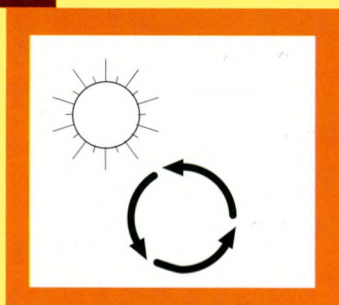
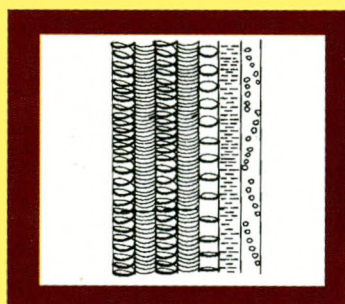
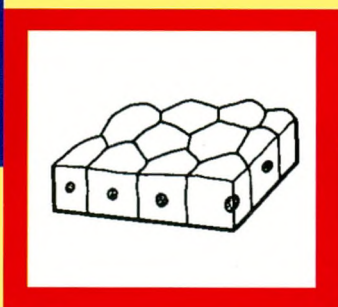


אוגדן ניסויים בביולוגיה

אורה הירש
שרה ורטהימר



המרכז להוראת המדעים,
האוניברסיטה העברית בירושלים



מהדורה ניסויית, תשנ"ז – 1997

ייעוץ מדעי ודידקטי: ד"ר רות אמיר

המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים

ייעוץ דידקטי: ברוריה אגרסט

מפמ"ר ביולוגיה

ייעוץ מדעי: ד"ר האני עתאמנה (בנושא חדירות קרום התא)

המכון למדעי החיים, האוניברסיטה העברית בירושלים

יורם זלצר (בנושא הכימיה)

המחלקה לכימיה אי אורגנית, האוניברסיטה העברית בירושלים

עריכת הלשון: חיה אלחייני

איורים: יעקב שמיר

סדר מחשב ועימוד: רחל שמיר

יוצא לאור ביוזמתו ובפיקוחו של המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט, מיסודם של משרד החינוך התרבות והספורט, האוניברסיטה העברית בירושלים ומכון וייצמן למדע, רחובות.

© כל הזכויות שמורות

המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים

תשנ"ז—1997

מבוא

ניסויי מעבדה הינם אמצעי חשוב ויעיל להשגת שתיים מהמטרות של הוראת הביולוגיה: האחת – הבנת מהות המדע ודרכי עבודתם של חוקרים; והאחרת – פיתוח גישה רציונלית [1]*.

ביצוע ניסויים במעבדה מְזַמֵּן אפשרויות להקניית מיומנויות חקר ושיטות עבודה. פרט לכך תורמים הניסויים ממד התנסותי – חווייתי ללמידה, מגבירים הניעה (מוטיבציה) וממחישים תופעות שונות. השגת מטרות אלו אפשרית על ידי ניסויים מטיפוסים שונים. תמיר [2] הציע למינים לפי מרכיב החקר שבהם: ניסוי מאשר, ניסוי מגלה וניסוי חוקר. בטבלה שלהלן מפורטים חלקו של המורה וחלקו של התלמיד בעת ביצוע ניסויים מטיפוסים שונים.

טיפוסי ניסויי מעבדה (עובד על פי תמיר)

מ – מורה ת – תלמיד

ניסוי חוקר	טיפוסים של ניסויים מגלים			ניסוי מאשר	הטיפוס
	טיפוס ג	טיפוס ב	טיפוס א		מרכיב הניסוי
ת	מ	מ	מ	מ	ניסוח הבעיה
ת	ת	מ	מ	מ	העלאת השערות
ת	ת	ת	מ	מ	תכנון מערך הניסוי
ת	ת	ת	ת	ת	ביצוע הניסוי ואיסוף נתונים
ת	ת	ת	ת	מ	הסקת מסקנות

טיפוסי הניסויים נבדלים זה מזה בסוג המטלות הנדרשות מהתלמיד. המורה יכול לבחור מהם בטיפוס המתאים לנושא הלימוד, לסוג התלמידים ולמטרות שהוא מעוניין להשיג.

בניסוי מאשר התלמיד יודע מהן התוצאות הצפויות. לכאורה, תפקידו של התלמיד מצומצם ביותר אך ערכו של הניסוי בכך שהוא מאפשר התנסות בשיטות עבודה ומדידה והמחשת תהליכים ביולוגיים. יתר על כן, ניתוח מרכיבים של ניסוי מאשר מהווה אמצעי חשוב לפיתוח מיומנויות חקר.

* הספרה בסוגריים מרובעים מציינת אפניה (רפרנס) של פריט ברשימה הביבליוגרפית

בניסוי מגלה התלמיד אינו יודע מהן התוצאות הצפויות. טיפוסים שונים של ניסוי מגלה נבדלים זה מזה במידת העצמאות הנדרשת מהתלמיד – החל מטיפוס א, שבו התלמיד רק מסיק מסקנות ועד טיפוס ג שבו הוא מציע השערות ומתכנן מערך ניסוי.

הניסיון שרוכש התלמיד בטיפוסים שונים של ניסוי מגלה, מסייע לו בעת ביצוע **ניסוי חוקר** שבו הוא אחראי לכל שלבי הניסוי, החל מניסוח הבעיה וכלה בהסקת מסקנות. ניסויים חוקרים מאפשרים התנסות בדרכי חשיבה ועבודה הדומות לאלו של המדען ולכן ראוי לשלבם ברצף ההוראה.

בקובץ זה כלולים ניסויים מכל הטיפוסים הנ"ל. הניסויים לא מווינו לפי הקטגוריות שבטבלה, שכן אפשר להפוך ניסוי חוקר לניסוי מגלה או מאשר על ידי שינוי חלק ממרכיביו. גישות שונות לגבי תפקידם של ניסויי מעבדה ודרך שילובם בהוראה נסקרו במאמרו של דרייפוס, [3] 1995.

מקורות לניסויים בקובץ

אחדים מהניסויים שבקובץ עובדו על פי ספרי לימוד שונים ועל פי רעיונות שהציעו מורים. ניסויים אחרים עובדו על פי חלק מן הבעיות בבחינות הבגרות במעבדה אשר חוברו בידי צוות הביולוגיה במרכז להוראת המדעים בירושלים [4, 5].

בדרך כלל, הניסויים מבחינות הבגרות משמשים את המורים להשגת מטרות ההוראה במעבדה [6] וכן לתמיכה בנושאי הלימוד [7, 8]. יש לזכור כי בתכנון ניסויים אלה, המתקיימים בעת בחינת הבגרות בו זמנית בכל בתי הספר בארץ, התחשבו באילוצים מעשיים ועיוניים כאחד. אחדים מהאילוצים בתחום המעשי הם:

- זמן מוגבל לכל ניסוי
 - מדידת התוצאות בפרק זמן מוקצב
 - קשיים בהשגה בו זמנית של חומר חי עבור הנבחנים בכל הארץ
 - הימנעות משימוש במערכות ניסוי מורכבות העלולות להקשות על התלמיד בביצוע הניסוי בעת הבחינה
 - הימנעות משימוש בציוד יקר ומתוחכם.
- אחדים מהאילוצים בתחום העיוני הם:
- מתכונת ניסוי קבועה על פי דגם "מעבדה חוקרת"
 - מספר השאלות בבחינה מוגבל
 - דרגת הקושי של השאלות צריכה להיות דומה בבעיות השונות
 - השאלות חייבות להתבסס על תשתית ידע המשותפת לכל התלמידים מבלי שיהיה יתרון לתלמיד שלמד נושא זה או אחר.

