



**"תוכנית רוטשילד-ויצמן למצוינות בהוראת המדעים"  
במימנה של קרן קיסריה אדמונד בנימין דה רוטשילד**

## **עבודת גמר לתואר שני בהוראת מדעים:**

# **יחידת לימוד בנושא בקרת ביטוי גנים ברמת הרנ"א ככלי ללמידה משמעותית וביסוס של הבנה תהליכית בגנטיקה**

**שם הכותב: עינת פילר**

**מנחים: רונית רוזנשיין**

**גילת בריל**

**יוסי מחלון**

## 30.4.12

### תוכן העניינים:

2.....	מבוא.....
7.....	מטרות היוזמה.....
7.....	מטרת על.....
7.....	מטרות משנה.....
8.....	מיומנויות.....
8.....	חדשנות היוזמה.....
8.....	המקום בסילבוס בו ניתן לשלב את היוזמה.....
9.....	תיאור היוזמה.....
12.....	תיאור הערכת היוזמה.....
13.....	תוצאות.....
13.....	הערכת ביניים- אפיון קשיים והישגים של יחידת הלימוד בגרסתה הראשונית.....
15.....	הערכת ביניים- עקרונות מנחים לעיבוד יחידת הלימוד.....
16.....	הערכה מסכמת- מאפייני הלמידה באמצעות יחידת הלימוד בגנטיקה.....
16.....	עבודה צוותית.....
20.....	למידה קונסטרקטיביסטית פעילה.....
24.....	תפיסת מאקרו-מיקרו.....
25.....	הרחבה והעמקה של בסיס הידע בגנטיקה.....
25.....	הגברת מוטיבציה ללמידה.....
27.....	סיכום ודיון.....
30.....	ביבליוגרפיה.....
32.....	נספח 1- יחידת הלימוד בגרסה סופית.....
44.....	נספח 2- יחידת הלימוד בגרסה ראשונית.....
56.....	נספח 3- הערכת ביניים- תוצאות עבודת 4 תלמידות (תשע"א).....
70.....	נספח 4- יחידת הלימוד בגרסת ביניים עליה עבדו זוג התלמידים.....

**מבוא:**

הדרך בה מוצפן המידע התורשתי בדנ"א, והדרך בה מתורגם מידע זה לחלבונים, הינם אחד מפלאי הטבע אשר גילויים היה צומת מרכזי בתולדות המדע ופתח אופקים חדשים לאנושות. מאז פוענחו מבנה הדנ"א והצופן הגנטי, הולכת וגדלה במהירות חשיבותה של התורשה המולקולארית בחזית המחקר המדעי והיישומי, והשפעתה רבה בתחומים מרכזיים של חיינו כגון הרפואה, החקלאות והתעשייה (Collins et al, 2003). מרכזיותו של ענף התורשה המולקולארית מקבלת ביטוי הולך וגדל גם בבתי הספר, ובמיוחד בחטיבה העליונה. בתכנית הלימודים החדשה בביולוגיה נכללים תכני היסוד של התורשה ברמה המולקולארית בתכנית הליבה המחייבת את כל תלמידי הביולוגיה, ולא רק את התלמידים הלומדים את נושא התורשה כנושא בחירה. תלמידים הלומדים את התורשה ברמה המולקולארית בבתי-הספר נתקלים בקשיים רבים בהבנת מושגים המתייחסים למולקולות ולתהליכים (Marbach-Ad and Stavy, 2000). מושגים אלו הינם מופשטים, ולעתים קרובות אין לתלמידים היכרות מוקדמת עימם מחיי היום יום (Duncan and Reiser, 2007). הקשיים בהוראת התורשה המולקולארית מתאפיינים הן בקושי להבין את התכנים ברמת המיקרו (הרמה המולקולארית והרמה התאית), והן בקושי לקשר בין רמות אלה לבין רמת המאקרו של התורשה (רמת הפנוטיפ הניתנת לתפיסה ישירה באמצעות החושים) (Tsui and Treagust, 2004). הקושי מתעצם אצל תלמידים הלומדים את נושא התורשה כנושא בחירה עקב העמקה בתכנים מורכבים ומופשטים. ואם לא די בכך כדי להרתיע מורים מללמד את הנושא, מתווסף גם הקושי של המורים עצמם למשוואה. תחום התורשה המולקולארית מתקדם בקצב מסחרר ומקשה על מי שעזב את האקדמיה להתעדכן. לפיכך, מורים רבים נמנעים מללמד את נושא התורשה עקב העדר ידע עדכני שיוצר קושי גם אצלם.

מורים שלא נרתעים מהקושי ומהאתגר שבהוראת נושא התורשה כנושא בחירה עושים זאת בדרך כלל מתוך ההכרה בחשיבות החשיפה של תלמידי החטיבה העליונה לנושאים העדכניים ביותר הנמצאים בחזית המחקר. ברם, העדכנות שבנושא התורשה המולקולארית היא גם המכשלה עבור המורים עצמם שסיימו את לימודיהם האקדמאים זה מכבר.

אחד התחומים שנמצא בחזית המחקר הביו-מולקולארי כיום הוא נושא בקרת ביטוי גנים ביצורים אאוקריוטים. ההתקדמות המואצת בתחום זה דורשת עדכון מתמיד מצד המורים ומצד חומרי ההוראה-למידה. מורי הביולוגיה בחטיבה העליונה מקפידים להתעדכן בימי עיון והשתלמויות שמוצעות להם במהלך השנה ובחופשה. אבל, עד שלא יפותחו אמצעי הוראה מתאימים או יעודכנו ספרי הלימוד הישנים, ימנעו מרבית המורים מלהטמיע את החידושים בכיתתם.

ספר הלימוד בתורשה לחטיבה העליונה, פרקים בתורשה (יהודית עתידיה, המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית), כולל התייחסות למנגנוני בקרת ביטוי גנים ביצורים פרוקריוטים, אך הוא לא מציע הסברים ממצים ומספקים לבקרת ביטוי גנים ביצורים אאוקריוטים. עיקר הקושי בספר נובע מהתייחסות לדוגמאות ולא לעקרונות מרכזיים. מנגנוני בקרה של ביטוי גנים בשלב שאחרי השעתוק, ברמת הרנ"א והחלבון, שנחשפו בעשורים האחרונים, ביניהם מיקרורנ"א, לא קיבלו התייחסות בספר הלימוד בכלל.

לאחרונה הולכים ונחשפים תפקידים נוספים למולקולות הרנ"א, פרט לתפקידים המוכרים כרנ"א שליח, רנ"א מעביר ורנ"א ריבוזומלי. ההתייחסות לרנ"א מפריע בהשתקה של גנים מופיעה בשולי הפרק בספר הלימוד, במסגרת קטנה, ומהווה נושא העשרה שאיננו מפורט או מוסבר היטב.

עידן הידע המוביל אותנו אל המאה ה-21 מאופיין בדינאמיקה רבה, פלורליזם, השתנות והתחדשות מתמדת, ולכן אין הידע נתפס עוד כסופי ומוחלט. הידע הקיים היום בתחומים רבים עשוי להשתנות במהרה כך שנושאים הנלמדים היום עשויים להיות פחות רלוונטיים בעתיד.

לאור שינויים אלה עולה הצורך להכשיר בוגר 'אחר' היוצא משערי בית הספר, לומד בעל מיומנויות ויכולת תפקוד מקצועי בעולם טכנולוגי מתוחכם שכמות הידע בו משתנה במהירות. קיימת הסכמה בקרב אנשי חינוך וחברה בדבר הצורך לפתח אצל התלמידים את "מיומנויות המאה ה-21" (זוהר, 1996). מיומנויות אלה מתמקדות בשלושה תחומים מרכזיים אשר הפדגוגיה החדשנית אמורה לתת להם מענה:

**מיומנויות חשיבה מסדר גבוה** הכוללות חשיבה יצירתית וכושר המצאה, חשיבה ביקורתית ומיומנויות לפתרון בעיות.

**מיומנויות של עבודה שיתופית**, למידה עצמית ואתיקה.

**מיומנויות לאיתור ידע ולרכישת ידע חדש באופן עצמאי**; כישורים לשימוש מושכל בידע לשם פתרון בעיות; כישורים לבחירה מושכלת ולהערכה ביקורתית; כישורים לתקשר ולשיתוף פעולה עם אחרים (בירנבוים מנוחה וחובריה, 2004).

בהכללה ניתן, אפוא, לומר כי לשם תפקוד מוצלח במאה ה-21 נדרש אדם להיות מסתגל, חושב ואוטונומי, דהיינו, להיות לומד בעל **הכוונה עצמית** בלמידה שיתמיד בלמידתו לאורך החיים.

