המונבטת עם מי כביסה בריכוז כלשהו יש להכין 250 מ"ל לערך של תמיסה – 150 מ"ל לערך להרטבת המצע היבש עם תחילת ההנבטה, ו-40-30 מ"ל תוספת אחת ל-4-2 ימים כנדרש, כדי לשמור על המצע לח כל משך הניסוי.

מיהולים סדרתיים של 1:5: כדי למהול את תמיסת המקור בסדרה של מיהולים של 1:5 יש לערבב בכוס כימית ריקה 60 מ"ל של תמיסת המקור ו-240 מ"ל של מי ברז ולבחוש היטב. כדי למהול שוב לריכוז של 1:25 יש לערבב בכוס כימית ריקה נוספת 60 מ"ל של המיהול 1:5 עם 240 מ"ל מי ברז, לבחוש היטב, וכך הלאה, עד לריכוז הנמוך הרצוי. ניתן לשמור את המיהולים בבקבוקי משקה ריקים של 0.5 ליטר, ולרשום את דרגת המיהול על כל אחד מהם (1:5, 1:25, 1:125 וכך הלאה).

² אפשר לאסוף מי כביסה ממכונת הכביסה עצמה, אך לא ניתן לאסוף באופן מדויק את אותו הריכוז בכל פעם, ולכן מומלץ למהול משקל מדוד של אבקת כביסה נתונה, שתבטיח את הדירות התוצאות.