אילוצים אלה, מעשיים ועיוניים כאחד, מיוחדים לבחינה אך אינם קשורים לדרך ההוראה במעבדה, לכן ראוי שלא ישפיעו עליה. לפיכך נערכו שינויים במתכונת הקבועה של הניסויים שהופיעו בבחינות הבגרות, והוספו ניסויים מסוגים שונים.

הקניית מיומנויות לעבודה במעבדה

בכיתה י תלמידים עדיין אינם בקיאים במיומנויות החקר. הם גם אינם מכירים את רוב שיטות העבודה, הכלים והחומרים הנדרשים לביצוע ניסוי.

לפיכך מוצע להקנות את מיומנויות החקר בהדרגה במהלך ביצוע ניסויים פשוטים כדוגמת אלו המוצעים לתלמידי כיתות י, יא/3 י"ל, וכן כמודגם בתרגילים שנכתבו על ידי פרידלר, י, תמיר, פי [9]. בקובץ נכללו גם תרגילי מעבדה המאפשרים הכרת מקצת שיטות המדידה וזיהוי חומרים



שיסומנו בסמל [10]

ניסויים אלה אינם מטיפוס הניסוי החוקר, אך הידע שיירכש תוך ביצועם יקל על התלמידים להבין את מערך הניסוי המורכב וכן ינוצל על ידם לתכנון ניסויים.

מבנה הקובץ

הניסויים בקובץ זה מסווגים על פי הנושא המרכזי שבו הם עוסקים. כל ניסוי בקובץ עוסק גם בעניינים האלה:

1. שילוב הניסוי במהלך ההוראה
2. הידע הקודם הנדרש
3. התאמת הניסוי לרמת התלמידים
4. משך הזמן הדרוש לביצוע הניסוי
5. הערות למורה
6. כלים וחומרים

1. שילוב ניסויי מעבדה במהלך ההוראה

ניסויי מעבדה מהווים חלק בלתי נפרד מהוראת הביולוגיה. בחירת הניסויים ושילובם במהלך ההוראה עשוי לסייע להבנתם של נושאי הלימוד. שיקול אחר בבחירת הניסויים, פרט לזה הקשור לתחום התוכן, הוא על פי המיומנויות שאותן הם מטפחים. רצוי שבכל ניסוי המורה יבדוק את מיומנויות החקר והדיווח שבהם מתנסה התלמיד, וכן יסקור את השיטות, את הכלים ואת המכשירים שבניסוי. בדיקה זו תסייע לו לוודא כי רצף הניסויים שביצעו תלמידיו מתאים למטרות תכנית הלימודים בביולוגיה (ראה נספח 3).

הניסויים סווגו על פי הנושא המרכזי שבו הם עוסקים, אם כי ניתן לשבח ניסויים רבים גם בנושאים אחרים. בנספח 1 נערכו הניסויים שבקובץ על פי מידת התאמתם לנושאים השונים. נושאי תכנית הלימודים (נושאי הבחירה המצומצמים), מסומנים בקובץ זה בצבעים שונים. (ראה תוכן עניינים, עמוד 3).

2. הידע הקודם הנדרש

התלמיד זקוק לתשתית ידע שעל פיה יוכל להציע השערות הניתנות לבדיקה ולהסביר כראוי את תוצאות ניסויי [11].

ההקדמה לכל ניסוי מתייחסת גם לידע הקודם הנדרש להבנתו. ראוי לנהוג גמישות בהמלצה זו, שכן ניתן להרחיב את הידע הנדרש מהתלמיד לפני ביצוע הניסוי. במקרים אחרים יהיה די גם בהכרה מצומצמת של הידע הנדרש.

3. התאמת הניסוי לרמת התלמידים

הניסויים חולקו לשתי קבוצות: ניסויים לכיתות י, יא, יב/3 י"ל וניסויים לכיתות יא, יב/5 י"ל. ההבדל העיקרוני בין שתי הקבוצות הללו הוא במיומנויות החקר, במיומנויות הדיווח והעיבוד הכמותי של הנתונים, הנדרשות מהתלמיד, כמפורט בתכנית הלימודים [6, 7]. ניתן להתאים ניסוי שתוכנן לתלמידי 5 י"ל לניסוי המתאים לתלמידי 3 י"ל על ידי השמטת שאלות מסוימות. כמו כן, אם יוסיפו לניסוי שיועד ל-3 י"ל שאלות בדבר תכנון ניסוי או עיבוד תוצאות ברמה הנדרשת, הוא יתאים ל-5 י"ל*.

4. משך הזמן הדרוש לביצוע הניסוי

הזמן הנדרש לכל ניסוי צוין בראשיתו. לעתים יספיק הזמן גם לביצוע הניסוי וגם לדיון בתוצאותיו, אך לעתים יידרש שיעור נוסף לדיון. הזמן הנדרש לניסוי תלוי גם בידע הקודם של התלמידים ובמידת שליטתם במיומנויות החקר השונות.

5. הערות למורה

חלק מההערות מתייחסות לקשיים טכניים הצפויים במהלך הניסוי ולקשיי התלמיד בהבנתו. בהערות המתייחסות לסעיפי הניסוי או לשאלות המופיעות בדפים לתלמיד, מופיע בסוגריים מספר הסעיף או השאלה.

ההערות למורה כוללות גם הצעות לעריכת שינויים במערך הניסוי, הצעות לשילוב ניסויים ברצף ההוראה והמלצות לקריאה נוספת. הערות אלו יסומנו בסמל



* השווה ניסוי 5, תהליכים וחילוף חומרים בתא, המתאים לתלמידי 5 י"ל לניסוי 4, בנושא זה, המתאים לתלמידי 3 י"ל.

כשהזכרה בקובץ כמות של חומר, נעשה שימוש במונחים "משקל", "לשקול" (השגורים בשפת היום יום). מורים ותלמידים שהמונח "מסה" שגור בפייהם יתאימו את ההוראות במקומות הנדרשים.

6. כלים וחומרים

בנספח 2, מופיעה רשימה שבה מפורטות הוראות להכנת תמיסות וכן פריטי ציוד הנדרשים לעבודה במיקרוסקופ ולהכנת אמבט מים.

פרטים נוספים ראה במדריך למעבדה בביולוגיה [12].

ברשימות הכלים הנדרשים לביצוע הניסויים נכללות פיפטות. במקרים שבהם מועבר חומר מסוכן באמצעות פיפטה, ניתנה המלצה להשתמש בפרופיפטה (התקן פשוט המאפשר שימוש בפיפטה ללא צורך בשאיבה על ידי הפה). השימוש בפרופיפטה רצוי מטעמי היגיינה ובטיחות. כדאי להסב את תשומת ליבו של התלמיד לסיכון במהלך העבודה שולבו בהוראות סימנים אלה:

— זהירות, חומר מסוכן (חומצה, בסיס)



— זהירות (סכין חד, כלים חמים).



