

מכון ויצמן למדע  
תוכנית ויצמן – רוטשילד

**הוראת נושא אימונודיאגנוסטיקה (שיטות המבוססות על סימון אנטיגנים  
ונוגדנים) בשיטת PBL: Problem Based Learning**

מגישה: אנה נוסקו-חזן

אוקטובר 2013

חשוון תשע"ד

## תוכן עניינים

3	מבוא
5	תיאור הפיתוח
5	הרציונל (מטרת הפיתוח):
7	ביצוע מעשי של למידה בשיטת PBL:
7	כתיבת "תסריט" של בעיה:
8	שלבים בביצוע משימת PBL ע"י התלמידים:
8	תפקיד המורה (המדריך):
8	תפקידי התלמידים בקבוצה:
9	הערכת תוצאות למידה בשיטת PBL:
9	חומרי למידה ופיתוח
9	אמצעים
10	מבנה מערך ההוראה:
10	אוכלוסיית היעד:
10	לוח זמנים מתכונן:
10	מבנה המערך:
13	תיאור הערכת הפיתוח
16	תוצאות
25	סיכום ודיון
27	Bibliography
28	נספחים
29	רשימת נספחים
30	נספח 1: תוכנית הלימודים בביוטכנולוגיה, מבנית אימונודיאגנוסטיקה.
31	נספח 3: מערך שיעור לאחר צפייה בסרט
32	נספח 4: תמלול קטעים מתוך "סיעור מוחין" בכיתה.
34	נספח 5: מצגות התלמידים
35	נספח 6: מחוון להערכת המצגות ע"י המורה.
35	מדדי איכות
38	נספח 7: שאלון ממוחשב שניתן לתלמידים לאחר צפייה במצגת.
40	נספח 8: תוצאות גולמיות של הערכת עמיתים לאחר הצגת מצגות בכיתה.
44	נספח 9: ראיונות עם התלמידים לאחר ביצוע פעילות.
47	נספח 10: מבחן

---

*"Science is facts; just as houses are made of stones, so is science made of facts; but a pile of stones is not a house, and a collection of facts is not necessarily science."*

*-Jules Henri Poincare*

*"Nothing has such power to broaden the mind as the ability to investigate systematically and truly all that comes under thy observation in life."*

*Marcus Aurelius*

*"Science should be taught as science is practiced at is best"*

*American Association for the Advancement of Science (1990)*

---

## **מבוא**

PBL (Problem based learning) – שיטת למידה המבוססת על הוראה תוך שימוש בבעיה. מקורות עליהם בנויה שיטה זו מעוגנים בלמידה משמעותית ופעילה של התלמיד, כמו למידה המבוססת על פרוייקטים וניסויים. למידה בשיטת PBL מקנה יכולות ומיומנויות הנדרשות לאדם בעולם שלנו היום. בשיטה זו תלמידים לומדים נושאים חדשים ע"י פתרון בעיות שונות, תוך הדגשת חשיבות הבניית הידע והקניית מיומנויות חקר ופתרון בעיות: בלמידה מסוג זה הלמידה מתרחשת בקבוצות, כאשר כל קבוצה מקבלת בעיה, ומחפשת פתרון מתאים. המקור לפתרון הוא מידע חדש, הנלמד ע"י הקבוצות. בתהליך זה יש מספר עקרונות חשובים המאפשרים ליצור תהליך למידה משמעותי, החל מזיהוי הבעיה וניתוחה, חיפוש נתונים חיוניים לפתרון הבעיה, העלאת השערות, הערכת הנכונות של ההשערות בהתאם למקורות הידע החדשים וחיפוש פתרון מתאים, עד לשיתוף של המידע בין משתתפי הלמידה והערכתו (Hmelo-Silver, 2004).

כיום ברור, כי הידע (ולמעשה, הבנה) מבוססים לא רק על מידע המורכב מעובדות, אלא גם קיים צורך בהפיכת מידע זה ל"שימושי" ("usable knowledge") על מנת לאפשר להשתמש במידע זה, ולא רק לזכור אותו. ניתן לעשות זאת ע"י שילוב של מערך המידע עם רעיונות מרכזיים, אירגון הידע, הבנה משמעותית והעמקה (Bransford, Brown, & Cocking, 2004).

על מנת להגיע להבנה משמעותית והעמקה וללמד את המיומנויות הנדרשות היום, יש להתייחס להקניית הידע בהתאם למספר עקרונות המקובלים כיום. הקניית ידע משמעותית יכולה להתבצע על בסיס של ידע קיים, ותוך שימוש בעולם המושגים האישי של התלמיד. פן נוסף שיש להתחשב בו הוא למידה פעילה.

הקניית ידע בלבד, ללא שימוש בו, לא תמיד מאפשרת לתלמיד לזהות, האם הבין את הנושא. על מנת לאפשר לתלמיד לזהות את ההבנה שלו, וכך להעמיקה, יש להקנות לו מיומנויות מתאימות של מטה-קוגניציה, ללמד את התלמיד לצפות מה תהיה התוצאה של תהליך הלמידה שלו, להעריך נכון את ההתקדמותו. כך התלמיד מעורב יותר במהלך הלמידה ובתהליכים המתרחשים אצלו ומתקיים תהליך אקטיבי של למידה (Bransford, Brown, & Cocking, 2004).

שיטת PBL החלה בבתי ספר לרפואה והותאמה לתלמידי רפואה, שהדגש העיקרי בלמידה שלהם הוסט מקליטה של כמות עצומה של ידע ללמידה עצמאית ויעילה, תוך פיתוח מיומנויות הדרושות למציאת פתרון לבעיות קיימות. תהליך דומה מתרחש גם בהוראת מדעים בבתי הספר, היות ומובן כי יש צורך בשינוי שיטת ההוראה על מנת להתאימה לשינויים בצרכי החברה, הדורשת מיומנויות של למידה עצמית וקליטה של ידע חדש (Allen & Tanner, 2003).

כך, למידה בבתי ספר לרפואה, שכללה באופן מקורי למידה פרונטלית מאסיבית וסטאז' רפואי, למעשה לא הכינה את הרופאים העתידיים לבעיות שבהם נתקלו במהלך עבודתם: כיצד להתמודד עם מקרים ספציפיים, בהם צריך ליישם את הידע התיאורטי. גם על דרישה זו ענתה שיטת PBL ונראה, כי שיטה זו איפשרה להקנות מיומנויות הנדרשות בעבודה העתידית של התלמידים (Albanese & Mitchell, 1993).

בשיטת PBL קיימים קשיים בהערכה מדויקת של תוצרי הלמידה, ועל אף הקשיים, שיטה זו זלגה לכל רמות ההוראה גם בבית ספר, במוסדות לחינוך גבוה בתחומי ידע שונים ומגוונים. עובדה זו מצביעה על ההתאמה הגבוהה של שיטת PBL להוראה ודרישות עכשוויות (Savery, 2006).

לפי סקירת ספרות המקיפה 20 שנות מחקר במוסדות אקדמיים להוראת רפואה, ללא ספק, יש ל-PBL מספר יתרונות משמעותיים: יחסית ללמידה רגילה, PBL מטפחת את חשיבת התלמידים, מהנה יותר ומאפשרת הגעה לתוצאות גבוהות יותר במבדקים מורכבים. יחד עם זאת, נראה כי בשיטת PBL יש ירידה ברמת התוצאות במדעים בסיסיים. התלמידים הלומדים ב-PBL משתמשים בנימוקים שאינם ישירים, אלא עקיפים, כאשר הידע הבסיסי שלהם חסר. כמו כן, ידוע כי שיטה זו איננה יעילה (איטית) בכיתות גדולות (Albanese & Mitchell, 1993). ניתן למנות את היתרונות של שיטת PBL על פני שיטות למידה מסורתיות:

- בניית קבוצות למידה קטנות ויצירת סביבת למידה משותפת. לימוד כזה, מעבר להעלאת ה-ZPD של התלמידים במהלך הלמידה, מפתח גם מיומנויות של שיתוף מידע ועבודה בקבוצתית.
- המידע הנלמד נלמד בקונטקסט משמעותי ומציאותי, ומתקבל חיבור בין הסיטואציה הקיימת לבין עקרונות ומושגים מדעיים, מה שמאפשר יישום יעיל יותר של המידע.
- הקניית מיומנויות למידה: חיפוש וזיהוי מידע המתאים לפתרון בעיה, אירגון המידע למערכת מושגים מתאימה והעברת מידע מאורגן בין חברי הקבוצה.

- הפיכת הלמידה למעניינת, ע"י הצגת תהליך של פתרון בעיה רלוונטית, בדרך חקר מדעית: התלמידים מרגישים קשורים לתהליך של "עשיית מדע".
- עבודה אינטרדיסציפלינרית: פתרון של בעיה ספציפית יכול לשתף תחומים רבים ושונים תוך חיפוש מידע ואירגונו. שיתוף זה מתאים גם לכך, שעקרונות מדעיים הם חוצי תחומים.

(Allen, 1996)

על מנת להצליח בהוראה בשיטת PBL יש צורך ליצור מערך נכון ומתאים של למידה. למרות שניתן לאמר, ש PBL זו שיטה עם הדרכה מינימלית, יותר נכון להגדירה כגישה עם הדרכה גמישה, שחייבת להיות מובנית ומתאימה למבנים הקוגניטיביים והתכנים הנלמדים. מעבר לכך, על מנת להתמודד עם בעיית העומס הקוגניטיבי, שעלולה להיווצר אצל התלמידים תוך כדי עבודה בפעילות זו, יש צורך לבנות קבוצות ברורות, שבהן לכל תלמיד יש תפקיד ספציפי. בנוסף, חייבת להיות הדרכה מתאימה של המורה, באופן המתאים לפעילות, כדי לאפשר הקלה של העומס הקוגניטיבי (Schmidt & Loyens, 2007).

## תיאור הפיתוח

### הרציונל (מטרת הפיתוח):

הוראת מדעים באופן מסורתי מבוססת על שיעורים פרונטליים, שעיקרם העברת תכני ידע לתלמידים. עקרונות ומושגים מוצגים בתחילת השיעור, ולאחר מכן ניתנות דוגמאות ספציפיות המתאימות לתוכן הנלמד, כאשר, לעיתים קרובות, דוגמאות אלה רחוקות מעולם הידע האישי של התלמיד. בלמידה כזו, מתבצע שינון של עובדות ופתרון בעיות לפי אלגוריתם מסויים כאשר לא תמיד מתקיימת למידה משמעותית והבניית ידע אצל התלמידים.

לפי נסיוני בהוראה בכיתה, אפילו כאשר התלמידים לומדים בדרך אחרת, המקובלת במערכת החינוך, דרך ביצוע ניסויים, התלמידים אינם חוקרים, אלא מבצעים ניסויי הוכחה שונים (לפי דרישת תוכנית הלימודים), ואינם מעמיקים בהבנת המתרחש. כאשר בשיטה זו מלמדים מקצועות מדעיים, התלמידים נשארים פאסיביים בלמידתם בכיתה, ואינם מפתחים דרכי חשיבה חדשות, שלא לדבר על מיומנויות המתאימות לצרכים עתידיים.

ניתן לראות זאת באופן מיוחד בנושאים השונים, הנלמדים במקצוע ביוטכנולוגיה: הנושאים המוצגים בתוכנית הלימודים רחוקים מאוד מעולמם האישי של התלמידים. התוכן הוא רב ומגוון, אך רווי בפרטים טכניים ושיטות שעיקרן הוא פרוטוקול עבודה. לרוב, ניסויים אינם מבוצעים בתחום העיוני של הוראת ביוטכנולוגיה בשל מורכבותם, עלות גבוהה של החומרים וצורך במיכשור ייחודי ויקר ערך.

במהלך הלימודים בתוכנית רוטשילד-וייצמן, הועלתה בפעמים רבות לדיון משמעות הלמידה האקטיבית. הלמידה האקטיבית, התורמת להבניית הידע באופן קונסטרוקטיביסטי, נראית כצורך חיוני ביותר ללמידה, בייחוד של נושאים מורכבים ומופשטים, הדורשים הבנה מעמיקה של החומר הנלמד. כמו כן, דובר רבות על עצמאותו של הלומד, היות וזהו צורך עיקרי להמשך לימודיו האקדמיים לאחר סיום הלימודים בבית הספר, ואף בחייו העתידיים. בגלל הגבלות הכיתה, הציוד ותוכנית הלימודים, שילוב עבודה אקטיבית של התלמידים הוא קשה בתנאי בית הספר. אך נראה, כי שימוש בשיטת PBL, המדמה מצבים אמיתיים בתחומי החקר השונים, ישלב באופן יעיל גם את הלמידה המשמעותית הדרושה בתנאים הקיימים של הכיתה.

על מנת לאפשר פעילות אקטיבית של התלמידים ולתת אפשרות לבניית חשיבה עצמאית, ניתן להשתמש בדרך של PBL - Problem Based Learning. בשיטה זו, התלמידים עובדים בקבוצות, ופותרים בעיות שנבנו באופן מיוחד על מנת ללמד תכנים ומיומנויות הנדרשים בעולמנו. מטרת התלמידים היא להגיע לפתרון מסויים. בתהליך זה התלמידים מזהים נושאים הקשורים לבעיה, אוספים מידע ומשתפים אותו, יוצרים מערך של מידע ומשתמשים בו באופן אקטיבי. כך משולבת הגישה הסוציו-תרבותית בהוראה, כאשר כל אחד מהתלמידים מביא את הרקע האישי שלו לפתרון הבעיה, עם הגישה הקונסטרוקטיביסטית, כאשר הבניית הידע מבוצעת באופן אקטיבי ע"י כל אחד מהתלמידים.

המטרה שיש בכוונתי להשיג ע"י שימוש בשיטת PBL הוא הכוונה של התלמידים לחקר עצמאי והקניית מיומנויות של פתרון בעיות. מיומנויות אלה, למרות חשיבותן, אינן מודגשות בתוכנית הלימודים. יחד עם זאת, הן הבסיס לאחת המטרות המרכזיות של תוכנית הלימודים: פיתוח דרך חשיבה מחקרית בהתמודדות עם סוגיות לימוד בין תחומיות. הוראה פרונטלית המקובלת היום איננה מאפשרת הקניית מיומנויות אלה, ויש צורך בשיטות אחרות על מנת להגיע למטרה הנדרשת.

ייתכן, ששימוש בPBL להוראת נושאים עיוניים של מקצוע הביוטכנולוגיה בכיתות יא' וכיתות יב' יכול גם לשפר את צורת הלמידה, להביא ללמידה משמעותית יותר, הבניית ידע תוך התייחסות לעולם המושגים של התלמיד ולשפר הקניית מיומנויות הנדרשות בעתיד.