על פי **הגישה הקונסטרוקטיביסטית** (Greeno et al, 1996), מטרת ההוראה היום אינה העברת מידע ושינון כי אם פיתוח היכולת ללמוד באופן עצמאי, לחשוב ולשקול סביב בעיות אותנטיות המחייבות שימוש בידע קודם בשילוב עם ידע חדש. התיאוריה הקונסטרוקטיביסטית בתחום הלמידה שמה דגש על הבניית הידע האישי של התלמיד על ידי הפיכת מידע לידע דרך התנסות אישית (Cartier and Stewart, 2000). עיקר היכרותנו עם הקונסטרוקטיביזם המודרני בא מצמד החוקרים ברוקס וברוקס (1997), אשר פורשים משנה סדורה באשר להשלכות היישומיות של המורה והלומד הקונסטרוקטיביסט. במרכזה של הגישה עומדת אמת פשוטה שהלומד שולט בלמידתו. לפי התיאוריה, הלמידה היא תהליך פעיל בו הלומד בונה את הידע וההבנה שלו בעצמו תוך **למידה פעילה** המשלבת מעורבות בתהליכי חשיבה תוך כדי ניסיון שלו לקשר ידע חדש למושגים ורעיונות קיימים.

אדם חייב להיות פעיל כדי ליצור ידע חדש ולהגיע ל**למידה משמעותית**. הצורך ליצור קישורים ומבנים חדשים הוא הצורך לפתור קונפליקטים קוגניטיביים פנימיים המתגלים או הבאים לידי ביטוי במהלך הלמידה. שלא כמו בהוראה המסורתית, לפיה המורה הוא מקור הידע והסמכות, הוראה קונסטרוקטיביסטית שמה דגש על למידה פעילה של התלמיד כדרך לרכישת הידע. על פי תיאוריה זו הלמידה היא תהליך עצמאי שנעשה רק על

ידי הלומד בתהליכים אישיים פנימיים ומנטאליים, ומרגע שהידע נבנה הוא הופך להיות נכס אישי של הלומד. לפי תפיסה זו, רכישת ידע חדש אינה פעולה פשוטה וישירה של העברה, צבירה או הפנמה, אלא עיסוק פעיל של הלומד באיסוף, בהרחבה, בשחזור, בפירוש או במינוח רחב יותר, בבנייה של ידע בעזרת חומרי הגלם של הניסיון, תבניות חשיבה בסיסיות והמידע המסופק לו. לעתים, רעיון חדש מעורר ארגון מחדש של מבנים מנטאליים, שנוצרו בהתנסויות קודמות והם כבר קיימים בראשו של הלומד (קורמהולץ, 2000).

הילד מטבעו הינו בעל סקרנות ומוטיבציה ללמוד. הוא מסוגל לקבל החלטות ולהיות אחראי ללמידה שלו. הלמידה, על פי הגישה הקונסטרוקטיביסטית, מתעצמת כשהיא נובעת מעולמו של הילד וכשיש התנסות עצמית והתמודדות עם הצלחות וקשיים. בית הספר, כסביבה מטפחת לומד בעל הכוונה עצמית, צריך ליצור סביבה לימודית תומכת ומאפשרת (Salomon, Perkins & Globerson, 1991).

כאמור, במרכזה של הגישה הקונסטרוקטיביסטית עומד התלמיד, אשר יש לאפשר לו קצב למידה והתפתחות המותאמים לו עצמו, להציב בפניו מטרות לימודיות, חברתיות ואישיות, ההולמות את יכולתו, נטיותיו ודרכי למידתו (Skager, 1984). בתהליך זה המורה הופך למנחה המלווה את תהליכי הלמידה של תלמידיו על ידי יצירת הזדמנויות ופעילויות המותאמות לרמת המוכנות של התלמיד. בהתאם לכך בית הספר צריך להפוך מספק ידע למקום המארגן הזדמנויות להתמודד עם ידע. אם כך, תפקיד המורה במערך זה הוא לפתח סביבות למידה המזמנות פיתוח מיומנויות קוגניטיביות הכוללות: חשיבה ביקורתית, חשיבה לוגית, שאילת שאלות, שימוש יעיל במידע על ידי ניתוח נתונים, והסקת מסקנות.

לפי תפיסה זו, ההוראה נתפסת כדו-שיח בין המורה לבין התלמיד, שבמהלכו מסייע המורה לתלמיד להפנים את הידע, לעתים באמצעות **שינוי תפיסתי**. מורה קונסטרוקטיביסט עושה שימוש תדיר בשיטת הערעור. המחקרים מראים כי כאשר מורים מאפשרים לתלמידים לבנות ידע הקורא תיגר על הנחותיהם – מתרחשת למידה (Gardner, 1991). לפיכך, המרכיבים החיוניים לשינוי תפיסתי הם חשיפת הידע הקודם של הלומד בנושא וזימון סיטואציה שיוצרת קונפליקט קוגניטיבי משמעותי אצל הלומד.

לאור זאת מתחייב שינוי בדגשים ובמטרות ההוראה. מן הראוי ששימת הדגש המרכזי בתהליך ההוראה לא יהיה עוד שינון החומר, אלא חקירה ושימוש משמעותי בידע. על כן אחת ממטרות-העל של מערכת החינוך כיום היא להכשיר לומד עצמאי, חושב ובעל מכוונות עצמית ללמידה. לומד היודע לעשות שימוש נכון במידע ולהפכו לידע. הכשרת לומד בעל מכוונות עצמית דורש שינוי מהותי בתפיסת ההוראה ותפקיד המורה בתהליך הלמידה.

ברם, בכיתה גדולה קשה מאוד להשיג מעורבות פעילה של כל התלמידים, ולעיתים קרובות רק חלק קטן וקבוע של התלמידים בכיתה לוקח חלק פעיל בדיונים בעוד שתלמידים רבים אינם שותפים פעילים כלל. בצורה כזו יכול המורה לאתגר רק את התלמידים הפעילים בעוד שהתלמידים ה"דוממים" לא חווים למידה משמעותית. אם כן, קל יותר להשיג למידה משמעותית כתלמיד בודד, וככל שהכיתה גדולה יותר קשה יותר ליישם למידה משמעותית. **הלמידה העצמית** עשויה לענות על חלק מהקריטריונים של למידה משמעותית

משום שהיא שמה את הלומד היחיד במרכז, אך היא מתעלמת מההשפעות הסוציו-חברתיות על תהליך הלמידה.

תיאוריות חברתיות של למידה הן תיאוריות המייחסות חשיבות מרכזית ללמידה שיתופית. תיאוריות כאלה מדגישות את החשיבות של יצירת הזדמנויות להחלפת רעיונות, לשקילה והערכה הדדית של מידע, דעות ורעיונות, ולאפשרות לשאול שאלות.

לייב ויגוצקי היה חלוץ הגישה החברתית-תרבותית להבנה של תהליכים קוגניטיביים בהתפתחות הילד. ויגוצקי ביקר את התיאוריה של פיאז'ה, שלשיטתו התמקדה רק בפעילות המנטלית של היחיד, ונתפסה על-ידו כאינדיבידואליסטית במידה קיצונית. הוא טען שלהקשר החברתי בו מתרחשת הלמידה יש משקל גדול בהרבה מכפי שאפשר היה לשער על-פי התיאוריה של פיאז'ה. ויגוצקי האמין כי אינטראקציות מגוונות בתוך הקשר חברתי-תרבותי הן צורך בסיסי של האדם ותנאי הכרחי ללמידה (Vygotsky, 1978). יתר על כן, לפי השקפתו, האינטראקציה החברתית היא הגורם המעורר הראשוני המאפשר ומדרבן התפתחות קוגניטיבית ואינטלקטואלית אצל בני אדם.

ויגוצקי אמנם לא התעלם מקיומן של פעולות מנטליות המתנהלות בתוך ה"מוח" (הקוגניציה) של היחיד. הוא כינה אותן "דיבור פנימי"; אך בעיניו, ה"דיבור הפנימי הראשוני" של הילד, הנעשה באמצעות מושגים ספונטניים מעורפלים, הופך להיות חשיבה במושגים מובחנים, רק בהשפעת אינטראקציה של היחיד עם גורם חיצוני, סביבתי, שמנהל איתו דיאלוג – למשל, המורה המלמד ילד. ויגוצקי טוען כי כל הפונקציות המנטליות ברמה הגבוהה, מתפתחות מיחסים חברתיים.