תודות

גבי ברוריה אגרסט, המפמ"ר לביולוגיה, יזמה את כתיבת הקובץ הזה. במהלך גיבושו וכתבתו נעזרנו רבות בעצותיה ובהערותיה המועילות ועל כך תודתנו לה. תודה מיוחדת לדי"ר רות אמיר, לדי"ר יהודית עתידיה, לגבי דידה פרנקל ולדי"ר אבטיל דרמון שקראו, העירו והאירו את עינינו בעניינים רבים.

לצוות הוראת המדעים על שאפשר לנו את השימוש בניסויים שפותחו על ידו במשך השנים; לצוות המעבדה בבית הספר לחינוך באוניברסיטת בר-אילן שסייע לנו רבות בביצוע הניסויים; לכל המנחים לביולוגיה, המורים והלברנטים שנעזרנו בהם בשלבים השונים של גיבוש החומר, חן-חן לכולם.

אנו מקוות שאל הכרת התודה שלנו יצטרפו גם התלמידים הרבים שימצאו בקובץ זה כלי לימוד וכלי שרת ראוי.

ביבליוגרפיה

1. **תכנית הלימודים בביולוגיה**, (תשנ"א), עמ' 2–3.
2. תמיר, פי (1974), מקומה של המעבדה בהוראת מדעי הטבע, **מספרות החינוך**, קובץ ח, הוצאת בית הספר לחינוך של האוניברסיטה העברית, ירושלים, עמ' 7–19.
3. דרייפוס, עי (1995), אסטרטגיות ההולמות הוראה במעבדה – גלים בהוראת המדעים, **עלון למורי הביולוגיה** 142, הוצאת המרכז הישראלי להוראת המדעים, ירושלים, עמ' 6–22.
4. **לקט בעיות למעבדה החוקרת בביולוגיה**, א–ז, הוצאת המרכז הישראלי להוראת המדעים, ירושלים.
5. **לקט בעיות מעבדה**, א–ב, (רמה 3 י"ל) הוצאת המרכז הישראלי להוראת המדעים, ירושלים.
6. **תכנית הלימודים בביולוגיה** (תשנ"א), עמ' 64–68.
7. **תכנית הלימודים בביולוגיה** (תשנ"א), עמ' 35–63.
8. חוזר הפיקוח על הביולוגיה (תשנ"ז/2), נספח 2.
9. פרידלר, יי, תמיר, פי (1983), **מושגי יסוד במחקר מדעי**, הוצאת המרכז הישראלי להוראת המדעים, ירושלים.
10. בן פורת, גי (1989), **עלון למורי הביולוגיה**, 119, הוצאת המרכז הישראלי להוראת המדעים, ירושלים, עמ' 27–39.
11. גאנייה, ר"מ (1978), תנאי הלמידה הנדרשים למחקר, **מספרות החינוך**, קובץ ט, הוצאת בית הספר לחינוך של האוניברסיטה העברית, ירושלים, עמ' 81–91.
12. בן-גל, אי (עורכת) (1978), **מדריך למעבדה בביולוגיה למורים וללברנטים**, הוצאת המרכז הישראלי להוראת המדעים, ירושלים.

מיומנויות חקר בניסוי מעבדה

עמוד

16 א. הצגת בעיה

16 ב. ניסוח השערה

18 ג. תכנון ניסוי

הגדרת המשתנים

בקרה

1. בקרה ללא המשתנה הבלתי תלוי

2. בקרה פנימית

3. בקרה לשינוי צבע או עכירות

4. בקרות אחרות

תנאים קבועים

חזרות

22 ד. ביצוע הניסוי ודיווח על תוצאותיו

ביצוע ניסויים במעבדה

דיווח על תוצאות ניסוי

1. דיווח על בדיקה מיקרוסקופית

2. דיווח על תצפית

3. דיווח על ניסוי

טבלה

הצגה גרפית

דיווח באמצעות מחשב

עיבוד סטטיסטי של נתונים

27 ה. פירוש הממצאים והסקת מסקנות

28 ו. אישוש השערה או הפרכתה

מיומנויות חקר בניסויי מעבדה

ידע והבנה של מושגי חקר ויישומם בעת עריכת ניסויים שונים במעבדת בית הספר, יסייעו להבנת מהות המדע, להבנת השיטות המדעיות ולהבנת דרכי עבודתם של חוקרים. ניסויים חוקרים שבהם מתנסה תלמיד דומים במתכונתם למחקרים מדעיים, אך מצומצמים מהם בהיקפם.

במחקר החוקר בודק תופעה שנתגלתה בעקבות תצפית שביצע בטבע או במעבדה או כהמשך לניסוי, אשר הוא או עמיתיו החוקרים ביצעו בעבר, ואילו התלמיד בודק תופעה יזומה מראש בהנחיית המורה ובמסגרת תוכנית הלימודים.

להלן תיאור חלקי של מחקר אשר ביצע המדען האיטלקי לסארו ספלנציאני לפני כ-200 שנים.*

חצפית בחופנה	ספלנציאני שם לב שהעטלפים מתעופפים בבטחה במערות חשוכות.
בעיה	תצפית זו עוררה שאלות רבות, והחוקר ביקש להן מענה. אחת השאלות הייתה: כיצד מוצאים העטלפים את דרכם בחושך?
השערה	החוקר הציע מספר הסברים אפשריים כתשובה לשאלה זו. אחד מהם הוא, שעטלפים נעזרים בעיניהם, כדי למצוא את דרכם בחושך.
משחנה בלתי חלוי	כדי לבדוק את ההסבר, החוקר תכנן ניסוי. בניסוי נבדק הקשר שבין הראייה של העטלפים ובין יכולתם להתעופף בחושך בבטחה.
משחנה חלוי	בתכנון הניסוי היה על החוקר להחליט כיצד ישנה את ראיית העטלפים. ספלנציאני בחר לכסות את ראשי העטלפים שבקבוצת הניסוי בכיסויים אטומים לאור, ועל ידי כך נמנע מהם השימוש בעיניהם.
אופן שינוי משחנה בלתי חלוי	

* נכתב על פי: גוטליב, י' (תשל"ו), **סודם של העטלפים**. פרקי קריאה ושיחה, 15, הוצאת ת"ל.

אופן מדידת משחנה תלוי

בקרה

גורמים קבועים

חזרות

חוצאות

מסקנה (האמנם...?)

בידוד משחנה בלתי תלוי

הגורם המושפע נבדק או נמדד במהלך הניסוי. ספלנציאני החליט לספור את מספר הפעמים שעטלף מתנגש בקיר ביחידת זמן נתונה. את התוצאות שהתקבלו בקבוצת הניסוי השווה החוקר לתוצאות בקבוצה אחרת – קבוצה של עטלפים, אשר לא בוצע בה כל טיפול, כלומר, עיניהם לא כוסו. בתכנון הניסוי על החוקר להחליט באילו תנאים לקיימו. הוא קבע שכל התנאים, פרט למשתנה הבלתי תלוי אשר אותו משנים בניסוי, יהיו קבועים. לדוגמה: הוא קבע מראש את ממדי החדר החשוך בו בוצע הניסוי, את מין העטלפים הנבדקים, את גילם ואת מספרם. כדי לוודא כי התוצאה שקיבל בניסוי אינה מקרית, החוקר החליט לבצע את הניסוי עם מספר מסוים של פרטים ולחזור עליו כמה פעמים. בניסוי החוקר מצא שעטלפים אשר ראשם כוסה הרבו להיתקל בקירות בשעת מעופם, בעוד העטלפים אשר ראשם לא כוסה התעופפו בבטחה. לאחר ביצוע הניסוי, החוקר סיכם את ממצאיו, ניתח ופירש אותם ועל פיהם ניסח מסקנה. מסקנתו הייתה כי העטלפים נעזרים בעיניהם כדי למצוא דרכם בחשיכה.