הנושא שנבחר להוראה בשיטת PBL בכיתה הוא נושא במבנית אימונודיאגנוסטיקה, שיטות איבחון באצמעות נוגדנים מסומנים. נושא זה נבחר מסיבות רבות:

1. הנושאים במבנית אינם קרובים לעולמו האישי של התלמיד.
2. מדובר על מגוון שיטות, שעיקרן הוא הבנת הפרוטוקול וקריאת תוצאות, דבר, המוריד מרמת העניין של התלמידים, המוטיבציה שלהם ללמוד ומסרבל את הנושא.

3. הבנת רוב הנושאים כרוכה בהבנת הרמה המולקולארית, שיש בה קושי בפני עצמה בשל חוסר האינטואיטיביות שלה.

4. קיים עומס רב של שיטות שונות, שבאופן עקרוני הן דומות מאוד.

5. הלמידה בדרך כלל היא למידה פרונטאלית בלבד, ללא התנסות בפעילויות מעבדה (או פעילויות אחרות כלל – הגיוון הכמעט יחיד העומד לרשות המורה הוא שימוש באנימציות וסרטונים).

לפי הנראה בכיתות הלומדות את הנושא, שילוב גורמים אלה יוצר מצב, שבו מוטיבציה של התלמידים ללמוד יורדת, ורמת העניין שלהם בנושא נמוכה יחסית.

שיטת PBL מאפשרת לצאת מגבולות ה"למידה הרגילה" של נושא זה, ומתיימרת גם להביא את המידע לתלמידים תוך קישור לחייהם האישיים, במהלך למידה אקטיבית, המפעילה את התלמיד, ומאפשרת לו ליצור מבנים חשיבתיים חדשים. בנוסף, למידה בשיטת PBL היא שיטה המאפשרת פעילות קבוצתית, כאשר הקשר בין התלמידים מאפשר העלאה של ZPD של כל אחד מהם. משמעות נוספת, עקרונית מאוד, היא בהקניית מיומנויות שונות, הדרושות לתלמידים בהמשך דרכם – אם אקדמית או אחרת.

### **ביצוע מעשי של למידה בשיטת PBL:**

כתיבת "תסריט" של בעיה:

על מנת להצליח בהוראה בשיטת PBL, יש צורך ליצור "תסריט", מהלך עבודה, אשר יוביל את התלמידים לחיפוש נתונים משמעותי וללמידה בתחום המתאים. החשיבות היא במתן מטרות למידה מראש, על מנת למקד את הלמידה.

להלן מספר עקרונות לכתיבת "תסריט" הבעיה:

א. הבעיה צריכה להיות מותאמת לרמת הידע ולמיקומה ברצף ההוראה. כמו כן, היא צריכה להיות מותאמת לרמת ההבנה של התלמידים.

ב. התסריט חייב להיות מעניין, או רלוונטי לתלמידים.

ג. יש צורך להציג עקרונות מדעיים בסיסיים לאורך התסריט, על מנת להביא לאינטגרציה של המידע.

ד. חייבות להיות נקודות שיובילו לדיון פורה בקבוצה, וידרבנו את התלמידים לחפש הסברים לרעיונות המוצגים.

ה. הבעיה צריכה להיות פתוחה מספיק, על מנת לאפשר הרחבה של הדיון, ולא להביא לקטיעה מוקדמת שלו.

ו. התסריט צריך לאתגר את התלמידים לחפש מידע ממקורות שונים.

לדוגמא, בסיס של תסריט כזה יכול להיות מידע מעבדתי, תמונות, קטעי וידאו, קטעי עיתונות, מאמרים מדעיים ועוד (Wood, 2003).

שלבם בביצוע משימת PBL ע"י התלמידים:

- א. למצוא ולזהות מושגים שאינם מוכרים בתסריט. ליצור רשימה של מושגים שנשארו לא ברורים לאחר דיון בהם.
  - ב. לזהות את הבעיה (או בעיות) שיש לדון בהן. ייתכן ויהיו דעות שונות אצל התלמידים, יש להתייחס לכולן, וליצור רשימה של בעיות הדורשות דיון, שהקבוצה הסכימה עליהן.
  - ג. "סיעור מוחין" - דיון בבעיות, עם הסברים אפשריים לבעיה המבוססים על ידע קודם. התלמידים מתייחסים לידע המשותף שלהם, ומזהים הן יש חוסר ידע. יש לרשום את כל תוצאות הדיונים.
  - ד. אירגון של ידע משלב 2 ו-3 לפתרונות זמניים, אירגון ההסברים בהתאם.
  - ה. זיהוי של מטרות הלמידה מתוך הבעיה, והסכמת הקבוצה עליהן. כאן המורה דואג למיקוד המטרות של התלמידים.
  - ו. איסוף נתונים (כל אחד מהתלמידים בעצמו) בתחומים מתאימים לפי המטרות. כל התלמידים אוספים נתונים לכל המטרות שהוצגו.
  - ז. שיתוף מידע ע"י התלמידים, מציאת פתרון, והגעה לתוצאות. לאחר מכן בדיקה ע"י המורה.
- (Wood, 2003).

תפקיד המורה (המדריך):

בהוראה בשיטת PBL יש חשיבות רבה לתפקידו של המורה ותפקידיהם של התלמידים במהלך המשימה: המורה מדרבן את התלמידים לקחת תפקיד אקטיבי ואחראי בתהליך הלמידה. מתוך כך, יורד במידה מסוימת תפקידו של המורה כמוביל בכיתה. המורה מדריך, נותן מוטיבציה ודוגם את התהליכים המבוצעים ע"י התלמידים ואינו מנהל את הכיתה. שינוי זה דורש גמישות, יצירתיות וכוח המצאה מצד המורה. יחד עם זאת, יש צורך לשמור על סמכות בכיתה על מנת לאפשר אווירה לימודית נכונה בכיתה. המורה צריך ליצור קבוצות למידה בין 4 ל-7 תלמידים, הפועלות יחדיו לאורך כל הלמידה. הקבוצות הטרואגניות, ובתוך כל קבוצה נקבעים כללי פעילות ותפקידים בקבוצה (Allen, 1996). ניתן לומר, שהמורה כאן הוא משתתף בפעילות, בעל מיומנויות ליצור מודלים נכונים, ואינו מקור לידע. הדרכת התלמידים ע"י המורה יכולה להתבצע ע"י שאלת שאלות והכוונה (Hmelo-Silver, 2004). השאלות בעיקרן הן ברמה המטה-קוגניטיבית ונועדו למקד את התלמידים, ללמדם לצפות את תוצאות התהליך ולהעריך נכון את למידתם.

תפקידי התלמידים בקבוצה:

מוביל הקבוצה (ראש), רושם, מדווח, בודק אמינות, כאשר לכל תלמיד יש תפקיד, ובכל תפקיד יש משימות ברורות (Allen, 1996).

## הערכת תוצאות למידה בשיטת PBL:

הערכה שבוצעה ע"י חוקרים רבים על מנת לבדוק את יעילות שיטת הוראה זו הניבה תוצאות שונות. מצד אחד, תשובות לשאלות הערכה קלאסיות (מבחן רב-ברירתי) הראו תוצאות נמוכות יותר אצל התלמידים בשלמדו בשיטת PBL ויחד עם זאת, שאלות שהתייחסו לערכה בסיטואציה של פתרון בעיה קיימת, הראו תוצאות גבוהות יותר (Albanese & Mitchell, 1993). גם כאשר תלמידי PBL פתרו בעיות, על אף נטייה גבוהה יותר לטעויות שמקורן בידע, הם נתנו הסברים משמעותיים יותר, ויישמו את הידע באופן טוב יותר. לפי מחקרים אחרונים, ייתכן שמידת הטעויות המבוצעות במהלך הלמידה היא שלב עקרוני בלמידה על מנת לבנות את הידע הנכון והמתאים (Hmelo-Silver, 2004).

נמצא גם כי תלמידי PBL הצליחו לשער היפותזות נכונות יותר, והשתמשו בעקרונות מדעיים שונים לפתרון הבעיה. ממצאים אלה מצביעים על הבניית ידע משמעותית, שבסופו של דבר, מביאה לפתרון מקובל ואפשרי של הבעיה (Hmelo-Silver, 2004).

מחקרים דומים נעשו גם בתלמידי בית ספר, כאשר הערכתם בוצעה ע"י מבחני ידע ומיומנויות PBL לפני ואחרי הפעילות. בשניהם הייתה עלייה משמעותית לאחר ביצוע פעילות (Hmelo-Silver, 2004). בהתאם לממצאי החוקרים, יש לבצע הערכה של הידע המושגי וגם של המיומנויות החדשות שנלמדו ע"י התלמידים, מעבר לזיהוי טיבו של הפתרון המוצע ע"י התלמידים.

## חומרי למידה ופיתוח

### אמצעים

האמצעים העומדים לרשות המורה במהלך הוראה בשיטת PBL רחבים ביותר, כיוון שניתן להציג את הבעיה לתלמידים בדרכים מגוונות, ויש לכך חשיבות מבחינת קישור הבעיה לחיים האישיים.

בחרתי לעשות שני שיעורים מקדימים לתהליך הלמידה עצמו, על מנת להביא להורדה של העומס הקוגניטיבי הנוצר אצל התלמידים בחשיפה ראשונה לשיטת הוראה בלתי מוכרת.

### האמצעים בהם החלטתי להשתמש בהוראה של מבנית זו:

- סרט: כל סרט, המאפשר להבין מהי דרך פעולה של קבוצת מחקר/קבוצת פיתוח. כדאי שסרט זה יהיה מקושר לחומר הנלמד בנושא שלו, על מנת לא ליצור עומס קוגניטיבי לא רלוונטי על התלמיד.
- דיון כיתתי על הסרט הנצפה, על מנת להכיר את שיטת העבודה וליצור תרשים זרימה, המתאר שיטת עבודה זו. הדיון הכיתתי הוא אמצעי מצויין להבעת דעת הכיתה, המאפשר לתלמידים להביע את עצמם ולקשר את הסרט לחייהם. תוך כדי הדיון נקבעים גם התפקידים של כל אחד מחברי הקבוצה, מה שמאפשר להגביל ולארגן את תחומי האחריות של כל אחד מהם.
- מצגת של המורה: הצגה של נושא מחקרי, והצורך המחקרי: בחלק זה המורה נותן את ההכוונה הראשונית, ומציג את המושגים הבסיסיים שנדרשים לתלמיד על מנת להבין את הבעיה. היות

והחומר אינו פשוט, וגם לא נלמד קודם לכן, כדאי להדגיש מושגים בסיסיים ולהסבירם לתלמידים.

- תהליך עבודה בקבוצות, לפי שיטת PBL שבו שלבים של חיפוש מידע, שיתוף מידע, "Brainstorming" – סיעור מוחין, אירגון מידע והצגת המידע לחברים (בחרתי בהצגת מידע ע"י מצגת, כפי שמקובל באקדמיה).
- הוראת עמיתים והערכת עמיתים – הערכה, שהיא גם תהליך של למידה, כאשר התלמידים צופים במצגות של חברים לכיתה, מעלים שאלות ומעריכים את המצגת לפי קריטריונים שניתנו להם.

### **מבנה מערך ההוראה:**

אוכלוסיית היעד: תלמידי כיתה יא', מגמת ביוטכנולוגיה.

זוהי כיתה הומוגנית במידה רבה. רוב התלמידים הם בעלי יכולות קוגניטיביות גבוהות, עם אוריינטציה מובהקת למקצועות מדעיים (התלמידים לומדים שני מקצועות מוגברים בהיקף של 5 יח"ל – פיזיקה וביוטכנולוגיה). מוטיבציית הלמידה של התלמידים גבוהה, רוב תלמידי הכיתה משתפים פעולה עם המורה, נהנים לבצע פעילויות שאינן שגרתיות. חלק מהתלמידים לומדים קורסים שונים באקדמיה (אוניברסיטה פתוחה), ומרחיבים את הידע גם בתחום לימודי הביוטכנולוגיה מחוץ לכותלי בית הספר.

בכיתה יא' נלמדת תוכנית הלימודים העיונית של ביוטכנולוגיה, בהיקף של 3 ש"ש, ובמקביל התלמידים גם מבצעים עבודת חקר – ביוטק, בהיקף דומה של שעות.

לוח זמנים מתכונן: 8-10 שעות הוראה לפי הסדר הבא:

- א. צפייה מודרכת בסרט – 1 שעות
- ב. דיון כיתתי – 2 שעות
- ג. פעילות חיפוש מידע משותפת, מודרכת מורה – 2 שעות + עבודה בבית
- ד. שיתוף המידע בקבוצה ובחירת פתרון – 2 שעות
- ה. הצגת התוצרים לכיתה (הוראת עמיתים והערכת עמיתים) – כל קבוצה כ-30 דקות.

פעילות זו דורשת עבודה רבה של התלמידים בבית, לכן יש צורך להתחשב בעומס התלמידים בתקופה מסוימת (לדוגמא, תקות בגרויות, או טיולים/שנתיים/גדנ"ע). כמו כן, חשוב לבנות מספר קבוצות סביר בכיתה, על מנת לא ליצור עומס (גם מבחינת המידע וגם מבחינת זמני הצגה של התוצרים) על התלמידים. היות ובכיתה שלי 21 תלמידים, הם התפצלו ל-4 קבוצות (של 5 ו-6 תלמידים).

**מיקום בתוכנית הלימודים:** מערך זה ניתן להטמיע בכל אחת ממבניות ההוראה, והחלטתי להציבו במהלך הוראת נושא אימונודיאגנוסטיקה, לפני הוראת נושא שיטות אימונודיאגנוסטיות.

### **מבנה המערך:**

1. צפייה בפרק של סדרת דר' האוס (שיעור אחד):

הפרק נבחר היות והוא מתאים מאוד לנושא אימונודיאגנוסטיקה מבחינה תוכנית. המחלות המוזכרות במהלך הפרק מוכרות לתלמידים (מדברים עליהן במהלך הוראת פרק החיסון), המושגים העולים במהלך הצפייה ידועים גם כן (לפחות בחלקם). הפרק מעורר שאלות אתיות, אמפתיה ומעלה את רמת החשיבות של נושאים שנלמדו קודם לכן. כתוצאה, הוא מתאים – גם מבחינת יצירת קשר רגשי, וגם כיוון שאינו יוצר עומס קוגניטיבי נוסף (היות והמושגים והנושא מוכרים).

## **2. ניתוח של הצפיה במהלך השיעור (דיון כיתתי, שיעור אחד – עד שניים):**

נושא הפרק בסדרה וההתרחשויות בו אינם משמעותיים מבחינת רצף ההוראה. החשיבות העיקרית היא בניתוח של מהלך העבודה של צוות הדמויות בסדרה. מתואר בסדרה צוות לא אחיד, עם מנחה צוות, הפועל באופן לא שגרתי, לעיתים פוגע ואף מזיק. יחד עם זאת, בכל אחד מפרקי הסדרה הצוות מגיע לפתרון של בעיה המוצגת בתחילת הפרק. בסדרה מתוארים לרוב תהליכים של קבלת החלטות ודיונים המתקיימים בקבוצה זו, המביאים לפתרון הבעיה. תהליך קבלת החלטות זה ינותח ע"י התלמידים בכיתה, ויזוהו בו המרכיבים העיקריים, והדמויות העיקריות הפועלות בתהליך זה.