העיקרון המרכזי המבטא את התיאוריה של ויגוצקי מכונה טווח ההתפתחות הקרוב ( **Zone of Proximal Development - ZPD** ). הוראה תהיה אפקטיבית אם היא תתבסס על השלב הבא של התפתחות הילד ולא על השלב הנוכחי. טווח ההתפתחות הקרוב מאפשר למורה לדעת מה התלמיד יכול להשיג ע"י שימוש בטווח ההתפתחות הבאה וכך לעזור לילד להגיע לרמה זו בעצמו. התפקיד של המורה הוא לא לפשט את התוכן אלא לספק תוכן לא מוכר וליצור מצב בו התלמיד יכול לעבור מרמתו העכשווית לרמה גבוהה יותר. אחת הדרכים למימוש הפוטנציאל אצל התלמיד, מותנה בהתנסות באינטראקציה חברתית עם אדם מיומן ממנו, מבוגר או חבר. התיווך המתרחש בין המבוגר לילד הופך להיות כלי מחשבתי המקדם התפתחות.

התיווך של המבוגר הוא מעין 'פיגום', עפ"י ברונר (Bruner, 1996), המאפשר לטירון לעבור משלב התפתחותי אחד לשלב התפתחותי גבוה יותר. כאשר 'טירון' ו'מומחה' (שני לומדים בעלי ZPD שונה) עובדים במשותף על משימה מסוימת, תרומתו של המומחה היא בבניית סביבה תומכת ומעודדת תוך יצירת 'פיגומים' המאפשרים לטירון להתמודד עם המורכבות של המשימה על ידי מתן כלי עבודה, הכוונה ועידוד. פיגומים מספקים את העזרים הנלווים הדרושים לביצוע המשימה; בלעדיהם היא לא תושלם. על ידי הסיוע והעבודה המשותפת, מאפשר המבוגר תרגול של יכולות קיימות אצל הילד וכן התקדמות לעבר פיתוחן של יכולות חדשות הנשענות על הקיימות. עם הזמן מסיר המבוגר את הפיגומים באופן הדרגתי עד שכל המשימה מתבצעת על ידי הילד בשלמותה. הפיגומים הם הדיאלוג בין הטירון למומחה.

טווח ההתפתחות הקרוב מכתוב את רמת הדיאלוג שיתרחש בין טירון לבין מומחה ותכניו. הסיוע הניתן לילד תוך כדי עבודה מונחית מכוון לפער שבין מה שהילד יודע ומבין (הרמה ההתפתחותית של הילד) ובין מה שעדיין אינו יודע ואינו מבין אך מסוגל בעזרת סיוע לבצע. מכאן שתלמידים חלשים זקוקים ליותר תמיכה מהמורה (ואולי גם מגורמים אחרים: חברים בעלי ידע או מיומנויות גדולים יותר, עזרי הוראה) לעומת תלמידים חזקים, אך עדיין יכולים, בעזרת התמיכה, להגיע לרמת הפעילות הנדרשת.

ברם, תלמידים לא יגיעו לרמת מומחיות בידע אלא אם רמת **המוטיבציה** שלהם גבוהה (Danchak & Huguet, 2004). מכאן נובע, שלמורה יש תפקיד משמעותי מאוד לא רק בתכנון סביבת הלימודים אלא גם ביצירת מוטיבציה ובהדרכת הפעילות העצמאית של התלמיד. כדי להגביר את המוטיבציה של התלמידים לפעול באופן עצמאי ומשמעותי, המורה צריך להציג ללומדים מטלות המזמנות ביצוע מתוך מעורבות והבנה. תפקיד המורה הוא לאתגר את חשיבת הלומד ולאפשר לו בעלות על תהליך הלמידה ותהליך פתרון בעיותיה. לשם כך יש להציג ללומד **מטלות אותנטיות** הכוללות פעילות קוגניטיבית שמשקפת אתגר איתו מתמודדים מדענים העוסקים במחקר (מיוזוסר וחובריה, 2006). בדרך זו יצליח המורה להגביר את סקרנותם של תלמידיו לעולם המחקר, ולהעניק להם תחושה של שותפות באתגר של במציאת הסברים לתופעות ולמצאים.

הבנת **"מהות המדע"** (The Nature of Science) ועבודת המדען הוא יעד חשוב ומרכזי העומד בבסיסה של כל תוכנית הלימודים בהוראת המדעים. למידה המפעילה תהליכי **חשיבה מדעית**, מאפשרת לתלמידים להתחקות אחר עבודת המדען, לעסוק "במחקר" ולעבור את תהליכי החקר והגילוי בעצמם. פעילות החקר המדעי מזמנת לתלמידים הזדמנות להכיר את "רוח המדע" ותורמת להבנת אופי עבודת המדען ומהות המדע כתהליך דינאמי של צבירת ידע, וכתוצר של החשיבה המדעית של האדם (Ausubel, 1968). אסטרטגיות חשיבה מדעית כרוכות בחשיבה מסדר גבוה.

ניתוח הצרכים העתידיים שהוזכרו לעיל, וחתירה ללמידה משמעותית ולהפקת ידע מחולל, מעלה אפוא שורה של מיומנויות המחייבות לעשות שימוש בתהליכי חשיבה מסדר גבוה. מכאן, שאסטרטגיות הוראה המתאימות להתאים עצמן לעידן המודרני ולטיפוח של לומד חושב ועצמאי, בעל מיומנויות אוריינות מדעית, צריכות לכוון לחינוך לחשיבה מסדר גבוה. יחידת הלימוד הנידונה כאן, נשענת על גישת הלמידה הקונסטרוקטיביסטית.

המטלות הניתנות לתלמידים מעודדות הפעלת תהליכי חשיבה מסדר גבוה ומשלבות, תהליכי חשיבה מדעית. בנוסף, הסביבה הלימודית המתוארת כאן, שואפת לטפח אינטראקציה חברתית ומוטיבציה גבוהה, ומתבססת על עקרונות הלמידה השיתופית. ההנחה היא, שפריצת המסגרת הנוקשה של הלמידה המסורתית, המתבצעת בעיקר ע"י העברת מידע מהמורה אל התלמיד, תיצור הנאה ומוטיבציה מתהליך הלמידה ע"י חקר, גילוי, ניתוח, תכנון ועשייה. המוטיבציה וההנאה מתהליכי הלמידה מהווים יחד גורם חשוב ובסיס מוצק להתפתחות אישית ולהצלחה בלימודים.

## מטרות היוזמה:

### מטרת על –

הטמעה של חשיבה תהליכית ברמה המולקולארית (רמת המיקרו) תוך הרחבה והעשרה של ידע בנושא בקרת ביטוי גנים ברמת הרנ"א ביצורים אאוקריוטים בקרב תלמידי ביולוגיה בחטיבה העליונה באמצעות משימת אוריינות מדעית.

הבנייה של ידע תיאורטי בגנטיקה תוך התנסות בפתרון בעיות אותנטיות.

### מטרות משנה –

התלמיד ידע כי קיימים גנים שאינם מקודדים לחלבון אלא משועתקים ומשמשים לבקרת ביטוי של גנים אחרים.

התלמיד יכיר את תפקידה של מולקולת רנ"א המשלימה לרנ"א שליח בבקרת ביטוי גנים.

התלמיד יבין עקרונות של בקרה בדרך של רנ"א חד-גדילי מפריע בפרוקריוטים.

התלמיד יבין כיצד נוצרת בתא מולקולת רנ"א דו-גדילית.

התלמיד יבין עקרונות של בקרה בדרך של מיקרורנ"א (רנ"א דו-גדילי) באאוקריוטים.

התלמיד יבין את החשיבות של מיקרורנ"א בהגנה תאית מפני וירוסים.

התלמיד יציע יישומים טכנולוגיים, מחקרניים ורפואיים למולקולות מיקרורנ"א.

התלמיד יקשר בין תופעות ברמת האורגניזם לתופעות ברמה המולקולארית.

התלמיד יסביר תופעות מקרוסקופיות באמצעות מושגים ותהליכים ברמה המיקרוסקופית.

התלמיד יבין שהתקדמות מדעית מתרחשת בצעדים קטנים, נדבך על גבי נדבך, ומעורבים בה חוקרים רבים שמבצעים מחקרים לא תלויים, ושאוסף הממצאים מאפשר פריצת דרך משמעותית.

התלמיד יכיר את עולמו של החוקר ואת עקרונות התפתחות המדע בדרך של גילויים לא-ליניאריים בזמן.

## הנושא התוכני שאליו מכוונת היוזמה:

בקרת ביטוי של גנים ברמת הרנ"א-שליח תוך התמקדות במיקרורנ"א.

## פירוט המיומנויות שהיזמה מבקשת לבסס:

למידה פעילה.

הסקת מסקנות על סמך תוצאות מחקר.

יישום ידע.