לכאורה, תוצאות הניסוי תמכו בהסבר שהציע ספלנציאני. אף על פי כן החליט ספלנציאני לבצע ניסוי נוסף, שבו לא יכוסו ראשיהם של העטלפים אלא רק עיניהם. יתרונו של ניסוי זה בכך שהחוקר מנע את השימוש בעיניים בלבד מבלי להשפיע על איברי חישה אחרים (אף, אוזניים).

מסקנה
הכרכת ההשערה
השערה אחרת
אישוש ההשערה

בעזרת דיסקיות אטומות לאור כיסה ספלנציאני את עיני העטלפים. תוצאות ניסוי זה היו שהעטלפים אשר עיניהם כוסו התעופפו בבטחה. אם כך, מסקנתו הייתה כי העטלפים **אינם** נעזרים בעיניהם כדי למצוא את דרכם בחשיכה. בהמשך המחקר ביצע ספלנציאני ניסויים נוספים לבדיקת השערות אחרות. אחת ההשערות שאושרה בניסויים אלה הייתה שחוש השמע, אשר באוזני העטלפים, מסייע להם להתעופף בבטחה.

התיאור שהוצג לעיל הדגים את מרכיבי המחקר המדעי, שהם:

- א. תצפית בתופעה ותיאורה, זיהוי בעיה והגדרתה
- ב. מתן הסבר אפשרי לבעיה – ניסוח השערה
- ג. תכנון ניסוי לבדיקת ההשערה (כולל שיטות וחומרים) מרכיבי הניסוי: משתנה בלתי תלוי – והאופן בו משנים אותו משתנה תלוי – ואופן מדידתו
בקרה
גורמים קבועים
חזרות
- ד. ביצוע הניסוי ודיווח על תוצאותיו
- ה. פירוש הממצאים והסקת מסקנות
- ו. אישוש השערה או הפרכתה

הצעות להצגת תכנון ניסוי וניתוחו לאחר הביצוע, ראה עמודים 29–33. הדיון והדוגמאות המפורטות להלן נועדו לשפר את הבנת תהליך החקר בו מתנסים תלמידים.*

* ראה גם: בארי, טי, ברנהולץ, ח' (1996), **איך עורכים מחקר מדעי**, המרכז להוראת המדעים, ירושלים.

א. הצגת בעיה

החוקר מנסח בעיה (שאלה) הנובעת מתצפית או ניסוי אשר הוא או עמיתיו ביצעו בעבר. בבית הספר בדרך כלל המורה הוא היוזם את התצפית או את הניסוי המוקדם בנושא כלשהו.

לדוגמה: (על פי בעיה 3, בחינת בגרות תשנ"ג)

ידוע כי בתהליכים מטבוליים שונים, המתקיימים בתאים רבים, נוצרים מי חמצן, אשר נוכחותם בתאים עלולה להיות רעילה. נמצא שמי חמצן מפורקים בתאים למים ולחמצן. כאשר בתהליך פירוק זה משתחררת לתמיסה שבקרבת התאים כמות חמצן גדולה, אפשר להבחין בהופעת קצף או בועות בתמיסה.

בהתבסס על מידע זה, מתבקש התלמיד לבצע תצפית בתופעה לפי הוראות. תוצאות התצפית נתונות בטבלה שלהלן:

השינויים ברקמת תפוח אדמה בהוספת מים ומי חמצן לאחר 5 דקות

החומר שטופל	בהוספת מים	בהוספת מי חמצן
קליפת תפוח אדמה	אין שינוי	קצף בשולי הקליפה
רקמה לבנה של תפוח אדמה	אין שינוי	קצף רב

בהתאם לתוצאות התצפית ולידע המוקדם, אפשר להציג בעיות המבוססות על מספר הנחות. הנחה היא קביעה אשר לא תיבדק בניסוי המתוכנן, אך ניתן לבדוק אותה בניסוי אחר.

אחת ההנחות בניסוי זה היא שהקצף נוצר כתוצאה מפליטת גז חמצן.

דוגמה לבעיה (שאלה):

מה גורם לפירוק מי החמצן בנוכחות רקמת תפוח האדמה?

ב. ניסוח השערה

לבעיה ייתכנו בדרך כלל מספר הסברים אפשריים, המבוססים על ידע ביולוגי קודם, ובניסוי ייבדק אחד מהם. על פי ההסבר שנבחר, תנוסח השערה. נהוג לנסח השערה במשפט חיובי קצר.

לדוגמה:

בתאי תפוח אדמה מצוי אנזים המזרז פירוק מי חמצן.

על פי השערה זו, אפשר לתכנן ניסוי **איכותי** או **כמותי**.

על סמך ההשערה אפשר לנסח **השערת עבודה (דזוקציה)**.
בניסוח השערת העבודה כלולה הפעולה אותה נבצע בניסוי וכן התוצאה הצפויה.

בניסוי **איכותי** מתארים את המשתנה התלוי (איננו מודדים אותו).

דוגמה להשערת עבודה אפשרית לניסוי איכותי:

אם בתאי תפוח אדמה מצוי אנזים המזרז פירוק מי חמצן, אזי אם נהרוס את האנזים על ידי הרתחת רקמת תפוח אדמה, לא יתפרקו מי חמצן ולא ייווצר קצף. ברקמה טרייה של תפוח אדמה, מי חמצן יפורקו וייווצר קצף.

בניסוי **כמותי** מודדים את המשתנה התלוי.

דוגמה להשערת עבודה אפשרית לניסוי כמותי:

אם בתאי תפוח אדמה מצוי אנזים המזרז פירוק מי חמצן, אזי ככל שנגדיל את ריכוז מיצוי רקמת תפוח האדמה בטווח ריכוזים מסוים, כך יגדל קצב תהליך הפירוק.

השערות העבודה מבוססות על ההנחה, שהכנת המיצוי אינה פוגעת בפעילות האנזים שבתאי תפוח האדמה.

ההשערה נבדקת בניסוי. על פי תוצאות הניסוי אפשר לאשש את ההשערה או לדחותה.

הניסוי אשר מרכיביו מתוארים להלן, הוא ניסוי כמותי.

ג. תכנון ניסוי

בהתאם להשערה שנוסחה, אפשר לתכנן ניסוי. בניסוי נבדקת השפעת גורם כלשהו על תהליך או תופעה.

ייתכן שהתהליך הנבדק בניסוי מושפע ממספר גורמים. אך בניסוי מסוים יש לבדוק את השפעתו של גורם אחד בלבד – זהו עקרון בידוד המשתנים. עיקרון זה נשמר גם בניסוי רב גורמי*.

□ הגדרת המשתנים

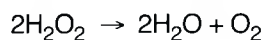
הגורם המושפע בניסוי הוא **המשתנה התלוי**** במהלך ביצוע הניסוי עוקב החוקר אחר שינוי בגורם זה. הגורם, אשר על פי ההשערה משפיע על המשתנה התלוי, נקרא **משתנה בלתי תלוי**. את הגורם הזה משנה החוקר מבצע הניסוי. בתכנון הניסוי נקפיד על כך שכל שאר הגורמים העשויים להשפיע על המשתנה התלוי פרט למשתנה הבלתי תלוי, יישארו קבועים.