התלמידים יוצרים תרשים של תהליך העבודה, תוך התייחסות לתפקידים של כל אחת מהדמויות, לפעילויות שלה. החשיבות הרבה ביותר היא במציאת אלגוריתם של קבלת החלטה: הגדרת בעיה, מציאת מידע מתאים, מציאת פתרון, בדיקת התאמת הפתרון ובמקרה הצורך – חזרה שוב לשאלה הראשונית. הפרק הספציפי שנבחר מתאים מאוד, היות והפתרונות המוצעים במהלכו נמצאים כלא מתאימים, ודורשים חזרות על אותו התהליך. בנוסף לכך, התלמידים צריכים להבין את משמעות שיתוף המידע המתקיים במהלך ההתרחשויות בפרק.

התוצאות של הדיון הכיתתי משורטטות על הלוח בצורת תרשים זרימה מורחב.

- התלמידים מקבלים הדרכה על דרך הלמידה של PBL: פרק הסדרה שבה הם צפו נלקח כבסיס לדרך עבודה בקבוצות, וצורת העבודה המעגלית: הגדרת בעיה, חיפוש מידע, שיתוף, ביצוע בדיקות מתאימות, ובדיקת התאמת הפתרון לבעיה. נקבע גם מהם התפקידים החשובים בקבוצה.

- פיצול לקבוצות:

התלמידים בוחרים את הקבוצות שלהם, כאשר יש צורך להגדיר באופן ברור את תפקידו של כל אחד מהתלמידים. שלב זה ניתן לבצע באופן חופשי, ע"י מתן רשות לתלמידים לבחור את הקבוצה, או ליצור קבוצות תוך הדרכתו של המורה, כאשר המורה קובע מיהם התלמידים בקבוצה על פי השיקולים שלו.

## **3. קבלת הבעיה הקיימת, שיש לפתור אותה:**

הבעיה מוצגת ע"י המורה בעזרת מצגת.

הבעיה שהוצגה לתלמידים נלקחה ממחקרו של אלעד בשט, שאליו נחשפה קבוצת הביולוגיה בקורס "התנסויות מחקריות בחזית המדע". לפי הבעיה המוצגת, יש צורך לבחון את תכונות תאי הלב, למצוא את המדיום המתאים לגידולם ולזהות האם תאים אלה הם בעלי יכולת התכווצות ובעלי יכולת התרבות.

#### 4. תהליך למידה בשיטת PBL:

- חיפוש מידע: בשלב הראשון התלמידים מחפשים מידע בחיפוש חופשי, עם הכוונה של המורה. זהו תהליך, המתוכנן לשני שיעורים, ומאופיין בפעילות קבוצתית, עם שיח חופשי בין התלמידים. לפי הצפייה שלי בתלמידים, חיפוש ראשוני זה בוצע לפי מילות מפתח שקלטו מהצגת הבעיה ( בעיקר במושגים בסיסיים, כמו "התקף לב", "חלבוני מיוזין", "צביעת תאים", "בדיקת חלבון"). התלמידים מצאו מספר כיוונים אפשריים לפעילותם, ודנו איזה כיוון נראה לקבוצתם כמתאים לפתרון הבעיה שהוצגה.

- בבית כל אחד מחברי הקבוצה ביצע את תפקידו (חיפוש מידע, אורגון ורישום).

- סיעור מוחין ושיתוף המידע שנמצא: דיון קבוצתי בכיתה, כאשר המורה מצטרף לכל אחת מהקבוצות ומכוון את הפעילות במידה מסויימת (חשוב לכוון את הפעילות, אך לא להתערב בתהליך קבלת ההחלטות ע"י הקבוצה). במהלך סיעור מוחין זה הקבוצה בוחרת את הפתרון המתאים ביותר לדעתה, תוך הסבר מדוע נבחר רעיון זה. הקבוצה רושמת את הממצאים, ומתחילים לבחור את דרך ההצגה של הממצאים לכיתה.

- הצגת הפתרון לכל הכיתה. בחרתי לבקש מתלמידים להציג באמצעות מצגת, על מנת לתת תחושה של כנס מדעי (גם הסברתי את חשיבות הכנסים המדעיים, וצינתי כי אנו עושים הדמייה של כנס מדעי).

#### 5. הערכה בשיטת הערכת עמיתים:

התלמידים מקבלים משוב ממוחשב, ועונים עליו בקבוצות בהן עבדו, תוך כדי שיח ודיון בשאלות שנשאלו.

#### תפקיד המורה ותפקיד התלמיד

עבודה זו בעיקרה מושתתת על עקרון Student oriented teaching, כאשר המורה הוא מדריך ומכוון, אך אינו משמש מקור ידע או מארגן המידע. הלמידה כאן היא למידה פעילה של התלמידים, כאשר רוב האינטראקציות הנעשות ע"י התלמיד הן עם חברי קבוצתו. יש בכך יתרונות רבים, כמו העלת ZPD של חברי הקבוצה, הקניית מיומנויות של שיתוף ופעילות בקבוצה, למידה פעילה ועוד.

חשיבות רבה כאן היא להגבלת פעילותו של המורה, הרגיל להשתתף באופן פעיל מאוד בפעילות התלמידים. כאן המורה הוא מדריך בלבד, מכוון את התלמידים, אך אינו מתערב בתהליכי הלמידה.

## תיאור הערכת הפיתוח

באופן פעל בלמידה בשיטת PBL השתתפו כל תלמידי כיתת יא' במגמת ביוטכנולוגיה: 21 תלמידים בעלי יכולות קוגניטיביות ומוטיבציה גבוהים. התלמידים נכחו בכל השיעורים, והשתתפו באופן אקטיבי בכל הפעילויות. חשוב לציין, כי חלק מהתלמידים מתנדבים באופן קבוע במד"א, והם בעלי רקע רחב יותר בתחום הביולוגיה, ומספר תלמידים לומדים במסגרת פרויקטים מיוחדים בקורסים של האוניברסיטה הפתוחה. הכיתה מגובשת, יש בה תמיכה לתלמידים מתקשים ע"י התלמידים החזקים יותר בכיתה. תלמידי הכיתה אינם רגילים לפעילות קבוצתית, אך עובדים באופן קבוע בזוגות בלימודי ביוטכנולוגיה: בפרויקט הביוטק, ובמעבדות שונות.

בשל אופי שיטת ההוראה, היתה חשיבות רבה לשילוב דרכי הערכת פיתוח שונים. עיקר הניתוח הוא ניתוח איכותני, המתייחס לתהליכי למידה שעברו התלמידים, למידת שיפור מיומנויות החקר שלהם והערכתם את דרך הלמידה. כמו כן, חשוב לא לוותר על הניתוח הכמותי של תוצאות הלמידה, היות ולפי מחקרים שונים, אין עליה בידע מושגים בסיסי של התלמידים בשיטה זו.

לכן הערכת הפיתוח נעשה במספר שיטות:

### 1. הערכת תוצרי הפעילות ע"י המורה

היות ומשימה זו בעיקר מקנה מיומנויות, ופחות עוסקת בתוכן ומידע, יש צורך ליצור מערך הערכה מתאים. התוצר שהתלמידים מציגים הוא מצגת, המתארת שיטה מסויימת המתאימה כפתרון לבעיה שהוצגה. לא נבדקה יעילות הפתרון, או מידת ההתאמה שלו לשאלה, אלא נבדקו תהליכי למידה שהביאו למציאת פתרון זה. אם התלמידים רכשו ידע הכולל מושגים עיקריים, עקרונות ושיטות עבודה, הפתרון הוחשב כמקובל על המורה וטוב.

המצגת מוערכת ע"י המורה לפי המחווון (מצורף בנספח).

קריטריונים לניתוח בהערכה זו:

- א. האם התלמידים מצאו פתרון מתאים?
- ב. באילו מושגים השתמשו התלמידים ומהי מידת נכונותם?
- ג. מהי רמת העמקה ויכולת התלמידים המציגים להסביר את הפתרון המוצג?

### 2. הערכת תוצרי הפעילות ע"י התלמידים (הערכת עמיתים)

היות ושיטת הוראה זו מתייחסת מאוד לשיתוף המידע עם שותפים לכיתה, ניתן להשתמש בהערכת עמיתים כמדד לחשיבות למידה זו. התלמידים ענו על שאלון ממוחשב (במסמכי גוגל) והתייחסו

למצגת, בה צפו. התשובות ניתנו ע"י קבוצות העבודה, לאחר דיון במצגת שראו (השאלון והתשובות מצורפים בנספח).

קריטריונים לניתוח בהערכה זו:

- א. האם קיימת קורלציה בין הערכה שלי להערת תלמידים?
- ב. האם עלו נושאים נוספים במהלך ההצגה של המצגת ואיזה דיון התעורר כתוצאה?
- ג. האם דרך ההצגה (וטיב המצגת) משפיעה על ההבנה של התלמידים, והאם זוהי דרך טובה לשיתוף מידע כשלב סופי של התהליך?

### 3. הערכה כמותית של ידע בסיסי ומיומנויות פתרון בעיות

הערכה זו ניתן לבצע ע"י מבחן, הבוחן את המושגים הבסיסיים שנמדו ע"י התלמידים ואת מיומנויות פתרון הבעיה שלהם. ניתן לבצע זאת ע"י שימוש באנסין, המציג בעיה ודורש מהתלמיד למצוא פתרון.

בחרתי להשתמש באנסין מעובד מתוך בחינת בגרות במעבדה בביוטכנולוגיה, המתייחס לשיטה אימונודיאגנוסטית (מצורף בנספח).

קריטריונים לניתוח בהערכה זו:

- א. האם שימוש במושגים (ידע) במבחן היה נכון?
- ב. האם התלמידים הראו שליטה במיומנויות של פתרון בעיה?
- ג. האם התלמידים הצליחו להתמודד עם טקסט לא מוכר ברמת שאלוני בגרות?

### 4. הערכה איכותית של תהליך הלמידה ע"י ביצוע ראיונות עם התלמידים המשתתפים.

במהלך הראיונות הפתוחים אפשר לקבל את נקודת ראייתו של התלמיד המשתתף בפעילות. בחרתי לבצע ראיונות חצי-פתוחים, כך שהמראיין מובל לנושאים מסויימים (תהליכי למידה, פעילות התלמיד כחלק מהקבוצה, השוואת תהליכי למידה בשיטת PBL ללמידה פרונטלית), אך הוא חופשי לתת את דעתו על כל דבר אחר, העולה במהלך השיחה.

קריטריונים לניתוח בהערכה זו:

- א. כיצד התלמידים מעריכים את למידתם בנושא זה?
- ב. באילו תהליכים כל תלמיד היה פעיל ומדוע?
- ג. כיצד הוא ראה את תרומתו בקבוצה וכיצד הקבוצה תרמה לו?
- ד. אילו תהליכי למידה עבר התלמיד, וכיצד הוא מתייחס אליהם?

5. הערכה איכותנית של תהליכי למידה במהלך שיח התלמידים ב"סיעור מוחין".

במהלך העבודה הקבוצתית ניתן לצפות בתהליכי למידה המתרחשים בקבוצה. חשוב להתייחס לתהליכים לאה, על מנת למצוא מהם, האם הם דומים לתהליכי למידה בהוראה פרונטלית, האם יש הבנייה של ידע חדש, כיצד נקנות המימנויות השונות.

קריטריונים לניתוח בהערכה זו:

- א. כיצד התלמידים מצאו את המידע, ואילו תהליכים התרחשו במהלך שלבי הפעילות השונים?
- ב. האם שלב סיעור המוחין תרם, וכיצד, למציאת הפתרון?
- ג. מהן האינטראקציות בין התלמידים במהלך שלב סיעור המוחין? כיצד החלוקה לתפקידים תורמת לדיון?
- ד. האם קיים עומס קוגניטיבי ובמה הוא מתבטא?

הערכה נעשתה בשלבים במהלך פעילות התלמידים:

במהלך "סיעור מוחין" הוקלטה קבוצה בשלב איסוף נתונים ראשוני, ובשלב דיון ראשוני בנתונים אלה. תמלולים של קבוצה זו נותחו, כאשר נבדקו תפקידיהם של חברי הקבוצה ומידת השתתפותם של כל אחד מהשתתפים, וזהו תהליכי חשיבה לפי השאלות העולות במהלך השיח, הסברים הניתנים ע"י חברי הקבוצה. כמו כן, נבדק האם יש שימוש בידע קיים, וכיצד הידע החדש מתקשר אליו. לאחר מכן, במהלך הצגת המצגות, ניתנה גם הערכה מילולית ומספרית ע"י המורה. ההערכה ניתנה באופן אישי לתלמידי כל קבוצה. לאחר מכן, תלמידי שאר הקבוצות העריכו את הקבוצה המציגה. בשלב סופי נעשה מבחן, המסכם את פעילות התלמידים. חלק מהראיונות בוצעו לפני המבחן, וחלק – אחריו.

## תוצאות

### 1. הערכת תוצרי הפעילות ע"י המורה

במוצע המצגות קיבלו ציון של 93, ציון גבוה המראה על למידה והשקעה בפעילות ע"י התלמידים. בכל אחת המקבוצות נמצאו פתרונות מתאימים לפי דרישת המחווון. התלמידים העלו רעיונות שונים, העוסקים בזיהוי חומרים או תאים ע"י נוגדנים מסומנים, או ע"י מציאת חומרים בשיטות דומות. חלק מהשיטות היו באופן ספציפי מתוך תוכנית הלימודים (קבוצה מס' 1 – "אימונהיסטוכימיה", קבוצה 2 – RIA, קבוצה 4 - זיהוי ע"י חלבון פלואורסנטי), וקבוצה אחת העלתה שיטה שאיננה קשור לחומר הנלמד במבנית זו (קבוצה 3 – זיהוי חלבונים באלקטרופורזה), אך קשור מאוד ללימודים עתידיים של תלמידים אלה. התלמידים רכשו ידע חדש בשיטות אלה, והתמשו באופן מתאים במושגים.