הבניית ידע תוך עבודת צוות.

חשיבה ביקורתית.

## חדשנות היזמה:

בספר הביולוגיה המשמש להוראה של נושא התורשה בחטיבה העליונה מוקדש פרק לנושא בקרת ביטוי גנים. הפרק כולל התייחסות לבקרה ביצורים פרוקריוטים (אופרון הלקטוז) ולבקרה ביצורים אאוקריוטים.

נושא בקרת ביטוי גנים באאוקריוטים התפתח מאוד בשנים האחרונות, אך ספר הלימוד איננו מעודכן בחידושים האחרונים. כך, למשל, בנוגע לבקרה ברמת הרנ"א, קיימת התייחסות לרנ"א מפריע (iRNA) במסגרת העשרה, אך ההתייחסות מצומצמת ולא מספיקה להבנה טובה של עקרון הפעולה.

היזמה מהווה חידוש בתחום התוכן והיא מציעה פעילות באורך של שיעור כפול ללמידה עצמית מונחית של הנושא. לחלופין, מורה יוכל להסתייע במשימה המתקשבת להוראה פרונטאלית של הנושא בכיתו.

בפעילות ייחשף התלמיד ללמידה פעילה, עצמית או בצוות תוך שליטה על קצב התקדמותו.

## המקום בסילבוס שבו ניתן ללמד את היזמה

היזמה מיועדת להעמקת הידע וההבנה של תהליכי בקרת ביטוי גנים ברמת הרנ"א בכיתות בהן מלמדים את נושא הגנטיקה (נושא הרחבה) בחטיבה העליונה. מומלץ לחשוף את התלמידים לפעילות בסיום ההוראה של הפרק העוסק בבקרת ביטוי גנים.

## תיאור יחידת הלימוד:

יחידת הלימוד שפיתחתי היא ניסיון לגשר על הפער בין מה שנלמד בכיתה בביולוגיה לבין החידושים הרבים בביולוגיה. כמו כן, זהו ניסיון לתת מענה לקושי ידוע של תלמידים לקשר בין רמת הפנוטיפ לרמה המולקולארית בתחום הגנטיקה.

על פי תיאוריית הלמידה הקונסטרוקטיביסטית, לכל לומד יש דרך משלו להבניית ידע, ותהליך משמעותי של הבניית ידע יכול להיות מושג בדרך של למידה פעילה. לפיכך, תוכנית הלימוד במדעים צריכות לאפשר ולעודד למידה פעילה.

על פי התיאוריה הסוציו-חברתית, למידה היא תהליך של הטמעה לקהילת מומחים ורכישת ידע תלוי הקשר, ניסיון והתנסות. לפיכך, מורי המדעים צריכים לשלב משימות אותנטיות שיקרבו את התלמידים (הטירונים) אל עולם המדע (המומחים).

כדי לאחד בין שתי הגישות באופן מעשי פיתחתי יחידת לימוד המאפשרת ללומד לעסוק בלמידה פעילה, בדומה לאופן בו למידה מתרחשת בעולם המחקר המדעי, תוך היכרות עם עולם המחקר ותהליכי צבירה וערעור הידע המתרחשים בו. הפעילות מזמנת לתלמיד הצצה למחקרים שהיו הבסיס לתגליות פורצות דרך. התלמיד מקבל הזדמנות להתנסות בפעולות קוגניטיביות דומות לאלה שבהם התנסו החוקרים ומקבל הצצה לאופן בו ידע נוצר.

יחידת הלימוד שפיתחתי מיועדת לתלמידי ביולוגיה בכיתה יב' הלומדים את נושא הגנטיקה בהרחבה. המשימה עוסקת בבקרת ביטוי גנים בכלל ובבקרה ברמת הרנ"א בפרט, ומטרותיה הגלויות הן עבודה צוותית לשם ביסוס ידע שנלמד בכיתה ולשם העמקה. המטרה הסמויה מעין התלמיד היא שינוי תפיסת הגנטיקה ממדע הנותן תשובות ברמת האורגניזם (מאקרו) למדע הנותן הסברים ברמה המולקולארית (מיקרו).

למידה באמצעות יחידת הלימוד שפיתחתי חושפת את התלמידים לתחום הדעת בדרך שונה מהדרך המסורתית ללמידה. במהלך שעה וחצי של עבודה מוסת מרכז הכובד בכיתה מהמורה לתלמיד. התלמיד מתבקש לעקוב אחר המשימות ולהבנות בעצמו את הידע החדש על בסיס הידע הקיים. התלמיד פעיל ועובד בקצב שלו. התלמיד יכול לחזור בכל שלב לחלקים קודמים בפעילות כדי להיזכר או לברר פרטים. המורה אחראי ליצירה של סביבה תומכת ומאפשרת למידה: סביבה שקטה, נגישות למחשב, עידוד ותמיכה כשנדרש.

יחידת הלימוד מבוססת על ידע קודם של התלמיד בנושא מבנה הדנ"א, תהליך התעתוק השחבור והתרגום. היחידה בנויה בהדרגה: בכל פרק נדרש התלמיד להסיק מסקנות על סמך טקסט, תרשים או סרטון קצר, והוא מונחה באמצעות שאלות שמתפתחות מסדר חשיבה נמוך לסדר חשיבה גבוה.

השאלות כוללות 3 ממדי הבנה:

**מיקוד ואיחזור מידע גלוי ומפורש:** שאלות להצפת ידע קודם, לאיתור פריטי מידע מפורשים בתרשים או בטקסט, לאיתור הגדרות, למתן הסברים ורעיונות המפורשים בטקסט, לזיהוי קשרים לוגיים מפורשים, לרבות רצף כרונוולוגי.

**הסקה ישירה:** שאלות להבנת מילים וביטויים מתוך ההקשר, להבנת קשרים לוגיים שאינם מפורשים בטקסט (קשרי גומלין, רצף תהליכים, סיבה ותוצאה), להבנת רעיונות מרכזיים, ליצירת הכללות.

**פירוש ומיזוג של רעיונות ומידע:** שאלות ליצירת קשרים בין רעיונות ולעריכת סינתזה של מידע, שאלות להבנת התייחסויות והשתמעויות רחבות יותר הטמונות במידע המופיע בטקסט, יישום ידע. שאלות המכוונות לשימוש במיומנויות חשיבה כגון: העלאת השערות, השוואה ועימות של מידע, הבעת עמדה.

רוב השאלות הן סגורות ודורשות מהתלמיד לבחור תשובה נכונה מתוך מספר תשובות אפשריות. שאלות רב-ברירתיות משמשות כפיגומים ומאפשרות לתלמיד להתמקד במידע המוצג בפניו. השאלות נוסחו בצורה שתקדם את התלמיד, שלב אחר שלב, לקראת הבניית ידע בצורה משמעותית ונכונה. התשובות עושות שימוש במונחים המדעיים המתאימים ובדרך זו הן מרגילות את התלמיד לעשות שימוש במינוח המקצועי כאשר לקראת סוף יחידת הלימוד הוא נדרש לנסח בעצמו תשובה לשאלות פתוחות (שאלות 28 ושאלות סיכום ידע).

בתחילת יחידת הלימוד מתבקש התלמיד להשיב על שאלון קצר לאבחון ידע בנושא בקרת ביטוי גנים באוקריוטים. התלמיד מתבקש לענות על 3 שאלות בנושא בקרה על ייצור והפרשה של אינסולין מתאי בטא שלבלב. המידע המוצג לתלמיד מוכר לו מלימודי הפיזיולוגיה של גוף האדם. 3 השאלות מכוונות בהדרגה, מניסוח כללי לניסוח מפורש, לקראת תשובות המצביעות על מנגנונים מולקולאריים שנלמדו במסגרת לימודי הגנטיקה. המטרה היא לבחון את היכולת של התלמיד לעשות שימוש בידע קודם ולבחון את רמת השליטה בידע זה.

לאחר שאלון אבחון הידע ניגש התלמיד למשימה המחולקת ל- 5 יחידות:

ביחידה הראשונה מוצג רעיון הבקרה על ביטוי גנים כחזרה וקישור לידע קודם. ביחידה זו מופיעות 2 שאלות ברמת ידע שתפקידן להוביל את התלמיד לקראת הנושא בו עוסקת הפעילות.

ביחידה השנייה מופיע הרעיון שעליו מושתת עקרון הפעולה של מיקרורנ"א, דיינו רנ"א משלים. התלמיד מתבקש להתמקד באיור שלפניו ולאתר בו מידע. גם פרק זה מבוסס על ידע קודם של התלמיד בנוגע לתהליך התעתוק (גורם תעתוק, פרומוטר, גדיל דנ"א מקודד). ביחידה זו עושה התלמיד לראשונה הכרות עם המונח רנ"א "סנס" ורנ"א "אנטיסנס" ומתבקש לשער כיצד נוכחות של רנ"א אנטיסנס ישפיע על ביטוי הגן.