נדגים את המשתנים בניסוי אשר בו תיבדק השערת העבודה שהוזכרה לעיל:
אם אנזים גורם לפירוק מי חמצן, אזי ככל שנגדיל את ריכוז המיצי בתווך ריכוזים מסוים, כך יגדל קצב תהליך הפירוק.
המשתנה התלוי - קצב תהליך פירוק מי חמצן

מדידת המשתנה התלוי:

במקרים רבים אין אפשרות למדוד ישירות את התהליך. במקרים אלה ימדד גורם אחר המבטא את השינוי המתרחש בתהליך זה.

בדוגמה המתוארת מתבצע תהליך פירוק מי חמצן, המזורז על ידי האנזים קטלזה, כמפורט במשוואה:



* ניסוי רב גורמי – ניסוי הבודק בו זמנית מספר השערות.

למידע נוסף עיין ברנשטין, עי' (1991), **ביולוגיה חוקרת**, הוצאת עם עובד, תל אביב.

** יתכן שעל פי תוצאות הניסוי יתברר שאין קשר סיבתי בין המשתנים.

כאמור, המשתנה התלוי הוא קצב פירוק מי החמצן. תהליך זה ניתן למדוד במספר דרכים, ביניהן:

א. קצב הופעת התוצר - מדידת נפח החמצן הנפלט במערכת ניסוי סגורה בפרקי זמן קבועים.

ב. קצב היעלמות המגיב - בדיקה כמותית של H_2O_2 שלא התפרקו במערכת הניסוי בפרקי זמן קבועים. בדיקה זו נעשית על ידי טיטרציה עם $KMnO_4$ בסביבה חומצית.

דרך המדידה שנבחרה אינה משפיעה על אישוש ההשערה או על הפרכתה. על כן בניסוח ההשערה והמשתנה התלוי נציין את התופעה או התהליך הנמדד אשר ייבדק בניסוי ולא את השיטה שבאמצעותה ייבדק אותו תהליך.

המשתנה הבלתי תלוי - ריכוז האנזים.

שינוי המשתנה הבלתי תלוי:

נכין מיצוי תפוח אדמה המכיל, על פי השערתינו, אנזים המפרק מי חמצן. את ריכוז המיצוי נשנה על ידי הכנת סדרת מיהולים של מיצוי תפוח אדמה.

במקרים שבהם יש למתכנן הניסוי ידע מוקדם לגבי הטווח המתאים לשינוי המשתנה הבלתי תלוי, מוטב להגדיר טווח זה.

אם אין למתכנן הניסוי ידע לגבי הטווח, יבדוק טווח ריכוזים גדול. שכן בדיקה בטווח ריכוזים מצומצם, בו ריכוז האנזים כבר אינו גורם מגביל, עלולה להביאו למסקנות מוטעות.

□ בקרה

כדי שמערך הניסוי יהיה שלם ככל האפשר, הניסוי חייב לכלול בקרה. הבקרה תשמש להשוואה, ובעזרתה מוודא החוקר כי התהליך הנמדד בניסוי **אכן** מושפע מהמשתנה הבלתי תלוי. כלומר, הבקרה תאפשר לשלול הסבריים חלופיים הנוגעים לתהליך הנמדד.

1. בקרה ללא הגורם המשפיע:

הבקרה היא בדרך כלל טיפול הזהה לשאר הטיפולים בניסוי אך הושמט בו המשתנה הבלתי תלוי.

בניסוי לבדיקת השערת העבודה שלעיל (אם אנזים גורם לפירוק מי חמצן, אזי ככל שנגדיל את ריכוז האנזים המפרק, בטווח ריכוזים מסוים, כך יגדל קצב תהליך הפירוק), בקרה

אפשרית היא טיפול המכיל את כל מרכיבי הניסוי **ללא** מיצוי תפוח אדמה (עיין בטבלה עמוד 23, מבחנה 1).

חשיבותה של בקרה זו בכך שהיא מאפשרת שלילת הסבר חלופי. הסבר חלופי אפשרי הוא: במהלך הניסוי, קיים רק פירוק עצמוני (ספונטני) של H_2O_2 שאינו קשור לפעילות האנזים שבמיצוי.

2. בקרה פנימית – השוואתית:

מערך ניסוי שבו הגורם המשפיע משתנה בהדרגה, וכולל השוואה בין טיפולים שונים, הוא מערך שבו מתקיימת בקרה פנימית.

בניסוי שתואר לעיל כל טיפול בריכוז אנזים מסוים מהווה בקרה לטיפול אחר, בריכוז אנזים אחר (עיין בטבלה עמוד 23, מבחנות 2-5).

בניסויים שבהם המשתנה הבלתי תלוי הוא טמפרטורה או דרגת pH אין אפשרות לבצע בקרה ללא המשתנה הבלתי תלוי, שכן לא ניתן לבצע ניסוי "ללא טמפרטורה" או "ללא pH". במקרים אלה הבקרה הפנימית כלולה במערך הניסוי, כלומר כל טיפול – ב-pH או טמפרטורה מסוימת – מהווה בקרה לטיפול אחר.

3. בקרה לשינוי צבע או עכירות:

בניסויים מסוימים משמש השינוי בצבע או בעכירות כמדד לתהליך אשר אותו בודקים. כלומר, שינוי זה הוא דרך מדידת המשתנה התלוי.

כדי להעריך את מידת השינוי בצבע יש להשוות את צבע התמיסות במבחנות הניסוי לצבען של מבחנות ייחוס (מבחנות בלנק) – מבחנות אשר בהן לא חל שינוי צבע. (כאשר משתמשים בספקטרופוטומטר או קולורימטר, מבחנות ייחוס הן הכרחיות לצורך קריאת התוצאות).

4. בקרות אחרות:

בנוסף לבקרות שזכרו לעיל, ניתן לכלול בניסוי עוד בקרות, שבהן משמיטים את אחד הגורמים הקבועים.

בקרות מסוג זה בודקות אם שיטת המדידה אכן בודקת את מה שנועדה לבדוק.

בניסוי שהוצע לעיל הנחנו שהקצף נוצר כתוצאה מפליטת גז חמצן. לכן לא נבדוק בניסוי זה, אם הגז הנפלט הוא אמנם חמצן. עם זאת ייתכן שבמיצוי תפוח אדמה נפלט גם גז (חמצן או אחר) אשר אינו קשור לתהליך פירוק מי חמצן. לכן, נוסיף בקרה שבה מיצוי תפוח אדמה ללא H_2O_2 , וגם בטיפול זה נמדוד את נפח הגז הנפלט (עיין בטבלה עמוד 23, מבחנה 6).

במעבדת בית ספר לא נדרש מהתלמיד להציע בקורות מסוג זה, אך נדרש ממנו להבין את תפקידן.

□ שמירת תנאים קבועים

כל הגורמים, המהווים חלק מהניסוי, חייבים להיות זהים פרט למשתנה הבלתי תלוי. בתכנון הניסוי יש להקפיד על שמירת תנאים קבועים אשר נוגעים למערך אותו ניסוי. כאשר משתמשים בחומר חי, יש להקפיד במידת האפשר על אחידותו בכל הטיפולים שבניסוי.