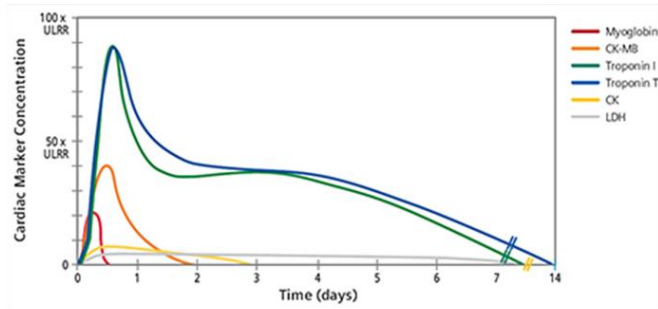
יש לציין, כי לא כל המושגים מתאימים לדך ההוראה המקובלת: כך, לא משתמשים במושג "אימונהיסטוכימיה" בהוראה במבנית זו, היות והוא ארוך ומסורבל. מתייחסים אליו בהגדרתו בעברית "צביעה בעזרת נוגדנים", ומציינים, כי ניתן לעשות זאת בתאים חיים. כך גם התלמידים קראו לנוגדנים רדיואקטיביים "נוגדנים מתוייגים" במקום "נוגדנים חמים", המקובל לפי תוכנית הלימודים.

כמו כן, נראתה באופן משמעותי מאוד השפעת הידע המקדים של התלמידים: בקבוצה 1 אחד התלמידים קרא על תאי גזע, והשתמש במושג "פלוריפוטנטיים". הוא העביר את המושג לחברי קבוצתו, שהשתמשו בו בזמן הצגת המצגת, והסבירו אותו נכון, בהקשר לחומר.

" לכן חוקרים רבים עורכים ניסויים במטרה להחזיר את התא המת לתפקוד מלא- לגרום לו לפעום שוב. חוקר בולט בתחום זה הוא הפרופסור שיניה יאמאנאקה. הפרופסור עמד בראש אחת מקבוצות המחקר שבחנו והוכיחו את האפשרות להעניק לתאים גנים שיאפשרו להם להפוך לתאי גזע. נראה כי תאים אלו המכונים 'תאי גזע פלוריפוטנטיים' זהים למעשה לתאי גזע עובריים, וכמותם הם בעלי יכולת התמיינות לכל סוג תא אחר".

מתוך מצגת קבוצה 1.

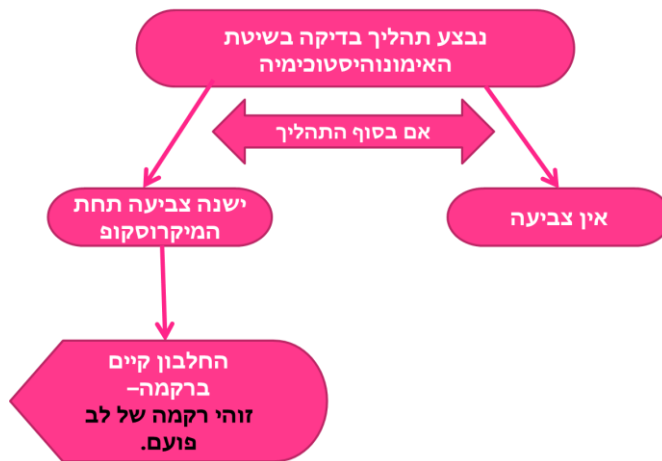
כך גם בקבוצה 2, שבה תלמידה מתנדבת במד"א, והייתה עדה להתקפי לב, חברי הקבוצה העמיקו בנושא דיאגנוסטיקה של התקפי לב, והרבו להתייחס לכך, בין השאר בבחירת נושא המצגת שלהם, חלבון טרופונין. קבוצה זו התייחסה רבות לנושא החלבונים, והשתמשה נכון במושגים השונים.



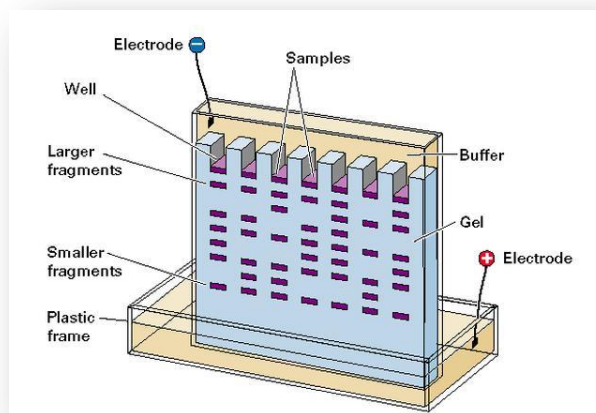
איור 2: ריכוזם של אינדיקטורים שונים להתקף לב לאורך זמן

איור 1: מתוך מצגת של קבוצה 2, התייחסות לסוגי חלבונים שונים בזמן התקף לב

התלמידים ניתחו היטב את השיטות שבחרו כפתרון לבעיה המוצגת. על מנת להסבירן לחברי הכיתה כולה, התלמידים השתמשו במגוון אמצעים:



איור 2: תרשים זרימה המסכם את מצגת מס' 1



איור מס' 3: ציור של מערכת אלקטרופורוזה, מתוך מצגת קבוצה 3.



התלמידים העלו מספר דיונים במהלך המצגות, הקשורים לטיבה של שיטה זו או אחרת. דיונים אלה, אשר החלו בשאלת שאלות על חומרים ספציפיים במצגת, עברו במספר פעמים להשוואה בין השיטות השונות. כך גם, לדוגמא, נראה בהערות למצגת:

- הפתרון נראה לנו מצויין אך קיימת בעיה בביצועו מכיוון שיש צורך בהתאמה של נוגדנים באופן מאוד ספציפי דבר שמקשה על ביצוע השיטה

- הפתרון נראה לנו טוב רק כאשר מדובר על 5-6 שעות לאחר ההתקף לב, כאשר הזמן שעבר מההתקף לב הוא יותר מזה הבדיקה אינה יעילה.

- נושא לשיפור הוא שלא מציגים שיטה לפי הצגת חסרונות של שיטה אחרת

ניתן לומר, כי העלאת נושאים אלה מצביעה על הבנת הנושא: לא רק אצל התלמידים המציגים, אלא גם אצל חברי הקבוצות האחרות. זאת אומר, שיתוף מידע בדרך זו הוא מתאים ויעיל.

### 3. ניתוח תוצאות מבחן

ממוצע הציונים במבחן היה 89.2, עם סטיית תקן של 6.8, מה שתואם את תוצאות הכיתה במבחנים רגילים.

יש לציין, כי כמעט כל התלמידים ענו באופן נכון על שאלות הבודקות עקרונות של קישור נוגדנים, זיהוי בעזרתם ושאלות ניתוח נתונים מחקריים. ניתן לומר, שעיקר הנקודות שהורדו בציוני המבחנים היו קשורות לשימוש נכון במושגים. כך, לדוגמא, בשאלה

"א. מדוע, לדעתך, מולקולת הסמן הפלואורסנטי (בירוק) מחוברת דווקא חלק הFc של הנוגדן?"

תלמידים רבים הסבירו נכון את העקרון שיש צורך להשאיר את זרועות הנוגדן פנויות לקישור עם אנטיגן, אך לא ציינו כלל את המושגים המתארים את הזרועות (Fab).

הסברים תקינים הראו הבנה של החומר הנלמד, היות והיה שימוש בהסברים ברמה המולקולארית, קישורם לרמת הניסוי. רמת התלמידים היתה סבירה בהחלט, ויכולה להתאים היטב לביצוע בחינת הבגרות בביוטכנולוגיה. על אף שהחומר לא נלמד באופן פרונטי, וכלל לא הועבר ע"י המורה, התלמידים התמודדו היטב עם רמת השאלות ועם כתיבת הסברים מעמיקים.

### 4. הערכה איכותית של תהליך הלמידה ע"י ביצוע ראינות עם התלמידים המשתתפים.

בוצעו שלושה ראינות עם תלמידים שונים (שני תלמידים ותלמידה), כאשר בחרתי בתלמידים אלה לפי יחסם השונה לפעילות, רמת היכולות הקוגניטיביות ומידת ההשתתפות שציגו במהלך ביצוע הפעילות.

חן, תלמידה בעלת יכולות נמוכות יותר בתחום הלימודים המדעיים, משקיעה מאוד, מתאמצת מאוד במהלך הלמידה שלה. היא השתתפה בפעילות עם קבוצה מס' 2.

לפי הראיון של חן, היא חשה חוסר ביטחון בתחילת העבודה, קושי בהבנת המשימה, קושי בהבנת הפתרון שהוצע ע"י הקבוצה. יחד עם זאת, היא עצמה ציינה כי עברה תהליך משמעותי של למידה:

בהתחלה לא הבנתי, אבל צליל ודניאל הסבירו לי. גם כשהכנתי את המצגת ראיתי אנימציה יפה שהסבירה מאוד יפה. גם הסברתי את זה לתמר (תלמידה מקבוצה אחרת), כי היא לא הבינה איך עובדת העקרונות של הקבוצה שלה, והוא דומה במשהו לשלנו. היא גם לא הצליחה למצוא תמונות בשביל המצגת שלה, אז עזרתי לה.

אנו רואים כי מעבר להבנה, יש גם הבניית ידע, והסבר לחברת קבוצה אחרת, מה שמצביע על חשיבה מעמיקה בתחום. שיתוף המידע בין התלמידים איפשר גם תרגול של הידע החדש.

לחן הייתה בעיה ליישם את הידע החדש שרכשה, לדעתה:

אז מה שאני יודעת איך זה עובד? מה יהיה אם תשאלי אותי במבחן? לא נראה לי שאני אענה.

והיא גם מגדירה את הקושי, כפי שהיא רואה אותו:

אבל אם היה ספר שהיה בו מסודר מה שצריך, הייתי הולכת לספר. כי זה מסודר, ובטוח שיש שם כל מה שישאלו.

יחד עם זאת, כאשר היא נשאלת על פעילות הערכה שהיא כבר ביצעה (ואף קיבלה ציון טוב), היא שוללת את הקושי עצמו:

אנסינים זה קל, צריך לקרוא ולהבין את מה שרוצים. זה כמו שהשאלה שנתת, אבל נותנים גם את המידע כדי לענות על השאלות.

המורה: נותנים את התשובות בטקסט?

חן: לפעמים כן, בשאלות הפשוטות, ואז צריך לחשוב. חשבנו טוב הפעם בעבודה שלנו! אבל אל תתני כזה קשה בבחינה. אני לא יודעת, איך אני אתכונן למבחן, אם יהיה משהו כזה.

נראה, כי הקושי של חן נובע בעיקר מקונסרבטיביות מסויימת בלמידה, חוסר הרגל לעבוד בפרוייקטים ועבודות חקר, וצורך אישי בלמידה שאליה התלמידה הורגלה: מתוך ספר, עם עובדות ברורות, כאשר התלמידה יודעת היטב, שלא ישאל חומר מעבר לכך בבחינה.

ראיון נוסף בוצע עם דניאל, תלמיד מצטיין, בעל יכולות קוגניטיביות גבוהות מאוד, רהוט ובעל מוטיבציה אחרת. לא פעם, דניאל משתעמם בכיתה במהלך הלמידה, היות והוא כבר נחשף לחומר (קריאה עצמית בעיקר) או שהמורה חוזר על ההסבר בשביל תלמידים אחרים בכיתה, ודניאל כבר הבין את החומר.

עם דניאל שוחחתי בעיקר על נושאים של עניין ועבודה קבוצתית, כיוון שלא ציין כלל בעיה של עומס קוגניטיבי, או קושי הבנתי או קושי אחר כלל.

דניאל: מהדוגמאות הישנות של הספרים. קראתי קצת על הנושא של תאי גזע, זה קיבל פרס נובל, ולדעתי זה רעיון גאוני! כל התחום הזה, נראה לי, מתקדם לקראת שינויים גדולים ברפואה.

המורה: ראיתם דברים קטנטנים של שיטות עבודה – ואתה מתקדם כבר לרפואה?

דניאל: נכון, זה קטן יחסית – שיטה אחת, אבל זה כבר יכול לתרום כל כך הרבה לאנשים... ולאורך החיים... בכלל זה מאוד מעניין. וקראתי עוד קצת על כל מיני דברים, את ראית, יש מחקרים שעוסקים בגידול של תאי עצב!

אנו רואים כאן כיצד שיטת PBL מאפשרת לתלמיד לצאת ממסגרת ההוראה והחומר הנלמד ולמצוא לו את מוקדי העניין הייחודיים שלו. היות והלמידה כאן היא student oriented, ויש חופש פעולה רב לתלמידים – הם יכולים למצוא את התכנים הקשורים לתחומי העניין של כל אחד מהם.

... לא יודע... אולי זה פשוט היה מעניין יותר... בכל מקרה, בחרתי משהו שאהבתי, או גם קראתי על זה קצת... אבל לא יודע. ביוטק נראה לי קל יותר, אבל משום מה אני לא יכול להגדיר למה העבודה הזאת היתה יותר טובה.

דניאל הוא תלמיד מאוד דומיננטי בקבוצה, בדרך כלל תלמידים אחרים אינם אוהבים לבצע עבודות יחד איתו. כאן, כנראה בגלל גודל הקבוצה, שהייתה מספיק גדולה כדי לעמוד מולו, ולהביע את דעת הקבוצה, וגם בגלל חלוקת תפקידים ואופי החשיבתי והשיתופי של הפעילות, עבודה בקבוצתם הייתה מוצלחת מאוד:

דניאל: לא, בכלל לא. אנחנו עובדים שם בזוג, זה קצת שונה, כי פשוט מחלקים את העבודה לשניים. אהבתי את התפקידים שחילקנו, היה כמו משחק. היה גם טוב, כי התאספנו בבית, לבנות מצגת ועשינו הכל ביחד.

המורה: ואיך שאר חברי הקבוצה? גם הם נהנו, לדעתך?

דניאל: נראה לי שכן, גם לא לחצנו אחד על השני, וגם היה בכיף כזה, ללמוד בצורה שונה. נמאס כבר לשבת סתם בכיתה.

לראיון השלישי נבחר רועי, תלמיד מעולה, בעל יכולות קוגניטיביות גבוהות ביותר, אך בעל מוטיבציה נמוכה יותר ללמידה. רועי בדרך כלל לומד לקראת מבחנים לבד, במהירות וביעילות ע"י קריאה של חומר עיוני ותרגולו מבחינות בגרות. כתוצאה, הוא מצליח מאוד בבחינות, וגם נרתע מאוד מעבודות חקר ופעילויות כיתתיות, כי לפיו עבודות אלה, שאינן קשורות ללמידה פרונטלית, גוזלות זמן.

כי ידעתי שעוד פעם אנחנו נשב שעות ושעות ונחרוש על זה. זה לוקח המון זמן, יש לנו עוד מקצועות ללמוד.

לרועי גם מאוד חשובה מידת ההישגיות שלו, שביטוייה בצינונים.

רועי: אנה, מה עם המבחן?

המורה: היה בסדר, אין לי פה, אבל הציון שלך היה יפה מאוד.

רועי: כי הגזמת עם השאלות המוזרות האלה. מה זה? בכלל לא למדנו את זה.