ביחידה השלישית עוקב התלמיד אחר תוצאות מחקר שפורסם ב- 1984 והניח את היסודות לבקרת ביטוי גנים ע"י רנ"א משלים (RNAi) בפרוקריוטים. התלמיד מונחה לעקוב אחר תרשים המתאר את מנגנון הבקרה של גן אחד על גן אחר, ולזהות את עקרון הבקרה בדרך של רנ"א מפריע.

היחידה הרביעית מציגה את אחד מתוצאות המחקר שערכו צמד מדענים, זוכי פרס נובל, פייר ומלו, שמצאו כי הזרקת רנ"א דו-גדילי אקסוגני, בעל רצף משלים לגן נבחן, גורם להשתקת הגן בעוד שרנ"א משלים לא מצליח לעשות כך. תוך כדי קונפליקט בין ידע, שאותו צברו במהלך המשימה עד כה, לידע חדש, התלמידים נחשפים לחשיבות המנגנון התאי המבוסס על רנ"א דו-גדילי ביצורים אוקריוטים בהגנה מפני וירוסי רנ"א ובבקרת ביטוי גנים. גם ביחידה זו מופיע מידע ושאלה שמבוססת על ידע קיים (הגברת פעילות באמצעות מנגנונים אנזימטיים) במטרה לאגן את המידע החדש אודות רנ"א דו-גדילי לתוך סכימת הידע הקיימת במוחו של התלמיד.

בסוף היחידה הרביעית מופנים התלמידים לסרטון המציג מחקר שנעשה בארה"ב במטרה להגביר את צבעם של פרחים סגולים באמצעות החדרה של עותקים נוספים של הגן לפיגמנט סגול לצמחי פטוניה, ותוצאותיו המפתיעות היו איבוד מוחלט של הפנוטיפ הסגול. הסרטון משלב אנימציה המפשטת את תהליך התעתוק והתרגום בתא תוך שהיא עומדת על חשיבותו של מנגנון 'שיטור' תאי בזיהוי רנ"א וירלי, על בסיס המבנה הדו-גדילי שלו, וחיתוכו בטרם הוא מתורגם לחלבון. מנגנון 'שיטור' זה הוא גם המנגנון עליו מבוססת הבקרה באמצעות רנ"א דו-גדילי אנדוגני.

ביחידה החמישית והאחרונה לומדים התלמידים על מקורו של רנ"א דו-גדילי, המשמש בבקרת ביטוי גנים, בתאים אאוקריוטים ולמדים כי 1-4% מהגנום האנושי מקודד למיקרורנ"א. גם ביחידה זו נחשפים התלמידים למחקר שבמהלכו נתגלתה מולקולת המיקרורנ"א. התלמידים מופנים לצפות בסרטון נוסף המתאר בקצרה את מנגנון העיכוב באמצעות מיקרורנ"א, ומתבקשים לכתוב קריינות לסרטון. השאלות ביחידה זו בוחנות את ההבנה של התלמיד בנוגע למנגנון הפעולה של מיקרורנ"א.

בסופה של כל יחידה מופיע סיכום קצר של הרעיון המרכזי שנלמד בה תוך שימוש במושגים החדשים אליהם נחשף התלמיד. סיכום הפרק מהווה קביים ומאפשר לתלמידים לזהות את הרעיון המרכזי הנובע מהמחקר המתואר בפרק ולקבל את המידע הנחוץ כדי להתקדם לפרק הבא.

בסופה של כל יחידה מופיעה שאלה מעוררת חשיבה ומכוונת לקראת הנושא שעומד במרכז של היחידה הבאה. שאלות אלו מכניסות את התלמיד לנעליו של חוקר המעלה השערות וניגש לבצע מחקר כדי לבחון את הנחותיו.

עם תום הפעילות ביחידת הלימוד נדרש התלמיד להשיב על החלק השני של שאלון הידע שכולל שאלות זהות לאלו שעליהם השיב בטרם ביצע את יחידת הלימוד, אך הפעם בנושא של בקרת ביטוי על הגן למלנין. המטרה היא לבחון האם חלו שינויים ביכולת פתרון בעיות בנושא בקרת ביטוי גנים ובתפיסה בעקבות העבודה על יחידת הלימוד. בנוסף מתבקש התלמיד להשיב בשאלון סיכום הידע על 3 שאלות נוספות הבוחנות ידע, הבנה ויישום של עקרון הבקרה על ביטוי גנים בדרך של רנ"א משלים.

מורה יכול לבחור לבקש מתלמידיו לבצע את המטלה בבית או בכיתה, באופן אישי או כחלק מקבוצה. עם תום הפעילות מומלץ לקיים דיון בשאלות יישום הידע המופיעות בפרק הסיכום של המשימה לשם סיכום הנושא ובחינת רמת ההבנה של התלמידים.

בקבוצות בהן הרכב התלמידים הוא הטרוגני ניתן לעצור את עבודת התלמידים בתום כל אחת מ-5 היחידות ולדון עם התלמידים בממצאים, במסקנות ובהשלכות שלהן להמשך מחקר.

נושא בקרת ביטוי גנים נלמד במסגרת מגמת הביולוגיה בכיתה יב' בחלק מבתי הספר הבוחרים להתמחות בנושא התורשה. במסגרת יחידת לימוד זו ישנה התייחסות לרמות בקרה שונות ביצורים אאוקריוטים, ובין היתר מופיעה התייחסות לתפקיד של מולקולות הרנ"א בבקרה על רנ"א שליח. אם כך, יחידת הלימוד היא בהלימה לתכנית הלימודים הבית-ספרית ומהווה הרחבה, העמקה והעשרה של נושא זה.

## תיאור הערכת היוזמה:

הגרסה הסופית של יחידת הלימוד (נספח 1) נכתבה בשני שלבים. הגרסה הראשונה של הפעילות (נספח 2) שונתה לגרסת הביניים (נספח 4) בעקבות הערכת ביניים שנעשתה על בסיס עבודתן של 4 בנות כיתה יב' בעיר לוד בשנת תשע"א. 4 התלמידות לומדות כולן בכיתה אחת, סיימו ללמוד את נושא הגנטיקה והתנדבו לבצע את יחידת הלימוד בתום יום הלימודים לקראת סוף שנת הלימודים. יחידת הלימוד הוצגה לתלמידות במחשב, כשהתשובות לשאלות הפתוחות מוסתרות. הן הונחו לענות בכתב על השאלות (נספח 3) ולאחר מכן להסיר את הכיסוי הצבעוני המסתיר את התשובות ולבחון אותם. הוסבר להן כי בחלק מהשאלות יתכנו מספר תשובות וכי חשוב שישו את תשובותיהן לתשובות המופיעות במשימה בטרם ימשיכו לבצע את המטלה.

כל תלמידה עבדה לבד וקיבלה רשות להיעזר במנחת הפעילות שנכחה בכיתה. הבנות סיימו את העבודה על הפעילות בזמן ממוצע של 45 דקות. אף אחת מהבנות לא ביקשה סיוע במהלך עבודתה.

הבנות התבקשו להשיב על שאלון סיכום ויישום (נספח 3) ידע כעבור חודש מביצוע יחידת הלימוד.

בעקבות הערכת הביניים בוצע עיבוד של חלקים ביוזמה ושינוי השאלות משאלות פתוחות לשאלות סגורות.

הערכה מסכמת של היוזמה בוצעה על בסיס עבודתם המשותפת של זוג תלמידי כיתה יב' בשנת תשע"ב. זוג הבנים נבחר על ידי מורת הכיתה בשל יכולות הביטוי בעל-פה שלו. הבנים לומדים בכיתה אחת אצל אותה מורה שלימדה את 4 הבנות שהיו שותפות להערכת הביניים. הבנים נמצאים לקראת סוף לימודי הגנטיקה והסכימו לבצע את יחידת הלימוד בתום יום הלימודים באמצע שנת הלימודים. אבי הוא תלמיד בעל הישגים גבוהים שציוניו נעים סביב 90 ואלי הוא תלמיד בעל הישגים נאים שציוניו נעים סביב 80.

גרסת הביניים של יחידת הלימוד (נספח 4) הוצגה בפני התלמידים במחשב. הם הונחו להמליץ בקול רם את מחשבותיהם, לשתף אותם עם בן-זוגם למשימה, להסבירם ולגבש יחדיו החלטה לגבי הפתרון לכל אחת מהשאלות. עבודתם הוקלטה ותומללה (נספח 5). התלמידים לא קיבלו תשובות לשאלות המופיעות במשימה והונחו לא להיעזר במנחת הפעילות שנכחה בכיתה.