בניסויים המתוכננים לבדיקת השערות העבודה שבסעיף ב, יישמרו כקבועים גורמים אשר ידוע כי הם משפיעים על פעילות אנזים: נפח מי החמצן וריכוזם, נפח כולל של הריאקציה, הטמפרטורה, דרגת ה-pH שבה מתבצע התהליך ומשך זמן הפירוק בכל טיפול וטיפול.

□ חזרות

ככל שהניסוי מבוצע פעמים רבות יותר (כמובן, תוך שמירה על תנאים זהים), מהימנותן של התוצאות גדולה יותר.

בניסוי כמותי חזרות מאפשרות חישוב ערכים ממוצעים של תוצאות מדידת המשתנה התלוי וסטטית תקן. מובהקות ההבדלים בין הממוצעים ניתנת לבדיקה במבחן סטטיסטי מתאים.

הערה*:

באופן עקרוני יש להבדיל בין:

א. חזרה על כל טיפול בניסוי מספר פעמים. כלומר כל טיפול בניסוי יבוצע כמה פעמים – באותה נקודת זמן.

ב. חזרה על הניסוי כולו – בנקודת זמן אחרת.

חזרות אלה מצמצמות את האפשרויות לטעות מקרית.

ראוי להסביר לתלמיד כי במחקר מדעי רצוי להקפיד על שני אופני החזרה הללו (בתנאי שהניסוי מאפשר זאת). אך בתכנון הניסוי על ידי התלמיד נסתפק בהתייחסות לחזרות ללא הבחנה זו. אם כל התלמידים ביצעו את הניסוי בתנאים זהים, אפשר להתייחס אל תוצאותיהם כאל חזרות באותה נקודת זמן, ולהכין טבלת ריכוז נתונים כיתתית. את הערכים שיתקבלו ניתן לעבד סטטיסטית.

* למידע נוסף עיין ברנשטיין, עי' (1991), **ביולוגיה חוקרת**, הוצאת עם עובד, תל אביב, עמ' 59.

ד. ביצוע הניסוי ודיווח על תוצאותיו

□ ביצוע ניסויים במעבדה

במעבדה התלמיד רוכש יכולת להשתמש בכלים ובמכשירים, ולומד להשתמש בשיטות מדידה וזיהוי. רשימה מפורטת של מיומנויות אלה מצויה בתכנית הלימודים בביוטכנולוגיה תשנ"א (לכיתות י-יב).

□ דיווח על תוצאות ניסוי

במהלך ביצוע הסתכלות מיקרוסקופית, תצפית או ניסוי על התלמיד לדווח במדויק על עבודתו. הדיווח יכול להיות **איכותי** או **כמותי**.
דיווח איכותי: במלל (למשל, תיאור התנהגות או מראה) או בציור הכולל פרטים (למשל, דיווח על הסתכלות מיקרוסקופית).
דיווח כמותי: למשל, דיווח על מדידות שבוצעו בניסוי. במקרה זה רצוי לארגן את הממצאים ולהציגם בטבלה.
הדיווח יאפשר הסקת מסקנות והתייחסות ביקורתית לתוצאות הניסוי ולמגבלותיו.

1. דיווח על בדיקה מיקרוסקופית – ציור ורישום פרטים:

לאחר הכנת מתקן להסתכלות במיקרוסקופ, כיוון המיקרוסקופ ואיתור הפרטים הנדרשים וכשהם בהגדלה שבה הם נראים בבירור, יש לצייר חלק אופייני של המתקן.
ציור זה הוא חלק מדיווח מדעי ולכן עליו להיות מדויק. בדיווח יש לתאר גם את תנאי הניסוי. למשל, מקור הדגימה שנבדקה, שם האורגניזם, סוג הרקמה ועוד, לפיכך יש להקפיד על:

- רישום כותרת לציור.
- ציון ההגדלה בה התבונן התלמיד בשעת הציור.
- ציור בעיפרון, כדי לאפשר תיקון לפי הצורך.
- יחסי גודל מתאימים בין הפריטים שזוהו במהלך ההסתכלות המיקרוסקופית.
- ציור גדול דיו, תוך סימון ורישום הפרטים החשובים בציור.
- אם ניכר צבע אופייני לפריט כלשהו יש לציינו.

2. דיווח על תצפית:

דיווח על תצפית יכול להיות איכותי או כמותי. אם התצפית מתבצעת לאורך זמן יש לדווח על המצב בזמן 0 (בראשית הצפייה) וכן במהלך הצפייה.
דוגמה לדיווח איכותי על תצפית, ראה סעיף א עמוד 16.

אם בחרת להשתמש בסימונים, למשל (+) או (-) או בסימונים אחרים, יש לצרף מקרא המפרש כל סימן.

3. דיווח על ניסוי:

○ טבלה

תלמיד המבצע ניסוי על פי הוראות נתונות אינו מזהה לעתים את מרכיבי הניסוי. המשתנים והגורמים הקבועים. אחת הסיבות לכך היא שתשומת לבו מופנית בעיקר לקריאת הוראות העבודה ולביצוען. לפיכך, רצוי להכין מראש טבלה מסכמת, מלווה בכותרת מתאימה, שתכלול את מערך הניסוי ואת תוצאותיו. עריכת טבלה כזו מסייעת לתלמיד להבין את מערך הניסוי, שכן היא מציגה את כל המשתנים שבניסוי ואת הגורמים הקבועים.

בניסוי נבדק קצב פירוק מי החמצן על ידי ריכוזים שונים של מיצוי תפוח אדמה. אחת הדרכים למדידת המשתנה התלוי היא בדיקת כמות מי החמצן שנותרה במערכת הניסוי לאחר 10 דקות. על פי מספר הטיפות של $KMnO_4$ שנדרשו לטיטרציה אפשר לחשב את כמות מי החמצן.

קצב תהליך פירוק מי החמצן בריכוזים שונים של מיצוי תפוח אדמה *

מספר מבחנה	נפח מיצוי תפוח אדמה, במ"ל	נפח מים, במ"ל	ריכוז מיצוי תפוח אדמה, ב-%	נפח H_2O_2 , בטיפות	מספר טיפות $KMnO_4$ שנדרשו לטיטרציה של H_2O_2
1	-	5.0	0	2	17
2	1.0	4.0	20	2	8
3	2.5	2.5	50	2	5
4	3.0	2.0	60	2	5
5	4.0	1.0	80	2	5
6	5.0	-	100	-	1

* קצב תהליך פירוק מי חמצן נמדד על פי מספר טיפות $KMnO_4$ שנדרשו לטיטרציה של H_2O_2 שלא התפרקו במשך 10 דקות.

גורמים קבועים:

- משך הניסוי 10 דקות
- לאחר 10 דקות הוספו לכל מבחנה 2 טיפות של חומצה גופרתית
- הניסוי בוצע בטמפרטורת החדר.

ציון הגורמים הקבועים יכול להיכלל בעמודות הטבלה או בצמוד אליה. הרישום בכותרות העמודות שבטבלה כולל תיאור מילולי של הנתונים באותה עמודה וכן את היחידות בהן נמדד אותו נתון.