ברגע, שבו אנו יוצאים ממרחב הזרות המוכר לרועי, הוא מאבד את בטחוננו העצמי. זה קורה ברוב העבודות, שאינן מבחן אצלו, וחוזר גם בעבודה זו. יחד עם זאת, רועי קיבל ציון מצויין במבחן שהועבר לאחר הפעילות.

רועי גם הגדיר היטב את הקושי שלו בעבודה זו, ובשיטת הלמידה:

רועי: כי לא הייתי בטוח. בכלל. אבל היה טקסט יפה במבחן. על דברים חשובים. וכשכתבתי את התשובות סתם רשמתי דברים שבאו לי לראש. חשבתי קצת, ורשמתי.

המורה: מה חשבת? איך הגעת לתשובות באמת?

רועי: ניסיתי לחשוב על כל השיטות שאמרו בכיתה. ולא טוב, אנה, היינו צריכים לרשום את זה! זכרתי כאילו קטעים מהמצגות של אחרים, ואת המצגת שלי, או ערבבתי קצת ביחד, ויצאו התשובות.

הוא מעלה ביקורת על המורה, שסטתה מההוראה המקובלת יותר, אך גם מתאר את תהליך שעבר כתוצאה: שליפה של ידע, אירגונו מחדש הבנייתו לסכמה חדשה. רועי לא הכיר תהליך זה, ולא הבין, שזהו גם תהליך שיאפשר לו להצליח בבחינה – המטרה שהוא רואה בכל תהליך הלמידה. רועי, באופן ברור הביע במהלך הראיון את חוסר הבנתו – מדוע יש צורך בכלל בסוג למידה כזה:

המורה: תסכם במשפט – מה למדת מהעבודה הזאת?

רועי: לא יודע. אולי כי אפשר למצוא כל דבר, אם מחפשים נכון? וכי ככה אפשר לעשות שיטות חדשות במדע?

ייתכן, ויש צורך, כתוצאה, ללמד באופן מפורש במהלך המבנית גם את המיומנויות הכרוכות בלמידה בשיטת PBL, ולהדגיש את חשיבותן לעתיד התלמידים.

5. הערכה איכותנית של תהליכי למידה במהלך שיח התלמידים ב"סיעור מוחין".

במהלך עבודתם, הוקלטו התלמידים בקבוצה מס' 2, בתחילת איסוף הנתונים ובמהלך שלבים מתקדמים יותר של סיעור המוחין. ניתן היה לזהות מספר רב של נקודות עקרוניות שעלו בשיחתם:

א. חשיבות רבה של הרקע, ממנו הגיעו התלמידים, והידע המוקדם שלהם.

התלמידים בחרו כיוונים, המוכרים להם במידת מה, וקשורים לחייהם – תחום הרפואה, היות ותלמידה אחת מהקבוצה היא מתנדבת מד"א, והורים של תלמידה נוספת הם רופאים, ושיתפו פעולה עם בתם.

צליל: צריך לחשוב קודם זיהוי של מה אנחנו רוצים לעשות. יש כל מיני בדיקות שעושים במ"א

(התלמידה מתנדבת מ"א) כדי לבדוק מחלות לב ובדיקות שעושים בבית חולים, אולי נתחיל מזה?

חן: אולי באתר של קופת חולים? יש שם כל מיני דברים שונים על הלב, בדקתי עם אמא שלי.

כך הלמידה הפכה למשמעותית יותר, קשורה יותר לחייה ובעלת עוגן בסיטואציה ממשית מבחינתם. חיבור זה גם איפשר לתלמידים להרחיב את חיפושיהם גם לתחומים פחות מוכרים, כשהם בטוחים יותר בחיפושם אחר פתרון.

ב. פעילות קבוצתית, כתורמת להבניית הידע והקניית מושגים חדשים.

כאן אני מביאה מקטע שלם מהשיחה, על מנת להראות את התהליך שתהרחש:

שני: אני לא מבינה את המילה, מה זה בכלל? נורא ארוך! צריך לפצל למילים נפרדות ולהסביר אותם גם, כי אף אחד לא יבין. רדיו... זה סוג של קרינה, אימונו ברור... מה זה אסיי (assay)? אני לא מכירה, יש לזה מושג בעברית בכלל? ככה נקרא לזה.

חן: אני לא מבינה, מה זה בכלל.

שני: זה כמו בדיקה, של משהו חיסוני עם קרינה. אבל מה הקשר של קרינה? זה כמו טיפולי הקרנה? זה לא מתאים אז.

חן: מה זה בכלל קשור הקרינה הזאת, לא מספיק רק בדיקה, צריך גם קרינה?

שני: לא, זה סוג של בדיקה עם משהו רדיואקטיבי. צריך לראות איך זה עובד. צליל, דניאל, מישוהו מצא על זה משהו?

דניאל: זה יכול להיות טוב, יש פה אנימציה של זה, נראה ברור, בואו תראו, אני שולח לנו את זה גם למיילים.

שני, תלמידה טובה מאוד, אך איטית יותר בהבנתה, מעלה שאלה. היא בעלת בטחון, ויכולה "להרשות לעצמה" לשאול את הקבוצה ולא להרגיש נחותה. היא נתמכת ע"י חן, תלמידה חלשה יותר, שיש לה קושי להבין את המושג גם, אך היא לא העלתה קושי זה בשל חוסר בטחונה בקבוצה. כך, שיתוף של מספר תלמידים בעלי יכולות ברמות שונות, מסייע לתלמידים החלשים יותר בקבוצה.

שני עצמה גם מתחילה לענות על השאלה, תוך חיפוש הגדרות מוכרות לה מלימודיה הקודמים. כאשר היא לא מצליחה להגיע לתשובה המספקת אותה, היא פונה לחברי הקבוצה. התלמידים, היושבים מול מסכי מחשב, ועוברים על כמויות גדולות מאוד של מידע, מצליחים לדלות הסבר, ועוד בדרך של אנימציה. מיד יש שיתוף של המידע, על מנת להקל על כל התלמידים בהבנת המושג.

ג. משמעותיות הדיון בין חברי הקבוצה ובתוך הכיתה.

כאשר התלמידים מגיעים שוב ושוב למידע מסויים, הם מנסים להבינו, על אף היותו בלתי מוכר. יש חיפוש של מקורות שונים, העמקה בתחום הידע. מעבר לכך, במהלך הדיון, מסבירים התלמידים לחבריהם, ותוך כדי הדיון וההסבר מעלים סוגיות שונות ומתקנים אחד את השני.

חן: עוד פעם, לא הבנתי איך קשור החלקיק הרדיואקטיבי. מה, הוא פועל איכשהו בבדיקה? הוא אמור להרוג את החלבון?

דניאל: לא, הוא רק מסמן את החלבון שמחפשים, את רואה לפי האנימציה.

חן: אז איך רואים אותו?

צליל: לא נראה לי שרואים אותו, רשום פה שצריך מכשיר מיוחד, שני, תרשמי את זה, זה בטח יקר וזה חיסרון.

שני: ולא הורגים חלבונים, הם לא מתים. תראי, אפשר לעשות קריאה במכשיר, ואם יש רדיואקטיביות, אז זה אומר שיש את החלבון שאנחנו מחפשים. או שככה נראה לי... נכון, דניאל?

דניאל: כן כן, זה באמת כך לפי האנימציה, אני בודק את זה בעוד מקום.

חן, בתמיכתה של הקבוצה, ממשיכה לשאול ולהעמיק. זה מראה על כך, שדיון תומך בקבוצה מאפשר לתלמידים לחזור ולשאול, אם המידע עדיין אינו ברור. מעניין, כי תלמידים גם מציינים תפיסות שגויות ומתקנים אותם בתוך הקבוצה. הם רואים את החשיבות של מושגים נכונים ומדויקים. במהלך הדיון קיים גם חיפוש אישור המידע ע"י התלמידים היותר חזקים בקבוצה, מה שמאפשר להעלות את רמת הבטחון העצמי של כל חברי הקבוצה.

בהמשך התלמידים גם שיתפו פעולה עם קבוצות אחרות, ורוח התחרותיות מובילה את התלמידים לנתח את הרעיון שלהם גם מכיוונים שלא עלו בדיונים הראשונים:

יובל: אנחנו צריכים לבדוק איזו שיטה יותר טובה, שלנו או שלהם, וצריך לציין את זה. איפה צליל? היא רושמת? דניאל, תבדוק אם השיטה שלנו יותר טובה!

ד. תפקיד המורה כמתווך ומדריך, אך לא כמקורי ידע.

רוב התלמידים הגיעו עם שאלות שונות במהלך איסוף המידע וסיעור מוחין למורה. המורה הפנתה למקורות מידע נוספים, עזרה למצוא מילות חיפוש מתאימות, כיוונה – אך לא נתנה הסבר ממש. חלק מהתלמידים היו מתוסכלים בגלל זה, כנראה מתוך הרגל לכך שהמורה נותנת ככלל תשובות ברורות ומנומקות:

חן: אני הולכת לשאול את אנה (המורה), שתסביר לי.

.....

חן: אנה (המורה) אמרה לי לראות הסבר כתוב של זה, אולי הוא יהיה ברור יותר, איפה נראה לכם שיש? אין לי כוח, די כבר עם זה.

עם הזמן, לאורך הפעילות, התלמידים התרגלו לשיטה זו, ולא העבירו שאלות למורה. בסוף סיעור המוחין, התלמידים העדיפו לפנות זה לזה ולחברי קבוצות אחרות, על מנת לקבל תשובה.

## סיכום ודיון

בפיתוח זה הוצגה שיטת הוראה PBL המתאימה להוראת מקצועות מדעיים אינטרדיסציפלינריים, כמו ביוטכנולוגיה. במבנית הוראה זו התלמידים קיבלו סיטואציה, הדושרת מציאה של פתרון, חיפשו מידע, אירגנו אותו והציגו את הפתרונות שמצאו. עבודה זו היא עבודה קבוצתית, מודרכת ע"י מורה הכיתה. במהלך ביצוע הפעילות, התלמידים נחשפו לידע חדש, עברו הקניית מושגים והבניית הידע החדש, למדו מיומנויות חדשות והגיעו לתוצר משמעותי לאחר למידתם. התוצר היה מצגת שהוצגה בפני תלמידי הכיתה, בהדמייה של כנס מדעי.

לאחר הערכת הפיתוח, ניתן לומר, כי הוא ענה על כל דרישותיו, זאת אומרת, ללמד את התלמידים בדרך שונה מהוראה פרונטלית, נושא מורכב ומופשט, תוך הקניית מיומנויות למידה וחקר. כפי הנדרש, התלמידים למדו באופן אקטיבי, בדרך סוציו-חברתית, תוך שיתוף חבריהם בתהליכי הלמידה. הלמידה הקבוצתית, בהתאם לכתוב בספרות (Allen, 1996), היטיבה עם תלמידים רבים, ובעיקר עם התלמידים החלשים יותר. התלמידים רכשו בטחון עצמי בקבוצה, למדו לפעול במשותף, לחפש מידע ולהעריכו, ולהבנותו עד כדי הבנה. לפי התוצאות, גם התלמידים שלא הורגלו לעבודה קבוצתית משמעותית, הצליחו בה. עבודה קבוצתית מהווה צורך עתידי מובהק, גם באקדמיה וגם בתעשייה, כאשר התלמידים יגיעו לעבוד בצוותים ויהיו בעלי נסיון בפעילות דומה.

הלמידה בפיתוח זה היתה מבוססת באופן משמעותי על קישור לחיי התלמידים ולעולם המושגים שלהם (Hmelo-Silver, 2004). ככל שעולם המושגים של התלמידים היה רחב יותר, או קרוב יותר אל התחום שבו עסקה הבעיה, התלמידים הצליחו יותר, העמיקו יותר ולאחר מכן, גם המשיכו לחקור בתחומים קרובים לבעיה. מתוך כך, ללא ספק, נובע שיש משמעות להוראה בשיטת PBL בכיתות חזקות, בעלות ידע קודם מסויים, ויהיה קושי מסויים להעביר מבנית הוראה כזו בכיתה בעלת יכולות נמוכות יותר.

מבחינה קונסטרוקטיביסטית, התלמידים היו צריכים לרכוש ידע חדש, ולהבנותו. הידע הנרכש הוא ידע מורכב ובעל דקויות ופרטים רבים. יחד עם העובדה, שהתלמידים לא הכירו בצורה הטובה ביותר את המושגים הנדרשים לפי תוכנית הלימודים, הם הצליחו בצורה יוצאת מהכלל למצוא פתרון, להעביר מידע לקבוצות אחרות, להסביר את הממצאים ולנהל דיון כיתתי. כמו כן, התלמידים עשו רפלקציה על פעילות הקבוצות השונות וניתחו את תוצרי התלמידים האחרים. כל אלה מצביעים על כך, שמערך הידע החדש אצל התלמידים נבנה היטב, ובאופן משמעותי. הסכמות החדשות אצל התלמידים אולי אינן מבוססות על פרטים ודקויות, אך הבנת התהליכים נראתה באופן ברור אצל התלמידים. גם ממצאים אלה תואמים את הספרות (Hmelo-Silver, 2004).

יחד עם כל יתרונות שיטת PBL, חשוב לציין גם את חסרונותיה. שיטה זו היא שיטה ארוכה מאוד בהוראה: התלמידים מתמודדים עם מידע חדש, עם מיומנויות לא מוכרות, עבודת צוות שלא תמיד

מתאימה להם או קלה, וכתוצאה, יש צורך במספר רב של שעות להוראה של מבנית כזו. בהגבלות הקיימות של תוכנית הלימודים ומסגרת ההוראה בכיתה, יש קושי ליישם באופן יעיל שיטת הוראה של PBL באופן קבוע. אני רואה, כי יתכן, והפתרון הוא לתת "טעימות" קצרות מהשיטה במגוון נושאי ההוראה השונים, ולא לבצע את התהליך באופן מלא במהלך השנה. ביצוע של משימת PBL שלמה אפשרי, אם כך, לקראת סוף שנה, כסיכום הלמידה של נושא. בגלל אותה בעיה של זמנים, יש גם קושי לבצע פעילויות כאלה בכיתות גדולות, כפי שצויין גם ספרות המחקרית (Albanese & Mitchell, 1993).

ללא ספק, יש להתחשב גם בחסרון בולט שני של השיטה: חוסר אחידות הידע בכיתה ופערים בהכרת מושגים. היות והבחינה הסופית בלימודי התלמידים היא בחינת בגרות, עם דרישות ברורות מאוד של סילבוס מוגדר, עם רשימת מושגים נדרשים, לא ניתן להשמש בשיטת PBL באופן קבוע בהוראה בכיתה. כמובן, שיטה זו תשפר את הישגיהם של תלמידים בבעיות מחקריות שונות (שלעיתים גם מוצגות בבגרויות, כמו בבגרות המעבדה), אך ריבוי פעילויות PBL יכול לפגוע בידע הבסיסי של התלמידים.