זוג הבנים סיים את העבודה על הפעילות כעבור 90 דקות. במהלך עבודתם הם פנו אל מנחת הפעילות פעמיים וקיבלו ממנה עידוד להמשיך בעבודתם ובכיוון החשיבה שלהם.

הבנים התבקשו להשיב על שאלון סיכום ויישום ידע מיד עם סיום ביצוע יחידת הלימוד.

תשובות התלמידים, בכתב ובעל-פה, היוו את הבסיס להערכת יחידת הלימוד ולעיבוד שלה לגרסתה הסופית.

בשני המקרים בוצעה הערכה איכותנית של התוצרים.

בשלב הראשון, נבחנו תשובות 4 התלמידות לשאלות שהוצגו בפניהן במשימה וזוהו קשיים שעל בסיסן נעשו שינויים ביוזמה.

בשלב השני, נבחנו תשובותיהם של זוג התלמידים לשאלות שהוצגו בפניהם במטרה לאפיין את דרך העבודה, מהלך החשיבה, שיתוף הפעולה ויעילות יחידת הלימוד ככלי ללמידה ולשינוי תפיסתי.

בשלב זה נעשתה גם השוואה בין תוצרי העבודה של 4 התלמידות לתוצרי העבודה של זוג התלמידים.

## תוצאות:

### **הערכת ביניים- אפיון קשיים והישגים של יחידת הלימוד בגרסתה הראשונית**

נערכה השוואה בין תשובות התלמידות לשאלון אבחון הידע, לפני חשיפתן ליחידת הלימוד, ובין תשובותיהן לשאלון סיכום הידע, חודש לאחר חשיפתן ליחידת הלימוד. מטרת ההשוואה היא לבחון אילו שינויים חלו בתפיסה של רעיון בקרת ביטוי גנים ויישום עקרון הפעולה של מיקרורנ"א.

ההשוואה הראתה שינוי תפיסתי אצל תלמידה אחת מתוך הארבעה. רק דנה הצליחה לעבור ממתן הסברים ברמה הפנוטיפית להסברים ברמה המולקולארית. לא זאת בלבד, אלא שדנה הצליחה גם להטמיע אל סכימת הידע שלה את עקרון הפעולה של מיקרורנ"א. גם עידית, שתשובותיה בשאלון אבחון הידע, כמו גם בשאלון סיכום הידע, העידו על הבנה ברמה מולקולארית, הצליחה ליישם כהלכה את עקרון הפעולה של מיקרורנ"א. מיכל המשיכה לנסות לתת הסברים ברמה המולקולארית, אך נכשלה בכך וביישום של עקרון המיקרורנ"א. סבטה נותרה בתפיסתה הפנוטיפית ולא הצליחה להבין את מנגנון הפעולה של מיקרורנ"א.

התייחסותה של דנה, שנשאלה לגבי מנגנוני בקרה המעורבים בויסות היצור וההפרשה של אינסולין, בשאלון אבחון הידע, היתה **ברמת הפנוטיפ**: "התאים בלבב עוברים התמיינות מיוחדת שמכשירה אותם ליצור אינסולין. היות ותאים [אחרים, פרט ללבב] לא צריכים אינסולין, אלא סוכר, זה יהיה בזבוז אנרגיה לייצר אותו... יכול להיות שהאינסולין נאגר [בתאי הלבב] לשעת שימוש לאחר שהוא מסונתז, או שהרנ"א בא לידי ביטוי רק כשצריך אותו אבל מצוי בכמות קבועה למקרה של חוסר ברנ"א."

לעומת זאת, כשנשאלה דנה שאלות זהות, לגבי מנגנוני בקרה המעורבים בויסות היצור וההפרשה של מלנין, בשאלון סיכום הידע התייחסה **לדמה המולקולארית**, ובאופן מיוחד הדגישה את הבקרה באמצעות מיקרורנ"א: "אחרי תהליך ההתמיינות שעוברים תאי הגוף בהתחלקות הזיגוטה, בשאר התאים [פרט למלנוציטים] הגן שאחראי על יצירת מלנין משתתק. מנגנוני משוב שליליים וחיוביים, המופעלים ע"י חלבונים, רנ"א והורמונים [משמשים לויסות עיתוי וכמות הייצור של מלנין בתא]. בתאים מיוצר ומתועתק באופן תדיר הגן שמקודד למלנין-בלי קשר לחשיפה לשמש- אבל יחד עם זאת, גם מופעל מנגנון בקרה אנזימתי שמזהה את הרנ"א שאמור להיות מתורגם לחלבון מלנין, ומשתמש בו כתבנית כדי למנוע תרגום של אותו mRNA, ע"י הצמדת מיקרורנ"א ל-mRNA החד-גדילי, ומונע את התרגום ע"י קיפול המולקולה. כנראה שעם חשיפה לשמש מנגנון הבקרה מופסק / משתמשים במיקרורנ"א לתפקיד אחר ואין מה שיעכב את תרגום המולקולה."

בשאלון יישום הידע עשתה דנה שימוש ברעיון הרנ"א המשלים בצורה שמעידה על הבנה ויישום: "ניתן להשתיק את הגן שגורם לריכוך של העגבנייה [ע"י הזרקת מולקולות מיקרורנ"א לתאי העגבנייה שיפרידו את מולקולות הרנ"א-שליח שמקודד לגן שגורם לריכוך העגבנייה. המולקולה תופרד, ומיקרורנ"א ישלימו את מולקולות הרנ"א, וכך ימנעו תרגום שלה (כי המולקולה תהיה מקופלת ולא במצב של תרגום). " [ניתן] להזריק [לחולי סוכרת] את מקטע הרנ"א המשלים למיר 375 ובכך לנטרל את פעולתו."

לעומתה, עידית, התייחסה **לדמה המולקולארית** כבר בשאלון אבחון הידע: "בתאי הגוף השונים שהם לא תאי בטא בלבב יש בקרה על ייצור אינסולין כמו בקרה על תעוקת / תרגום וכדומה. לכן החלבון [אינסולין] לא

מיוצר. חלבונים מעכבי תעתוק- חלבונים היושבים על אזור הבקרה של הגן ולא מאפשרים לרנ"א פולימראז לתעתק את הגן והחלבון לא נוצר. חלבונים משרי תעתוק- כאשר הם נוכחים הרנ"א פולימראז יכול לשבת טוב על האתר המקדם וכך לתעתק את הגן. ישנו מנגנון שמפקח על התרגום של הגן לחלבון... בנוסף יתכן שיש בקרה על פירוק החלבון- כאשר נוצר יותר אינסולין משצריך חלקו מפורק ע"י אנזימים מיוחדים."

בשאלון סיכום הידע חזרה עידית להתייחס **לדמה המולקולארית** אך לא הזכירה את המנגנון המבוסס על מיקרורנ"א: "יש בקרה בתאים שהם לא מלנוציטים על הגן מלנין ולכן הוא לא מיוצר בהם. מדכאי תעתוק, משרי תעתוק, בקרה ברמה של פירוק ויצירה של חלבון. יכול להיות שמספר הפעמים שה-mRNA מתורגם לחלבון עובר בקרה. כלומר, ככל שנחשפים ליותר קרינה יש יותר תרגום. בנוסף, ישנה אפשרות שיש בקרה על קצב הפירוק של החלבון שנוצר."

בשאלון יישום הידע עשתה עידית שימוש ברעיון הרנ"א המשלים בצורה שמעידה על הבנה טובה ויכולת יישום: "אפשר להחדיר רנ"א משלים לתאי העגבנייה וכך הוא יתחבר לרנ"א של הגן להתרככות [העגבנייה] וישתק אותו, כך שלא יוצרו חלבונים מרכזים. כאשר יש רמה גבוהה של מיקרורנ"א 375 הוא מתקשר לרנ"א של הגן המקודד למיותרופין וכך הוא לא מתורגם לחלבון. אם נדע את הרף של המיקרורנ"א 375 ונראה שהוא ההופכי של זה של הגן המקודד למיותרופין נוכל להבין למה לחולי סוכרת יש חוסר בחלבון זה. אפשר ליצור גן מסוים או חלבון המנטרל את הפעולה של מיקרורנ"א 375 וכך בחולי סוכרת יהיה ייצור רגיל של החלבון מיותרופין."