○ הצגה גרפית

כאשר תוצאות הניסוי הן כמותיות רצוי להציגן גם בדרך גרפית. הצגה זו מדגישה את אופן השתנות המשתנה התלוי במהלך הניסוי בהתאם לשינוי המשתנה הבלתי תלוי. לעתים ניתן לשרטט על גבי אותה מערכת צירים מספר עקומים (או דיאגרמות) ובדרך זו נוח להשוות בין כמה מערכות ניסוי. לכל הצגה גרפית יש לנסח כותרת אשר תבטא את הקשר בין המשתנים.

בחירת מערכת הצירים:

בציר X – הציר האופקי, נרשם המשתנה הבלתי תלוי (הגורם שאת השפעתו אנו בודקים).

בציר Y – הציר האנכי, נרשם המשתנה התלוי (התוצאה).

בכל אחד מהצירים יירשם שם המשתנה וכן היחידות שבהן נמדד.

חובה להקפיד על קנה מידה אחיד בעת סימון הערכים בכל אחד מהצירים, אם כי על פי רוב קנה המידה שונה בכל ציר.

יש לסמן בנקודות את הנתונים כפי שהם מופיעים בטבלה.

כאשר שני המשתנים בניסוי הם רציפים, כלומר בטווח מסוים יכולים לקבל כל ערך, ההצגה הגרפית המתאימה היא **עקום**.

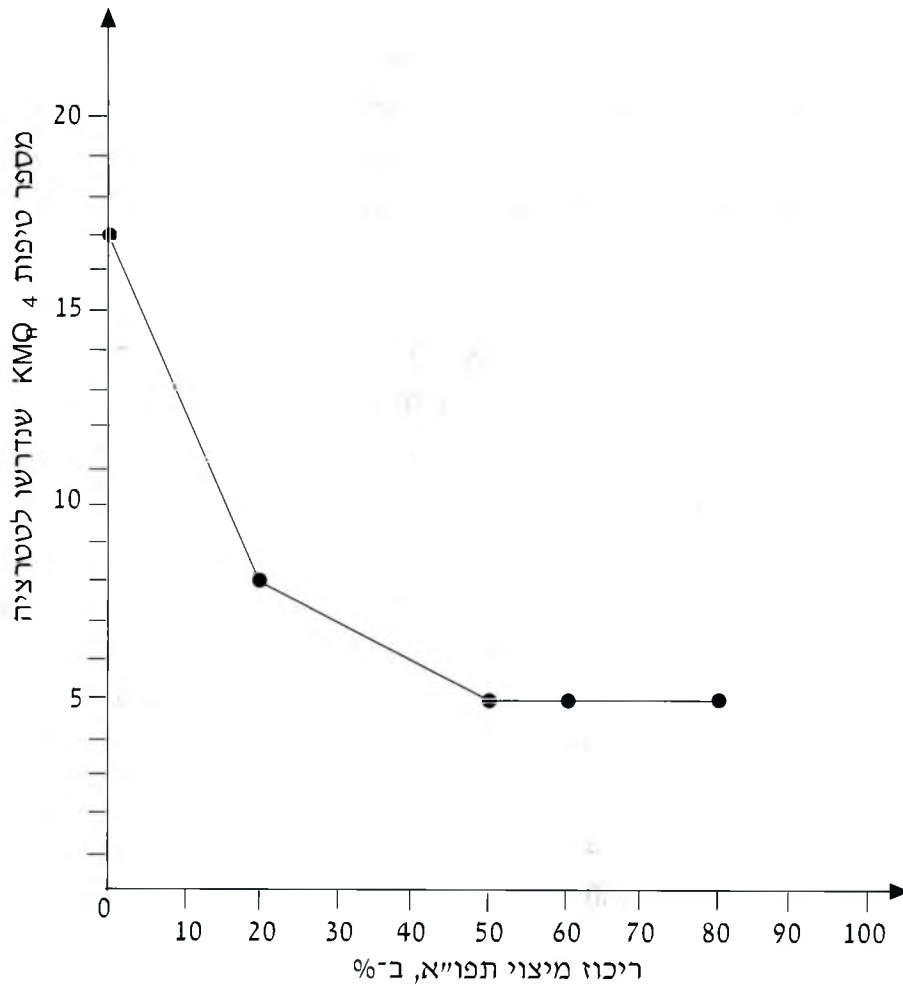
חיבור הנקודות לעקום היא פעולה של חיזוי תוצאות בטווח הנבדק של המשתנה הבלתי תלוי.

בניסוי נבדק קצב התהליך בריכוזים של 20% ו-50% ממיצוי תפוח אדמה. חיבור ערכי המשתנה התלוי שנמדד עבור ריכוזים אלה מהווה פעולת חיזוי לגבי הריכוזים שבין 20% ל-50%.

ייתכן כי כתוצאה מחיבור הנקודות המייצגות את תוצאות הניסוי יתקבל קו רצוף: ישר או עקום. אפשר שבשל קיומן של שגיאות מקריות בביצוע הניסוי, יתקבל כתוצאה מחיבור הנקודות קו שבור. במקרים אלה יש לשרטט את קו הביניים הרצוף הטוב ביותר העובר בין הנקודות.

דוגמה להצגה גרפית של הניסוי שתוצאותיו בטבלה בעמוד 23:

קצב תהליך פירוק מי חמצן בריכוזים שונים של מיצוי



בעזרת העקום ניתן לחזות ערכים שלא נבדקו בניסוי.

לא בדקנו בניסוי את כמות מי החמצן שנשארה במערכת כשריכוז מיצוי תפוא"א אדמה הוא 30%.

אפשר לקרוא מתוך הגרף כי במיצוי בריכוז כזה מספר הטיפות של $KMnO_4$ הדרוש להשלמת הטיטרציה הוא 7.

פעולת חיזוי זו מתבצעת בתחום הערכים שנבדקו בניסוי ונקראת **אינטרפולציה** (אינטר = בין, כלומר מציאת ערך בתוך תחום הבדיקה).