יחד עם הבעייתיות הטכנית של שיטת PBL, ניתן לראות בבירור את בעיית העומס הקוגניטיבי אצל תלמידים במהלך הלמידה בשיטה זו. רק התלמידים החזקים ביותר יכולים להתגבר עליה, והתלמידים החלשים יותר נפגעים מהעומס, ועלולים לוותר בגללו. תפקידו של המורה כאן הוא להוריד את רמת העומס, ליצור סביבה יותר נוחה לעבודה ולתווך בין התלמידים למשימה. כמו כן, אם המורה חוזר על פעילות דומה, התלמידים כבר לא ירגישו את העומס הקוגניטיבי הלא רלוונטי, ויוכלו להתמודד עמו בקלות רבה יותר.

בסה"כ, אני מאמינה, כי יתרונות השיטה עולים על חסרונותיה, וכפי שלמדתי רבות במהלך הלמידה בתוכנית רוטשילד-וייצמן, הגיוון בשיטות ההוראה, היציאה מתוך הקונסרבטיביות של המורה (והתלמיד, כפי שנראה בתוצאות) ושימוש בשיטות קונסטרוקטיביסטיות מעלה משמעותית את התועלת של הלמידה הכיתתית. במהלך הקורסים עם פרופ' ענת ירדן, דר' גילת בריל ודר' רונית רוזנשיין קיבלתי מגוון אדיר של שיטות חדשות להוראה, כאשר PBL, לדעתי היא אחת השיטות המתאימות ביותר להוראה במציאות של היום: עומס מידע, מגוון מקורות (שלעיתים אינם מדעיים מספיק), חוסר איגון של המידע, מופשטות הרעיונות ומורכבותם, וכמובן, הצורך הקבוע לפתור בעיות – החל מימומיות, עד לגלובליות.

מי, אם לא המורה, צריך לתת כלים לתלמידים להמודד עם זאת בעתיד?

לסיכום, אני חושבת, שאת היישום הבא של שיטת PBL אבצע דווקא בכיתה בעלת יכולות קוגניטיביות נמוכות יחסית. אני מאמינה, כי לכל התלמידים יש צורך במיומנויות חקר, שאנו נותנים בעיקר לכיתות החזקות, ואני חושבת, ששיטת PBL, בגלל השיתופיות והחיבור לחיי היומיום, יכולה להתאים גם לכיתות חלשות. כיום, השיטה היא אליטיסטית בעיקרה, ניתנת בבתי ספר לרפואה ובתי ספר לעסקים, אך אולי בכל זאת יש סיכוי, והיא תחלחל לכל שכבות אוכלוסיית בית הספר התיכון.

## BIBLIOGRAPHY

- Albanese, M., & Mitchell, S. (1993). Problem based learning: A review on literature of its outcomes and implementation issues. *Academic Medicine*, 68(1), 52-81.
- Allen, D. (1996). The Power of Problem-Based Learning in Teaching Introductory Science Courses. *New Directions for teaching and learning*, 68, 43-52.
- Allen, D., & Tanner, K. (2003). Approaches to Cell Biology Teaching: Learning Content in Context—Problem-Based Learning. *Cell Biology Education*, 2, 73-81.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2004). *How People Learn? Brain, Mind, Experience and School*. National Academy of Sciences.
- Gelbart, H., & Yarden, A. (2011). Supporting learning of high-school genetics using authentic research practices: the teacher's role. *Journal of Biological Education*, 129-135.
- Gelbart, H., Brill, G., & Yarden, A. (2009). The Impact of a Web-Based Research Simulation in Bioinformatics on Students' Understanding of Genetics. *Res Sci Educ*(39), 725–751.
- Hmelo-Silver, C. E. (2004, September). Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235-266.
- Savery, J. R. (2006). Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 1(1), 9-20.
- Schmidt, H. G., & Loyens, S. M. (2007). Problem-Based Learning is Compatible with Human Cognitive Architecture: Commentary on Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST*, 42(2), 91–97.
- Wood, D. F. (2003). ABC of learning and teaching medicine: Problem Based Learning. *BMJ*(326), 328-330.



## רשימת נספחים

1. תוכנית הלימודים בביוטכנולוגיה, מבנית אימונודיאגנוסטיקה.
2. פרק מתוך סדרה "האוס" (עונה 7, פרק 7) – בדיסק מצורף.
3. מערך שיעור לאחר צפייה בסרט.
4. תמלול קטעים מתוך פעילות "סיעור מוחין" בכיתה.
5. מצגות התלמידים, כפי שהוצגו בכיתה – בדיסק מצורף.
6. מחוון הערכת מצגת ע"י המורה.
7. שאלון (ממוחשב) שניתן לתלמידים לאחר צפייה במצגת.
8. תוצאות גולמיות של הערכת עמיתים לאחר הצגת מצגות בכיתה.
9. תמלול קטעים מתוך ראיונות אישיים עם התלמידים.
10. מבחן שנעשה לאחר הפעילות.

**נספח 1: תוכנית הלימודים בביוטכנולוגיה, מבנית אימונודיאגנוסטיקה.**  
מתוך תוכנית הלימודים בביוטכנולוגיה, השלמה ל-5 יח"ל, תהליכים ביוטכנולוגיים ב' (2 יח"ל).

משרד החינוך

המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על ביוטכנולוגיה

**שיטות המבוססות על סימון נוגדנים או אנטיגנים לאחר קיבוע למשטח**

1. שיטת RIA – בוחן רדיואימוני

• אפיון השיטה ותחומי השימוש

• בוחן תחרותי / לא תחרותי

2. שיטת ELISA בוחן אימונואנזימי על מצע מוצק -

• עקרונות השיטה ושלביה

• בוחן תחרותי / לא תחרותי

3. תספיג אימונולוגי Immunoblotting

• עקרונות השיטה ושלביה

• יתרונות וחסרונות לעומת שיטת ELISA

4. שיטת FIA – בוחן אימונופלוואורסצנטי

• עקרונות השיטה ושלביה

• תחומי השימוש

### נספח 3: מערך שיעור לאחר צפייה בסרט

#### מערך שיעור של דיון כיתתי:

יעדי הבנה בשיעור:

א. התלמידים יכירו את דרך העבודה של קבוצות מחקר ויבינו את חשיבות דרך עבודה זו (PBL)

יעדי ביצוע בשיעור:

א. לבנות תרשים זרימה המתאר עבודה קבוצתית לפי שיטת PBL

ב. לפצל את הכיתה לקבוצות עם תפקידים מוגדרים בתוך כל קבוצה

מהלך השיעור:

1. יש להעלות את השאלה "מדוע צפינו בסרט זה?" ולרשום את תשובות התלמידים על הלוח. נפצל את תשובות התלמידים המתייחסות לתוכן ומידע שניתן בסרט, ומתייחסות לדרך העבודה של קבוצת המחקר המוצגת בסרט.

2. נציג את התשובות המתייחסות לדרך העבודה המוצגת בסרט כחשובות לעבודת הכיתה היום. נעלה את השאלה "האם לדעתכם עובדים כך באמת בבתי חולים?" ונדון, מדוע ומתי יש צורך בעבודה בצורת סיעור מוחין. נעלה את השאלה "באילו תחומים נוספים, לדעתכם, כדאי לעבוד בשיטה זו?". המטרה היא להגיע למסקנה, שבכל מצב של פתרון בעיה חדשה, עובדים בשיטה דומה.

3. נעלה בדיון כיתתי את היתרונות והחסרונות של שיטה כזו, כאשר ננסה לחזור לחסרונות שראינו בסרט.

4. ניצור על הלוח תרשים זרימה, שבו יש שלבים עיקריים של עבודה בשיטת PBL, תוך התייחסות מיוחדת ל:

- חיפוש מידע

- העלאת רעיונות תוך שיתף עמיתים

- בדיקה האם הרעיון מתאים

חשוב מאוד ליצור חצים המתארים את מעגליות התהליך, ומדוע יש בהם צורך.

5. נגדיר, תוך דיון כיתתי, מה היה תפקיד כל אחת מדמויות המוצגות בסרט. נחליט, האם תפקיד זה חשוב, ומה חשיבותו.

6. התלמידים מקבלים אפשרות להתפצל לקבוצות (או שהמורה מפצל את הכיתה, בהתאם לשיקוליו), כאשר כל אחד ממשותפי הקבוצה מקבל באופן רשמי תפקיד מסויים: ראש קבוצה (אחראי קבוצה), מחפש מידע (שני תלמידים לפחות), מארגן מידע, רושם מידע.

סיכום השיעור:

התלמידים רושמים את התפקידים בכל אחת מהקבוצות, ומוסרים למורה. המורה מספר, כי את המבנית הבאה של חומר הלימוד התלמידים ילמדו בדרך של PBL, ומציג את השיטה, כשיטת למידה מקובלת בבתי ספר לרפואה, כמשמשת חוקרים ותעשיינים, ומאפשרת למצוא פתרונות חדשים לבעיות קיימות.

נספח 4: תמלול קטעים מתוך "סיעור מוחין" בכיתה.  
תמלול קבוצה מס' 2 במהלך חיפוש מידע התחלתי

צליל: איך בכלל נחפש?

דניאל: יש הרבה מושגים שונים שקשורים לתחום, צריך להתחיל לבדוק מה הכי רלוונטי לבדיקות לזיהוי.

צליל: צריך לחשוב קודם זיהוי של מה אנחנו רוצים לעשות. יש כל מיני בדיקות שעושים במד"א (התלמידה מתנדבת מ"א) כדי לבדוק מחלות לב ובדיקות שעושים בבית חולים, אולי נתחיל מזה?

דניאל: טוב, אני מתחיל לחפש בכיוון

.....

יובל: רגע, זה נראה מתאים, אבל זאת בדיקה שעושים אתה בבתי חולים, היא נקראת CK\_MB, זה יכול להתאים?

דניאל: לא נראה לי, זה נורא פשוט, אבל תחפשו לפי איזה עיקרון זה עובד. אולי עם העיקרון נחפש משהו אחר שמתאים לחוקרים, שונה.

.....

שני: אני לא מבינה את המילה, מה זה בכלל? נורא ארוך! צריך לפצל למילים נפרדות ולהסביר אותם גם, כי אף אחד לא יבין. רדיו... זה סוג של קרינה, אימונו ברור... מה זה אסיי (assay)? אני לא מכירה, יש לזה מושג בעברית בכלל? ככה נקרא לזה.

חן: אני לא מבינה, מה זה בכלל.

שני: זה כמו בדיקה, של משהו חיסוני עם קרינה. אבל מה הקשר של קרינה? זה כמו טיפולי הקרנה? זה לא מתאים אז.

חן: מה זה בכלל קשור הקרינה הזאת, לא מספיק רק בדיקה, צריך גם קרינה?

שני: לא, זה סוג של בדיקה עם משהו רדיואקטיבי. צריך לראות איך זה עובד. צליל, דניאל, מישהו מצא על זה משהו?

דניאל: זה יכול להיות טוב, יש פה אנימציה של זה, נראה ברור, בואו תראו, אני שולח לנו את זה גם למיילים.

.....

דניאל: נכון, זה משהו שאפשר לעשות אותו – צריך רק למצוא איזה חלבון אנחנו בוחרים לזהות בלב. זה צריך להיות משהו מיוחד מאוד. שאין אותו במקום אחר, כדי שלא יהיה זיהוי לא נכון. תתחילו לחפש את זה.

חן: אולי באתר של קופת חולים? יש שם כל מיני דברים שונים על הלב, בדקתי עם אמא שלי.

חן: עוד פעם, לא הבנתי איך קשור החלקיק הרדיואקטיבי. מה, הוא פועל איכשהו בבדיקה? הוא אמור להרוג את החלבון?

דניאל: לא, הוא רק מסמן את החלבון שמחפשים, את רואה לפי האנימציה.

חן: אז איך רואים אותו?

צליל: לא נראה לי שרואים אותו, רשום פה שצריך מכשיר מיוחד, שני, תרשמי את זה, זה בטח יקר וזה חיסרון.

שני: ולא הורגים חלבונים, הם לא מתים. תראי, אפשר לעשות קריאה במכשיר, ואם יש רדיואקטיביות, אז זה אומר שיש את החלבון שאנחנו מחפשים. או שככה נראה לי... נכון, דניאל?

דניאל: כן כן, זה באמת כך לפי האנימציה, אני בודק את זה בעוד מקום.

חן: אני הולכת לשאול את אנה, שתסביר לי.

.....

חן: אנה אמרה לי לראות הסבר כתוב של זה, אולי הוא יהיה ברור יותר, איפה נראה לכם שיש? אין לי כוח, די כבר עם זה.

צליל: הנה, תראי, יש פה כתוב, אבל זה מה זה מסובך, נקרא ביחד. איפה דניאל? אני לא מכירה את המושגים פה...

.....

יובל: ראיתם שואדים מחפש על אותו הדבר???? צריך לבדוק מה הם עושים! ומה אם הם עשו את אותו הדבר? אני הולכת לבדוק אצלם.

שני: תשאלי את אנה מה עושים אם יש שני רעיונות זהים!

.....

יובל: אנחנו צריכים לבדוק איזו שיטה יותר טובה, שלנו או שלהם, וצריך לציין את זה. איפה צליל? היא רושמת? דניאל, תבדוק אם השיטה שלנו יותר טובה!