בשאלון אבחון הידע התייחסה מיכל בצורה שטחית **לדמה המולקולרית**: "ישנה בקרה על ייצור האינסולין - בתאי הבלבל הגנים האחראיים ליצור אינסולין מתועתקים ומתורגמים ואילו בשאר התאים זה לא קורה. נוכחות של דכאן [מאפשרת וויסות עיתוי וכמות אינסולין המיוצר בתאי בטא]."

בתשובותיה לשאלון סיכום הידע, אומנם עושה מיכל שימוש ברעיון הרנ"א המשלים, אך ניכר כי היא לא מבינה אותו או את רעיון הבקרה באמצעות גורמי תעתוק, אלא שולפת פיסות ידע מזיכרונה: "ישנה בקרה על ייצור המלנין בגוף ע"י בקרה על תהליך התעתוק והתרגום. בקרה זו נעשית ע"י גורמי תעתוק- דכאנים. רנ"א פולימראז... בלעדיו לא יתבצע תעתוק. בקרה בעזרת גדיל רנ"א משלים- בזמן התעתוק יתועתקו שני גדילי הדנ"א ולכן הרנ"א הנוצר ייצמד ולא יאפשר תרגום לחלבון. חשיפה לשמש תשפיע, ככל הנראה, על דכאנים (גורמי תעתוק שונים)". מיכל מודעת למעורבות של מנגנונים **בדמה המולקולארית** אך איננה שולטת בידע ולכן מנסה אך מתקשה ליישמו.

בשאלון יישום הידע עשתה מיכל שימוש ברעיון הרנ"א המשלים בצורה שמעידה על קשיים בהבנה: "הגן האחראי על התרככות בעגבנייה צריך להיות מתועתק יחד עם הגדיל המשלים שלו וכך למנוע את תרגומו של הגן. או עם גן אחר כשהוא מתועתק הוא מבקר על תהליך התרגום של הגן לריכוך העגבנייה. הזרקת רנ"א דו-גדילי של מיותרופין שיתפרק."

התייחסותה של סבטה לשאלות בשאלון אבחון הידע היתה **בדמת הפנוטיפ**: "הבלבל מקושר למערכת העיכול... התאים בגוף ממוינים כל אחד לתפקיד שלו. הקולטנים של התאים-שבתגובה לרמת סוכר גבוהה בדם מפרישים אינסולין... ייצור בלתי פוסק של אינסולין עוזר במצבים של עודף סוכר על מנת לא לעכב את הגוף."

גם בשאלון סיכום הידע נתנה סבטה הסברים **בלמה הפנוטיפית** בלבד, אך ניכר כי הצליחה לרענן את זיכרונה ברמות הבקרה השונות. יכולותיה של סבטה הסתכמו ביצירת רשימה של רמות בקרה ללא מתן הסבר למנגנונים המעורבים בכל רמת בקרה. סבטה לא התייחסה למנגנון המיקרוRNA: "המנגנונים העוזרים בשלבי הבקרה הם: ... מדנ"א לרנ"א לרנ"א-שליח לחלבון. (1) רמת הדנ"א- הוא המולקולה הנושאת את המטען הגנטי (2) רמת התעתוק- תעתוק הוא השלב הראשון בהעברת המידע התורשתי... (3) רמת הרנ"א- תוצר התעתוק (4) רמת התרגום- רנ"א עובר תרגום לחלבון (5) רמת החלבון- החלבונים מוציאים לפועל את המידע הנמצא בדנ"א. הבקרה משפיעה על התאים כך שהם לא ימשיכו לתהליך התרגום ללא צורך לתא. בכך הוא שומר על האנרגיה של התא ועל רמה קבועה של אינסולין בדם (הומיאוסטזיס)."

בחירתה של סבטה לא להשיב על שאלות יישום הידע מעידה על כך שלא הצליחה להטמיע את הרעיון.

מניתוח של התוצאות הראשוניות ניכר כי רק הבנות בעלות תפיסה תהליכית - מולקולארית הצליחו להבין וליישם את עקרון המיקרוRNA. לפיכך, יש צורך לערוך שינויים בפעילות כך שהיא תאפשר שינוי תפיסתי אצל אחוז גבוה יותר מהתלמידים הנחשפים לפעילות, ובהתאם תוביל לקראת הבנה משמעותית של עקרונות מולקולאריים כגון מיקרוRNA.

#### **הערכת ביניים-עקרונות מנחים לעיבוד יחידת הלימוד**

בחינת תשובותיהן של הבנות לשאלות שליוו את יחידת הלימוד הראו הסברים לא מקיפים, תמציתיים ושטחיים בחלק מהשאלות. תשובות כאלה הקשו לקבוע את רמת ההבנה של התלמידות בשלבים שונים של היחידה. לא ניתן ללמוד מה עבר במוחן של הבנות בעת עבודתן, והאם הן היו מכוונות מחקר או מכוונות להשלמת המשימה תוך התעלמות מהאתגר המחקרי שלה. ניתן להניח כי הבנות שהשיגו למידה משמעותית היו מעורבות וממוקדות מחקר, אבל לא ניתן לשלול את האפשרות האחרת.

ניכר היה כי אילו היו נדרשות התלמידות להרחיב או לפרש את הסבריהם הן היו מגיעות לרמת למידה והבנה טובים יותר. לפיכך, הוחלט להמליץ על עבודה צוותית שתאפשר דיון, משא ומתן והפריה הדדית, וכך אכן נעשה בשלב השני של ההערכה.

כמו כן, הושמטו קטעים שהקשו על התלמידות במיוחד, עיכבו ועשויים להוות גורם לתסכול, ובמקומם הוכנסו קביים בדמות תרשימים מונחים.

בנוסף, הוחלט להפוך את מרבית השאלות ביחידת הלימוד לשאלות סגורות. מענה על שאלה סגורה הוא מהיר יותר, במקרים מסוימים קיים ערך מוסף לבחירת תשובה בדרך של שלילת תשובות שגויות, והשימוש הוא במינוח מדעי מדויק שמחזק אצל התלמיד את המושגים המקובלים בתחום. כמו כן, קל יהיה למורה לבדוק בזמן אמת, תוך כדי הפעילות בכיתה, את תשובות התלמידים ולהציע להם לחזור ולשקול תשובות או להושיט להם סיוע במידת הצורך. מספר מצומצם של שאלות פתוחות נותרו בשלבים האחרונים של יחידת הלימוד בהם נדרש התלמיד להגיע לרמה של סינתזה ולהציע השערה.

### **הערכה מסכמת- מאפייני הלמידה באמצעות יחידת הלימוד בגנטיקה**

בשלב זה בוצע ניתוח איכותני של תשובות זוג התלמידים לשאלות שהוצגו בפניהם במהלך העבודה במטרה לאפיין את התהליכים שעברו התלמידים תוך כדי עשייה. נבחנה היכולת של התלמידים לאמץ דרכי חשיבה ברמה המולקולארית (רמת מיקרו) ולקשרם לרמה הפנוטיפית (רמת מאקרו).

הדיאלוג של התלמידים סביב הסברים לתהליכים ולתופעות, פרשנות והשערות שהעלו, קשיים שהתגלו ושאלות שנשאלו אפשרו גם ללמוד על נקודות החוזק ונקודות התורפה של הפעילות ובהתאם לעבדה לגרסתה הסופית.

#### **עבודה צוותית:**

עבודת זוג הבנים על יחידת הלימוד ארכה זמן כפול מעבודתן העצמאית של כל אחת מהבנות שביצעו את הפעילות בשלב הראשון של הערכה. לא ניתן להסיק על עבודה יסודית יותר של הבנים רק על סמך משך זמן העבודה שלהם על המשימה, אלא על ההתדיינות בנושאים וברעיונות שארכה יותר זמן. ברם, ההתדיינות הממושכת על רעיונות לא רק גזלה זמן אלא תרמה להבנה משמעותית יותר אצל כל אחד מהתלמידים.

העבודה הצוותית של זוג הבנים מאפשרת הצצה אל תהליך צבירת הידע שמאפיין עבודה צוותית ועל הדרך בה ידע נוצר ומעוצב כאשר הלמידה נעשית תוך שיתוף ותרומה הדדית.

לאורך כל העבודה היה אבי הדומיננטי בניהול העבודה, בהצעת פתרונות ובחירת התשובות הנכונות. ניכר כי אבי רגיל לעבוד באופן עצמאי וכי ההנחיה שקיבל ממנחת הפעילות לעבוד בצוות לא פשוטה עבורו. לרוב, בעיקר בשלבים הראשונים של העבודה, אבי ביקש את אישורו של אלי לתשובות שבחר רק כדי לצאת ידי חובה ולהשאיר את אלי מחויב לעשייה. מידי פעם הוא "העניק" לאלי אחריות לניסוח תשובה. אבל, במקרים שבהם נתקל אבי בקושי הוא הסכים לשמוע את הצעותיו של אלי, והצעות אלו נתנו לו כיוון או רעיון שאותו הוא המשיך לפתח עד לגיבוש תשובה בניסוחו.