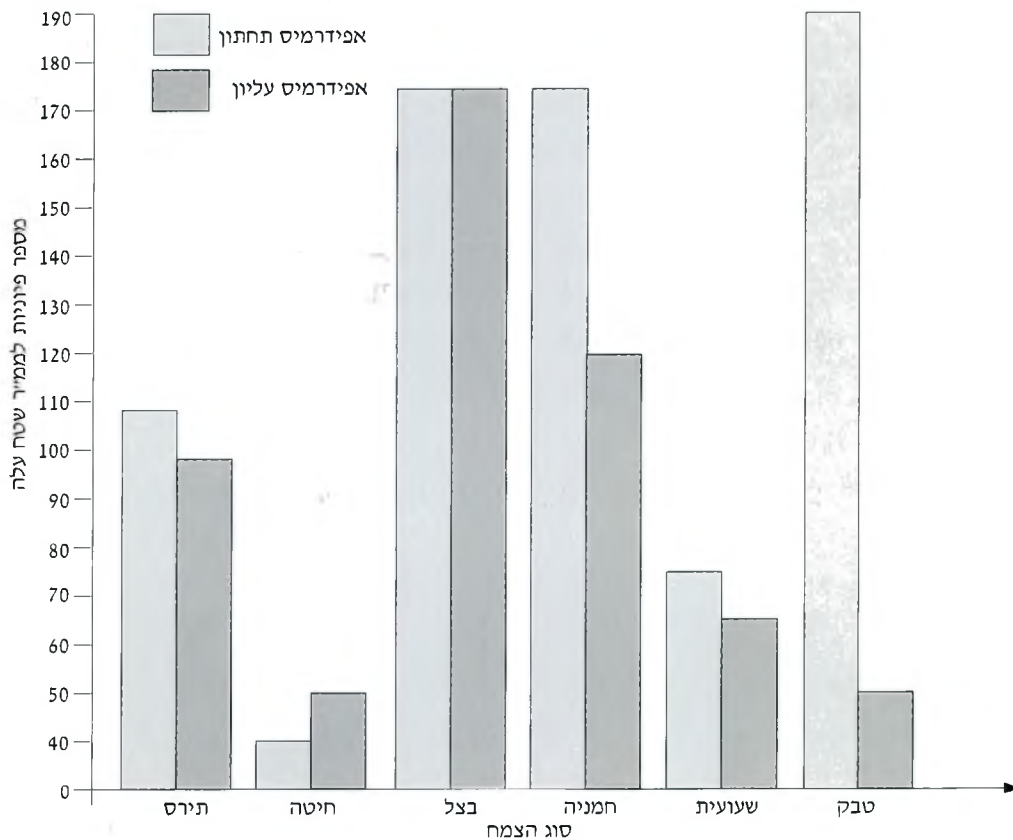
אפשר שנתעניין בכמות מי החמצן הצפויה להישאר במערכת הניסוי כאשר ריכוז המינרלי 90%, כלומר ריכוז שהוא מחוץ לטווח הריכוזים שנבדק בניסוי. פעולת חיזוי זו נקראת **אקסטרפולציה** (אקסטרה = חוץ, כלומר מציאת ערך מחוץ לתחום הבדיקה), והיא מתבצעת לפי מגמת העקום. במקרים אלה מומלץ להיזהר מהסקת מסקנות חפוזה, שכן בהחלט ייתכן כי מגמת העקום משתנה בתחום הערכים שהוא מחוץ לנבדק בניסוי.

כאשר אחד המשתנים בניסוי, או שניהם, אינם רציפים, ההצגה הגרפית המתאימה היא **דיאגרמת עמודות***. משתנה שאינו רציף – משתנה בדיד, הוא משתנה היכול לקבל רק ערכים מסוימים.

לדוגמה:

בניסוי, תוך הסתכלות מיקרוסקופית, נספרו מספר הפיוניות בממ"ר של אפידרמיס עליון ותחתון בצמחים שונים. סוג הצמח וצידי העלה הם משתנים בדידים לפיכך תוצאות ספירה זו יוצגו בדיאגרמת עמודות.

מספר פיוניות ליחידת שטח עלה בצמחים שונים**



* גם במקרים בהם המשתנה הבלתי תלוי רציף, אך אין די נתונים לשרטוט עקום, נעדיף שרטוט דיאגרמת עמודות.
** מתוך: אמיר, ר', **הוראת הפוטוסינתזה**, למורה, (1993) המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

שים לב, במקרים שהמשתנה הבלתי תלוי הוא בדיד, אין משמעות לאינטרפולציה או אקסטרפולציה.

○ דיווח באמצעות מחשב

להצגת תוצאות ניסוי בטבלאות ובגרפים אפשר להשתמש בגיליון אלקטרוני. בדרך זו ניתן לטפל בזמן קצר בנתונים רבים ואף למצוא ערכים מחושבים של המשתנים – כגון קצב תהליך*.

○ עיבוד סטטיסטי של נתונים

בהתאם לטיבם של הנתונים המתקבלים בניסוי, אפשר לערוך מבחן סטטיסטי מתאים, ולברר אם יש לקבל או לדחות את ההשערה הנבדקת בניסוי**.

ה. פירוש הממצאים והסקת מסקנות

לאחר ביצוע הניסוי ודיווח על תוצאותיו מומלץ לקיים דיון הכולל התייחסות ביקורתית למערך הניסוי, לשיטות העבודה ולתוצאות. בהתאם לתוצאות ניתן לנסח מסקנות. המסקנות מתייחסות רק להשערה שנבדקה בניסוי ולתוצאות שנתקבלו בו. חשוב להימנע מניסוח כוללני של מסקנות, שכן ניסוח כזה עלול לגרום לקביעות מוטעות.

הבעיה: מה גורם לפירוק מי חמצן בנוכחות רקמת תפוח אדמה ?

ההשערה: בתאי תפוח אדמה מצוי אנזים המזרז פירוק מי חמצן.

התוצאות: ככל שגדל ריכוז המיצוי בטווח שבין 0%-50%, כך גדל קצב פירוק מי חמצן, מעל לריכוז זה מסתמנת מגמת התייצבות בקצב הפירוק.

המסקנה: בתאי תפוח אדמה מצוי אנזים המזרז פירוק מי חמצן, שכן התוצאות שהתקבלו אופייניות לקשר שבין ריכוז אנזים (בכמות מצע מעטה) ובין קצב התהליך שאותו הוא מזרז.

* ראה: קלצ'קו, ש', מיכלסקי, ט', רוט, א' גיליון חי, הוצאת המרכז להוראת המדעים, אוניברסיטת בר-אילן.

** ראה: ברנשטיין, ע' (1991), **ביולוגיה חוקרת**, הוצאת עם עובד, תל אביב.

ו. אישוש השערה או הפרכתה

על סמך המסקנה ניתן לאשש או להפריך את ההשערה.
אם תוצאות הניסוי אינן מאפשרות אישוש או דחיית ההשערה, הניסוי לא תוכנן כהלכה, ויש לתכנן ניסוי אחר לבדיקת אותה השערה.
כיוון שאישוש ההשערה **אינו מהווה** הוכחה מוחלטת לנכונותה, רצוי לדון באפשרויות אחרות לביסוס ההשערה.

אחת הדרכים האפשריות היא בדיקת המשתנה התלוי בדרך מדידה שונה.

מדידת נפח החמצן הנפלט בריכוזים שונים של מיצוי תפוח אדמה.

דרך אחרת היא בחינת השערות עבודה אחרות.

אם אנזים בתאי תפוח אדמה הוא המשפיע על פירוק H_2O_2 , אז ככל שנעלה את הטמפרטורה עד לטווח מסוים, כך יגדל קצב הפירוק, ומעל טווח זה - קצב הפירוק יקטן.

בהמשך המחקר אפשר לבדוק בעיות אחרות הקשורות בתצפית (ראה עמוד 16).

מדוע לא מתפרקים מי חמצן בנוכחות **קליפת** תפוח אדמה (בניגוד לפירוקם בנוכחות רקמת תפוח אדמה)?

במהלך הדיון במיומנויות חקר נסקרו שלבי החקירה המדעית. דיון זה מאפשר להבין כיצד נוצר הידע המדעי.

פרופ' אהרון קציר במאמרו "יסודות החשיבה המדעית" * מצטט אחד מגדולי ההיסטוריונים של המדע: "...המדע איננו אוסף ידיעות אלא תהליך יצירת הידע. במקום שקיימות רק ידיעות ואין תהליך של יצירת הידע, שם אין מדע".

לדעתנו, הוראה המשלבת הקניית ידע וכן הבנה ויישום של מיומנויות חקר, היא הדרך להפגשת התלמיד עם תהליך יצירת הידע.

* קציר, א' (1988), יסודות דרכי החשיבה המדעית, **לדעת**, י"ח 6, מוסד ויצמן לפרסומים במדע הטבע והטכנולוגיה.