קבוצה 1: אדיר, בת גל, תהל, ניר, אלירן, נדב

נושא המצגת: אימונהיסטוכימיה של אלפא-מיוזין

קבוצה 2: יובל, חן, שני, צליל, דניאל

נושא המצגת: רדיואימונואסיי - טרופונין

קבוצה 3: דינה, רותם, גל, טל, אלעד, ודים

נושא המצגת: זיהוי אנזים CK

קבוצה 4: רועי, תמר, רז, דוד

נושא המצגת: אימונופולואורסנציה עם GFP על חלבון מיוזין

מדידי איכות		קריטריונים	מימדים
לא השיג את המטרה	השיג את המטרה באופן חלקי	השיג את המטרה במלואה	
המידע דל בתכנים, או שמוצגת שיטה שולית או שגויה. השיטה המוצגת אינה שיטה רלוונטית לבעיה שהוצגה (0-4)	יש מהימנות חלקית בשיטה המוצגת, או השיטה מתאימה רק באופן חלקי לפתרון הבעיה. השיטה המוצגת איננה שיטה ביוטכנולוגית או איננה שיטה אימונודיאגנוסטית. (5-10)	מוצגת שיטה רלוונטית, המתאימה כפתרון לבעיה שהוצגה. השיטה מקובלת בשימוש תעשייתי/רפואי/מחקרי, וקיימת כיום. השיטה המוצגת היא אחת השיטות האימונודיאגנוסטיות הנלמדות לפי תוכנית הלימודים (10-15)	הצגה של שיטה המתאימה כפתרון לבעיה שהוצגה 15 נק'  היבט התוכן  45 נק.
הניסוח אינו בהיר. (עומס קטעי מלל) יש מקום לתמצות ניכר (1-4)	המידע מנוסח בבהירות, מלל תמציתי, אך אין מיקוד. (5-7)	המידע ממוקד, ברור ותמציתי. (8-10)	המידע מנוסח בבהירות, ממוקד, תמציתי. 10 נק'
נרשמו 1-2 מקורות מידע (0-2)	נרשמו 2-3 מקורות, (2-3)	נרשמו לפחות ארבעה מקורות מידע. (4-5)	רשימת מקורות 5 נק'
לא שולבו דרכי הצגה מתאימות, או שולבו, אך אינן מתאימות להצגת הרעיון (0-4)	שולבו או אנימציות או סרטונים או תרשימים (5-7)	שולבו אנימציות, סרטונים ותרשימים (8-10)	שילוב דרכי הסבר מתאימים 10 נק

	<p><b>ניסוח והסבר מושגים</b></p> <p><b>5 נק'</b></p>	<p>מנוסח באופן מדעי ורהוט, תוך שימוש במושגים מתאימים ונכונים (4-5)</p>	<p>מנוסח רהוט, אך שימוש במושגים לא נכון או חסר במושגים (2-3)</p>	<p>מנוסח בצורה לקויה, או שימוש במושגים מדעיים לא הכרחיים המשקים על הקריאה, או אין שימוש והסבר של מושגים מתאימים (0-2)</p>
<p>היבט חזותי</p>	<p><b>המצגת ברורה ומוצגת היטב</b></p> <p><b>5 נק</b></p>	<p>המצגת ברורה, קוהרנטית והסדר בה הגיוני. (4-5)</p>	<p>המצגת ברורה, אך אינה קוהרנטית או איננה מסודרת (2-3)</p>	<p>מצגת לא ברורה, שאינה מציגה באופן הגיוני את הפתרון (0-2)</p>
<p>30 נק.</p>	<p><b>הצגת המצגת ע"י התלמידים</b></p> <p><b>15 נק</b></p>	<p>כל תלמידי הקבוצה מציגים את המצגת (אפשר שרק את חלקם), באופן מובן וברור. עוני על שאלות העולות בכיתה. (10-15)</p>	<p>לא כל התלמידים מציגים, ההצגה איננה ברורה, המציגים אינם מצליחים לענות על שאלות התלמידים בכיתה. (5-10)</p>	<p>מציג רק תלמיד אחד מהקבוצה, ההצגה איננה ברורה, יש הקראה ולא הסבר של המצגת, אין תשובות על שאלות העולות בכיתה. (0-5)</p>
	<p><b>אסטטיות</b></p> <p><b>10 נק</b></p>	<p>ביצוע מעולה מבחינה אסטטית, מעוצב בקפידה רבה עם רמת גמור גבוהה. (8-10)</p>	<p>כותרת וכיתובים שאינם בולטים, הביצוע סביר, המצגת מעוצבת בקפידה אך הגימור ברמה בינונית. (5-7)</p>	<p>ביצוע רשלני למדי, לא ניכר ניסיון לעיצוב מוקפד, ללא מאמץ לשמירה על אסתטיות, אי דיוקים טכניים. (0-4)</p>
<p>עבודת צוות</p> <p>10 נק.</p>	<p><b>שיתוף פעולה בין חברי הצוות.</b></p> <p><b>חלוקת תפקידים בין חברי הצוות.</b></p>	<p>קיים שיתוף פעולה וחלוקת תפקידים ברורה בין חברי הצוות (8-10)</p>	<p>קיים שיתוף פעולה בין חברי הצוות אך לא נערך ארגון לחלוקת תפקידים. אין החלפת מידע ברורה בין התלמידים. (6-7)</p>	<p>קיים שיתוף פעולה חלקי בין חברי הצוות. אין מעורבות פעילה של כל חברי הצוות. אין התארגנות (0-5)</p>

לא הוגש משוב (0-4)	הוגש משוב חלקי (5-7)	הוגש משוב מלא ורציני . (8-10)	כתיבת משוב על קבוצות התלמידים האחרים	10 נק'
אחור מעל 3 ימים במועד ההגשה (0-2)	איחור עד 3 ימים במועד ההגשה (3-4)	עמידה בזמני הגשה (4-5)	הגשה בזמן של התוצר	הגשה בזמן 5 נק

נספח 7: שאלון ממוחשב שניתן לתלמידים לאחר צפייה במצגת.

משוב קבוצה 1



שמות התלמידים המציגים\*

נושא המצגת\*

האם המצגת הייתה מעניינת? \*

1 2 3 4 5

מעניינת מאוד      ממש לא

האם המצגת הייתה ברורה? \*

1 2 3 4 5

ברורה מאוד      כלל לא

האם הוצג נושא חדש לנו? \*

1 2 3 4 5

חדש מאוד      כלל לא

מה נושא זה חידש לנו? מהם הדברים החדשים שלמדנו? \*

האם הפתרון שהוצג במצגת נראה לנו פתרון טוב? הסבירו מדוע\*

מה היינו ממליצים לשנות/לשפר במצגת\* ?

היינו רוצים להוסיף ש....

נספח 8: תוצאות גולמיות של הערכת עמיתים לאחר הצגת מצגות בכיתה.  
קבוצה 1 קיבלה את ההערכה הבאה מצד העמיתים:

רמת העיניין של המצגת: ציון ממוצע של 4.66

רמת הבהירות של המצגת: ציון ממוצע של 4.66

רמת החדשנות של המצגת: ציון ממוצע של 3.66

הערות שניתנו ע"י התלמידים:

מה חידש לנו נושא זה?

- א. למדנו שיש שיטה לצביעת תאים בשם אימונהיסטוכימיה שצובעת חלבון בשם אלפא מיזין, ובעזרת שיטה זו אפשר יהיה להעזר בתאי גזע כדי לשקם את תאי הרקמה המתים (הנמק שנוצר כתוצאה מהתקף הלב).
- ב. הנושא חידש לנו שיש שיטה נוספת בכדי לבדוק האם רקמות חיות או מתות בעזרת השיטה אימונהיסטוכימיה
- ג. חודש לנו מידע על אפשרויות השימוש באלפא מיזין, בנוסף זה חידש לנו לגבי השיטות, אחת בעלת ספציפיות גבוהה ואחת בעלת ספציפיות נמוכה יותר.

האם הפתרון שהוצג נראה לנו כפתרון טוב?

- א. פתרון תאי הגזע נראה מבטיח והגיוני, למרות ששיטת האימונהיסטוכימיה מצריכה ביופסיה/אוטופסיה שתאפשר לנו לגשת לתאי הלב.
- ב. הפתרון נראה לנו מצויין אך קיימת בעיה בביצועו מכיוון שיש צורך בהתאמה של נוגדנים באופן מאוד ספציפי דבר שמקשה על ביצוע השיטה
- ג. כצופים שראויים בפעם הראשונה שיטה כזו, איננו יכולים לאבחן את השיטה מבלי לראות את החסרונות והיתרונות שלה.

אילו שינויים יש להוסיף או כיצד לשפר את המצגת?

- א. היינו מציגים את חסרונות השיטה (לדוגמה, הצורך בביופסיה) ואמצעי חזותי נע כמו סרטון או אנימציה שימחיש בצורה המיטבית את השיטה.
- ב. שקופית ראשונה הרבה מאוד מלל דבר שהקשה על ההבנה
- ג. להוסיף חסרונות ויתרונות, יותר להוסיף פריטים ויזואליים, פתיחת המצגת הייתה עמוסה מעט במלל.

קבוצה 2 קיבלה את ההערכה הבאה מצד העמיתים:

רמת העיניין של המצגת: ציון ממוצע של 3.33

רמת הבהירות של המצגת: ציון ממוצע של 2.66

רמת החדשנות של המצגת: ציון ממוצע של 5

הערות שניתנו ע"י התלמידים:

מה חידש לנו נושא זה?

- א. הדברים החדשים שלמדנו הם כיצד לזהות את התקף לב דרך הבדיקה שהם הציגו
- ב. המצגת הציגה לנו כלים נוספים באמצעותם ניתן לחזות התקף לב . מטרונומי (חומר שמשחרר לאחר שתא לב מת) ישמש כאנדיקטור לזיהוי תא מת וחי.
- ג. נושא זה חידש לנו על אפשרויות שונות של שימוש ברדיואקטיביות לטובת הרפואה.

האם הפתרון שהוצג נראה לנו כפתרון טוב?

- א. הפתרון הוא טוב לזיהוי הבעיה אך לא בתור כלי להחיות ריקמה , הוא יכול להיות טוב בכדי לזהות התקף לב אחריי שהוא קורה.
- ב. הפתרון שמוצג במצגת נראה די מסובך, ולא כל כך הבנו את השיטה לכן לא נוכל לענות . בנוסף לכך, חלק מחברי הקבוצה הציגו את חלקם לא באופן ברור לחלוטין והיו פעמים שלא ידענו על מה מדובר.
- ג. הפיתרון שהוצג הוא פיתרון טוב , אולם דרך ההצגה הייתה לא ברורה. הפתרון לא הוצג באופן ישיר.

אילו שינויים יש להוסיף או כיצד לשפר את המצגת?

- א. המצגת הייתה ארוכה מידי ומסובכת ויותר מדיי מלל בשקופית אחת
- ב. נושא לשיפור הוא שלא מציגים שיטה ע"פ הצגת חסרונות של שיטה אחרת, בנוסף לכך לעיתים קצב הדיבור היה מהיר מדי.
- ג. נושא לשיפור הוא שלא מציגים שיטה ע"פ הצגת חסרונות של שיטה אחרת, בנוסף לכך לעיתים קצב הדיבור היה מהיר מדי.

קבוצה 3 קיבלה את ההערכה הבאה מצד העמיתים:

רמת העניין של המצגת: ציון ממוצע של 4.66

רמת הבהירות של המצגת: ציון ממוצע של 4.66

רמת החדשנות של המצגת: ציון ממוצע של 4.66

הערות שניתנו ע"י התלמידים:

מה חידש לנו נושא זה?

- א. למדנו על השיטה, העובדה שיש CK שכולל CK ללב, למוח, ולשריר.
- ב. שאפשר על ידי בדיקת דם פשוטה לאבחן מצבים מורכבים יחסית כמו התקף לב.
- ג. נושא זה חידש לנו על קיום האנזים, CK על תפקידו ועל תכונותיו ונתן לנו ידע אודות בדיקה פשוטה יחסית וזולה לזיהוי תאי לב מתים.

האם הפתרון שהוצג נראה לנו כפתרון טוב?

- א. הפתרון נראה טוב, למרות החסרונות והיתרונות בשיטה זו.
- ב. כן, הפתרון זול פשוט ובטוח.
- ג. הפתרון נראה לנו טוב רק כאשר מדובר על 5-6 שעות לאחר ההתקף לב, כאשר הזמן שעבר מההתקף לב הוא יותר מזה הבדיקה אינה יעילה.

אילו שינויים יש להוסיף או כיצד לשפר את המצגת?

- א. את הצבע הצהוב הבהיר.
- ב. את צבעי המצגת שיראה יותר מושך לעין.
- ג. היינו ממליצים למצוא דרך לקצר את המצגת ואת זמן הצגתה.

#### קבוצה 4 קיבלה את ההערכה הבאה מצד העמיתים:

רמת העיניין של המצגת: ציון ממוצע של 4.66

רמת הבהירות של המצגת: ציון ממוצע של 4.66

רמת החדשנות של המצגת: ציון ממוצע של 4.66

הערות שניתנו ע"י התלמידים:

מה חידש לנו נושא זה?

- א. למדנו על שיטה חדשה לאיתור תאי לב במיקרוסקופ באמצעות צביעה בחומר מיוחד המופק ממדוזות.
- ב. הדרך בה שריר מתכווץ.
- ג. שישנם מולקולות אצל המדוזה שניתן לראות את החזרת האור ירוק ממנה בעזרת מקרוסקופ פלורסנטי כאשר מקרינים אליה אור כחול.

האם הפתרון שהוצג נראה לנו כפתרון טוב?

- א. הפתרון אפשרי רק במידה ולוקחים דגימה של תאי לב, ולכן אפשרי רק בניסוי מעבדה בהם מרבית תרבית תאי לב.

ב. הפתרון טוב

ג. אמת, הפתרון נראה מעולה ומבטיח מכיוון שהוא לא מורכב יותר מדי.

אילו שינויים יש להוסיף או כיצד לשפר את המצגת?

א. היינו משפרים את העיצוב.

ב. להאריך במלל ולהשקיע בסרטונים ותמונות.

ג. לשנות את חלוקת התפקידים, חלק מהמשתתפים היו יותר דומיננטיים.

הסקת תוצאות הבדיקה (לאחר שהתאים זוהרים) לא הייתה מובנית כ"כ.

**נספח 9: ראיונות עם התלמידים לאחר ביצוע פעילות.**

**ראיון עם חן**

המורה: אז איך היה לחפש פתרון?

חן: היה נחמד. מסובך קצת, אבל נחמד.

המורה: מה היה מסובך בזה?

חן: כי לא ידענו בדיוק מה צריך לחפש. לא היה ברור מה צריך למצוא כפתרון.

המורה: אבל בסופו של דבר הגעתם לפתרון.

חן: נכון, אבל אנחנו עדיין לא יודעים, אם זה באמת הפתרון שמשמשים בו. אני בכלל לא הבנתי כלום ממנו.

המורה: מה לא הבנת? איך הוא עובד. או איך הוא קשור לפעילות של חוקרים?

חן: לא, אני מבינה איך הוא עובד. בהתחלה לא הבנתי, אבל צליל ודניאל הסבירו לי. גם כשהכנתי את המצגת ראיתי אנימציה יפה שהסבירה מאוד יפה. גם הסברתי את זה לתמר (תלמידה מקבוצה אחרת), כי היא לא הבינה איך עובדת העקרון של הקבוצה שלה, והוא דומה במשהו לשלנו. היא גם לא הצליחה למצוא תמונות בשביל המצגת שלה, אז עזרתי לה. אבל מה אנחנו עושים עם זה?

המורה: אתם לומדים על זה – איך עובדת הבדיקה, מה העיקרון של פעילות הנוגדנים המסומנים.

חן: אבל מה למדנו על זה? אז מה שאני יודעת איך זה עובד? מה יהיה אם תשאלני אותי במבחן? לא נראה לי שאני אענה.

המורה: למה שלא תעני? את הרי יודעת את השיטה, ואת המושגים, לדוגמא, מה זה נוגדן מסומן את יודעת?

חן: כן, אבל מה אם תשאלני אותי משהו יותר קשה? מאיפה אני אדע גם מה ללמוד, מה אני עוד פעם אחרוש על האינטרנט?

המורה: למה לא? את תמיד חורשת על האינטרנט כשאת מחפשת משהו. או שאת מסתכלת בספרים?

חן: נכון, כי באינטרנט יותר קל למצוא. אפשר גם לראות כל מיני כיוונים שונים של מה שמחפשים. אבל אם היה ספר שהיה בו מסודר מה שצריך, הייתי הולכת לספר. כי זה מסודר, ובטוח שיש שם כל מה שישאלו.

המורה: ומה עם אנסינים? זה משהו שונה, אין את המידע הזה בספר.

חן: אנסינים זה קל, צריך לקרוא ולהבין את מה שרוצים. זה כמו שהשאלה שנתת, אבל נותנים גם את המידע כדי לענות על השאלות.

המורה: נותנים את התשובות בטקסט?

חן: לפעמים כן, בשאלות הפשוטות, ואז צריך לחשוב. חשבנו טוב הפעם בעבודה שלנו! אבל אל תתני כזה קשה בבחינה. אני לא יודעת, איך אני אתכונן למבחן, אם יהיה משהו כזה.

## ראיון עם דניאל:

המורה: מה אתה אומר, נהנית מהעבודה שעשיתם עם המצגת?

דניאל: מאוד! סוף סוף אנחנו עושים משהו יותר מתקדם.

המורה: מתקדם ממה?

דניאל: מהדוגמאות הישנות של הספרים. קראתי קצת על הנושא של תאי גזע, זה קיבל פרס נובל, ולדעתי זה רעיון גאוני! כל התחום הזה, נראה לי, מתקדם לקראת שינויים גדולים ברפואה.

המורה: ראיתם דברים קטנטנים של שיטות עבודה – ואתה מתקדם כבר לרפואה?

דניאל: נכון, זה קטן יחסית – שיטה אחת, אבל זה כבר יכול לתרום כל כך הרבה לאנשים... ולאורך החיים... בכלל זה מאוד מעניין. וקראתי עוד קצת על כל מיני דברים, את ראית, יש מחקרים שעוסקים בגידול של תאי עצב!

.....

המורה: ואיך היה לעבוד בקבוצה?

דניאל: ממש נחמד, היתה לי קבוצה כיפית, עשינו את הכל ביחד, וכולם שיתפו פעולה, אז היה בסדר.

המורה: אתה עובד בקבוצה גם בביוטק, זה דומה?

דניאל: לא, בכלל לא. אנחנו עובדים שם בזוג, זה קצת שונה, כי פשוט מחלקים את העבודה לשניים. אהבתי את התפקידים שחילקנו, היה כמו משחק. היה גם טוב, כי התאספנו בבית, לבנות מצגת ועשינו הכל ביחד.

המורה: ואיך שאר חברי הקבוצה? גם הם נהנו, לדעתך?

דניאל: נראה לי שכן, גם לא לחצנו אחד על השני, וגם היה בכיף כזה, ללמוד בצורה שונה. נמאס כבר לשבת סתם בכיתה. אל תחשבי, אצלך בשיעור זה מעניין, וגם אצל אליזבט (המורה המובילה את הביוטק), אבל לפעמים מאוד משעמם בבית הספר.

המורה: ואם כבר אנחנו מדברים על אליזבט, אתה חושב שהעבודה שלנו והביוטק דומים במשהו?

דניאל: כן, ולא.

המורה: מה כן?

דניאל: חופרים הרבה חומר חדש. ולא מובן בכלל.

המורה: אבל בביוטק אתם מקבלים הסבר על הכל?

דניאל: כן, אבל אני זריך כל הזמן לעבוד עוד פעם, להזכר מה זה כל דבר, מה אני עושה בדיוק. בעבודה הזאת היה יותר זורם, יותר בקלות.

המורה: למה אתה חושב שהיה יותר זורם?

דניאל: לא יודע... אולי זה פשוט היה מעניין יותר... בכל מקרה, בחרתי משהו שאהבתי, אז גם קראתי על זה קצת... אבל לא יודע. ביוטק נראה לי קל יותר, אבל משום מה אני לא יכול להגדיר למה העבודה הזאת היתה יותר טובה.

### ראיון עם רועי

רועי: אנה, מה עם המבחן?

המורה: היה בסדר, אין לי פה, אבל הציון שלך היה יפה מאוד.

רועי: כי הגזמת עם השאלות המוזרות האלה. מה זה? בכלל לא למדנו את זה.

המורה: אז איך תסביר שהיה לך ציון כל כך גבוה? אם אני זוכרת נכון, קיבלת מעל 95.

רועי: ואללה? לא ציפיתי מעצמי! חשבתי שהלך לי גרוע.

המורה: למה חשבת שהלך לך גרוע?

רועי: כי לא הייתי בטוח. בכלל. אבל היה טקסט יפה במבחן. על דברים חשובים. וכשכתבתי את התשובות סתם רשמתי דברים שבאו לי לראש. חשבתי קצת, ורשמתי.

המורה: מה חשבת? איך הגעת לתשובות באמת?

רועי: ניסיתי לחשוב על כל השיטות שאמרו בכיתה. ולא טוב, אנה, היינו צריכים לרשום את זה! זכרתי כאילו קטעים מהמצגות של אחרים, ואת המצגת שלי, אז ערבבתי קצת ביחד, ויצאו התשובות.

המורה: (מוצאת את המבחן של רועי) הנה, תראה איזה יופי. רק פה טעית קצת, עם הקישור...

רועי: נו... כי מי יודע את זה בכלל? אולי אחד מהכיתה זכר את זה כשעברנו על השאלות אחרי המבחן! זה סתם שאלה קטנה.

המורה: אתה צודק, זה שאלה קטנה. ותראה איך ענית על השאלות האחרות? מאוד יפה, כל הכבוד! ועוד התלוננת על המשימה הזאת.

רועי: כי ידעתי שעוד פעם אנחנו נשב שעות ושעות ונחרוש על זה. זה לוקח המון זמן, יש לנו עוד מקצועות ללמוד.

.....

המורה: תסכם במשפט – מה למדת מהעבודה הזאת?

רועי: לא יודע. אולי כי אפשר למצוא כל דבר, אם מחפשים נכון? וכי ככה אפשר לעשות שיטות חדשות במדע?

## בעיית מחקר - תאי גזע

תאי גזע נבדלים מתאים אחרים בכך שעדיין לא עברו תהליכי התמיינות לתאי רקמות מסוג כלשהו. כאשר תא גזע מתחלק, מתקבלים תא אב, שזהה לתא הגזע המקורי ויכול להתחלק, ותא בת, שעבר התמיינות ולא יתחלק יותר. התאים שהתמיינו מתווספים לרקמות הגוף השונות. התהליך מוצג באנימציה שלפניך.

1. מהם, לפי הידוע לך, ההבדלים המהותיים ביותר בין תאי גזע לתאי לב ממויינים? (15 נק')

---



---

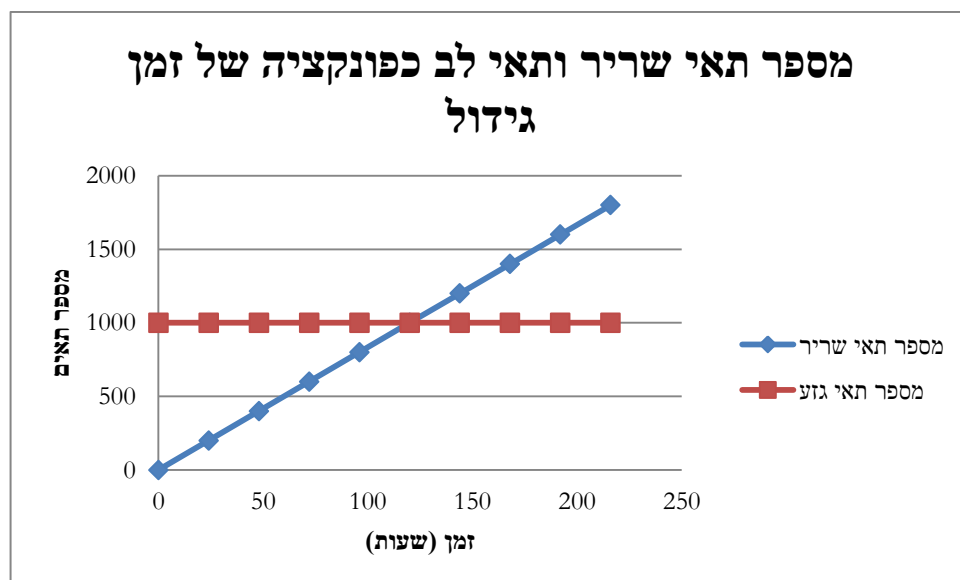


---



---

חוקר ביצע ניסוי ובו לקח תאי גזע וגידל באמצעותם תאי שריר. החוקר מדד את המספר של תאי הגזע ושל תאי השריר מדי 24 שעות, במשך 9 ימים. לפניך גרף, המתאר את תוצאות הניסוי.



2. תאר והסבר את תוצאות הניסוי. (15 נק')

---



---



---



---

---

---

---

---

בעת התקף לב חלק מתאי שריר הלב ניזוקים ומתים. כדי שהלב ימשיך לתפקד באורח תקין צריכים להתפתח במקומם תאים חדשים. בלב מצויים תאי גזע שמהם יכולים להתפתח תאים של כל הרקמות המרכיבות את הלב כגון כלי הדם והשרירים. אצל מבוגרים תאי גזע אלו קיימים אך אינם מתמיינים. חוקרים מצאו שחלבון בשם  $T\beta 4$  נקשר לתאי הגזע בלב ומעורר אותם להתמייין לתאי שריר חדשים הדרושים לשיקום הלב.

אחת השיטות שבה ניתן למצוא ריכוז של חלבון  $T\beta 4$  בתמיסה היא ע"י זיהוי בנוגדנים המסומנים עם סמן פלואורסנטי.

לפני איור של נוגדן מסומן במולקולה פלואורסנטית:



א. מדוע, לדעתך, מולקולת הסמן הפלואורסנטי (בירוק) מחוברת דווקא חלק ה  $Fc$  של הנוגדן? (15 נק')

---

---

---

---

---

ב. האם לבדיקה בשיטה זו היית ממליץ להשתמש בתערובת נוגדנים פוליקלונליים או בנוגדנים מונוקלונליים? הסבר מדוע. (15 נק')

---

---

---

---

ג. החוקרים בחרו בנוגדנים נגד  $T\beta 4$  לשימוש בשיטה זו. שער, ככל שריכוז החלבון בדגימה יהיה גבוה יותר, רמת הפלואורסנציה בדגימה תהיה גבוהה יותר או נמוכה יותר? נמק. (10 נק')

---

---

- 
- 
3. החוקרים מצאו כי החלבון  $T\beta 4$  משפיע על התמיינות תאי הגזע בלב באמצעות קישורו לרצפטור X שנמצא על-גבי תאי הגזע. בגוף מצוי חלבון נוסף, החלבון Y, אשר אינו גורם להתמיינות של תאי גזע, וגם הוא יכול להיקשר לרצפטור X. מכאן שהחלבון  $T\beta 4$  והחלבון Y מתחרים על הקישור לרצפטור X.
- איזו פעולה מבין הפעולות שלפניך תסייע לשיקום הלב? (5 נק')
- הזרקת ריכוז גבוה של החלבון Y
  - הוספת אבץ אשר מגביר את קישור החלבון Y לרצפטור X
  - הוספת מגנזיום אשר חוסם את הרצפטור X
  - הזרקת חומר שמביא להגברת הביטוי של הרצפטור X

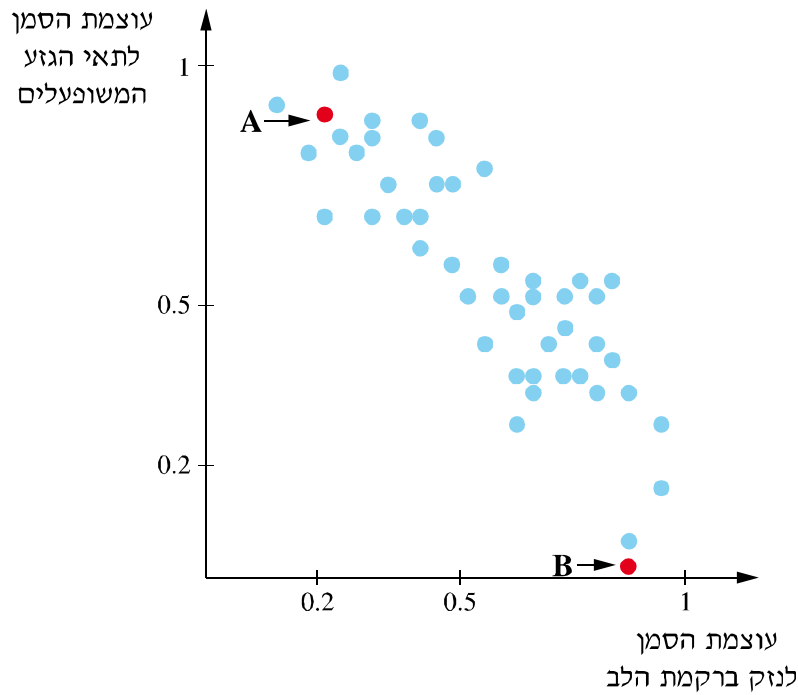
נמק את תשובתך (10 נק')

---

---

---

**כדי לבחון את מידת התמיינותם של תאי הגזע אצל חולים שעברו התקף לב השתמשו החוקרים בשני סמנים: האחד הוא סמן המצביע על מידת הפגיעה בתאי שריר הלב באמצעות אקו-לב (ככל שהפגיעה קשה יותר, רמת הסמן גבוהה יותר); האחר מצביע על מידת השיקום של הלב. זהו חלבון ממברנלי שנוצר בתאי גזע שעברו שפעול ממצב רדום למצב פעיל (ככל שכמות החלבון גדלה, כמות התאים המשופעלים גדלה). בניסוי שנערך נבדקו חולים שעברו התקף לב. החולים קיבלו מיד לאחר התקף הלב את התרופה שנבחרה כמתאימה ביותר לשיקום שריר הלב. כ-48 שעות לאחר התקף הלב ומתן התרופה נבדקה רמת הסמנים אצל כל חולה. תוצאות הניסוי מוצגות בגרף 2.**



כל עיגול מסמן חולה אחד.

הקף את הביטויים הנכונים: (15 נק')

- עוצמת הסמן לתאי גזע משופעלים אצל חולה A **גבוהה/נמוכה** מעוצמתו אצל חולה B. מכאן שחולה A **הגיב טוב יותר/לא הגיב טוב יותר** לטיפול מחולה B.
- עוצמת הסמן לנוק ברקמת הלב אצל חולה B, **גבוהה/נמוכה** בהשוואה לחולה A. מכאן ניתן להסיק שמצב לבו של חולה B **השתפר/לא השתפר** לעומת חולה A.