למרות שניתן לחשוב שהשתלטותו של אבי על העבודה תייאש את אלי ושהוא יאבד עניין ומוטיבציה, לא כך אירע. אלי נותר מרוכז ומחויב לאורך כל העבודה ולא נרתע מלהציע רעיונות כאשר ניתנה לו ההזדמנות לעשות זאת. תרומתו המכרעת של אלי, בשלבים משמעותיים במהלך העבודה, הקנתה לו הערכה מצד אבי, ואפשרה את המשך שיתוף הפעולה.

" אבי: הבנתי, נראה לי. כן, כן...אולי רגע שיש לך אחד כזה אז הגוף מייצר מלא כי הוא מבין שאיך שהוא. שהוא מפעיל את הגן שמייצר את הדכאן. של המולקולה המשלימה?"

אלי: דני"א. יש לנו קצת דני"א והוא מתועתק אלף פעמים. טוב, נתנו דוגמה?

אבי: אני חושב. אני לא הבנתי את זה. מנגנון תאי?

אלי: אני אסביר לך את הדוגמה שאני אמרתי?

אבי: נו.

אלי : יש לך דני"א. לא דני"א, גן אחד. יש לך אותו רק פעם אחת. רגע, עכשיו בבלתי את עצמי.

אבי : אתה יכול להשתמש בו בגדיל בכל מיני : נגיד שחבור חלופי?

אלי : נוצרים הרבה חלבונים מגן אחד.

אבי : כן, אתה יכול לקחת את זה ולתעתק את זה ואז לתעתק את הצד השני ואז כל מיני כי אפשר לעשות כל מיני שחבורים.

אלן : כן.

אביהו : ואז נוצרים הרבה חלבונים שעושים פעולה. סבבה. בערך."

גם אבי וגם אלי, שניהם, כל אחד על פי דרכו וסגנונו, הצליחו להשיב יחדיו על שאלות יישום הידע בהתלהבות, תוך שאחד משלים אחד את דברי חברו כאילו גיבשו במוחם מאגר ידע משותף :

"אבי : אנחנו כבר מלומדים. אני חושב. יש לי רעיון חדש לחלוטין

אלי : נו, בוא נשמע את הרעיון המטורף

אבי : שבעצם זה נעצר בתרגום וזה קשור לרני"א שליח שהפך לדו-גדילי. תחושה. טוב, רגע. (שתיקה)

אלי : איך יעבוד המנגנון שאתה מציע?

אבי : בוא נראה. אני מנסה להבין את הרעיון המלא. אני עוד לא הבנתי אותו. כנראה שעם חשיפה ל... אין לי רעיון.

אלי : לא הבנתי את הסדר של הדברים. בגלל ה-UV יש יצירה של מלנין? או שהמלנין כבר נמצא והוא קולט UV?

אבי : אתה לא. השיזוף זה אחרי שאתה נחשף. אתה נחשף ואז אתה מתחיל להשתזף. הרני"א שליח הוא קבוע. אז בתעתוק אין בקרה.

אלי : אז כנראה ה-UV גורם לתרגום של הרני"א שליח של המלנין.

אבי : מה אמרת?

אלי : שה-UV גורם לתרגום של הרני"א שליח למלנין

אבי : יפה. יש לי רעיון. תראה. נגיד שתמיד עם המלנין נוצר לי גדיל משלים למלנין. ואז הוא עוצר אותו. ואז בחשיפה ל-UV הגדיל המשלים נהרס.

אלי : וואי, וואי וואי

אבי : אולי זה עובר מוטציה ואז זה לא מתאים כבר כי יש UV ו-UV הורס. הדני"א נפגע.

אלי : לא, הרני"א נפגע

אבי: הרנ"א המשלים

אלי: הסנס

אבי: המיקרו

אלי: המיקרו־רנ"א נפגע ואז יהיה תרגום מלנין

אבי: רעיון יפה, יפה. טוב, בסדר. אולי צדקנו."

ניתן לראות כי הבנים הם מכווני מחקר: האינטראקציה ביניהם מלמדת על התעקשות להבין, לחקור את העובדות, לקשר בין מספר נתונים, להציע השערות ולחזור לבחון אותם. אך לא כך היה בתחילת עבודתם; מניתוח תשובותיהם של אבי ושל אלי לשאלון אבחון הידע, מצטייר אבי כמכוון משימה בעל רצון להשיב על השאלות ולהתקדם הלאה בעבודה מבלי להעמיק במענה על השאלות. לעומתו, אלי מכוון מחקר ומנסה לבלום את קצב ההתקדמות של אבי על ידי העלאת תמיהות בנוגע לתשובותיו של אבי והצעות משלו לתשובות אפשריות. אבי שומע את הערותיו של אלי אבל בוחר להתעלם מהצעותיו ולהתקדם:

בשאלון אבחון הידע נדרשים התלמידים לציין מנגנונים לבקרה על ביטוי גנים בתאי רקמה בזמנים שונים:

"[אבי קורא את טקסט]

אלי: [מנסה לדבר אך קולו שקט ולא מקבל התייחסות]...

אבי: מוכר לך משהו? "מנגנוני בקרה?" אפשר להגיד שגלוקוז, נכון?

אלי: למה?

אבי: כי כמות גדולה של גלוקוז גורמת לכך שיהיה לנו יותר אינסולין. כי צריך לווסת את רמת הגלוקוז, להוריד אותה. אז כאילו בטח יש קולטנים לגלוקוז שאומרים, נו טוב לייצר אינסולין.

אלי: אוקי, אני חשבתי דווקא על **משוב שלילי**.

אבי: איך משוב שלילי?

אלי: כי אם יש כבר הרבה אינסולין אז כבר לא ייווצר אינסולין.

אבי: אבל זה לא קשור, יכול להיות שאתה צריך הרבה אינסולין. כאילו, ברגע שאתה אוכל מגיע. או אולי גם פעילות של הקיבה ובפה, משהו כזה.

אלי: אוקי

אבי: שיש פעילות של מערכת העיכול ו**שיש נוכחות של גלוקוז בדם**, נראה לי.

אלי: **אבל תאים הם מבקשים**. תאים, אז נוכחות גלוקוז גבוהה בתאי בטא בבלב.

אבי: יש לך עוד משהו?

אלי: לא

אבי: יאללה"

"אבי: כי, הא, אמרנו שגלוקוז הוא זה שאחראי על / גורם לכך שייווצר אינסולין, אז חייבת להיות לנו רמה מסוימת וקבועה של גלוקוז כל הזמן. אז תמיד נוצר אינסולין בגלל הגלוקוז, והם אומרים שזו כמות קבועה כמו שרמת הגלוקוז בדם קבועה בדר"כ כשאין ארוחות. אז זה גורם לתעתוק, זה כמו הבקרה על ביטוי הגנים הזה- שיש לך בהתחלה משרן, נו

אלי: דכאן

אבי: זוכר, דכאן משרן, בסדר, אחד מהם. כן, בקיצר, בגלל שיש לנו כמות קבועה של גלוקוז בדם אז הוא מגיע לתאים ואז זה גורם. הבנו? זה נראה לך זה?

אלי: שואלים אותנו למה אם יש רנ"א שליח ברמה גבוהה, למה בכל זאת את אינסולין ברמה גבוהה בדם כל הזמן.

אבי: כי אחרי ארוחה יש לך הרבה גלוקוז שנכנס לך לדם.

אלי: זהו, אז הגלוקוז הוא זה שגורם לתרגום, כנראה.

אבי: לתרגום?

אלי: כן, כי רנ"א שליח יש כבר. רק חסר תרגום לאינסולין.

נכון, לא קראתי טוב. אוקי. אז הגלוקוז מעודד תרגום של הרנ"א שליח?

אלי: איך שהוא, כן.

אבי: אוקי, נכון. נעבור לפעילות."

רק בשלבים מאוחרים יותר בפעילות, כאשר אלי ממשיך להתעקש על בחינה חוזרת של רעיונות והתייחסות מעמיקה יותר אליהם, משנה אבי את התייחסותו למשימה, והופך, כמו אלי, למכוון מחקר. תפנית זו בהתייחסות של אבי למשימה מעידה על התרומה המשמעותית של עבודה בצוות לשינוי תפיסתו.

" אבי: 198... לא משנה. [ממשיך לקרוא]

אלי: רגע, רגע. כשריכוז המומסים....[מנסה להבין את המשמעות]

אבי: זאת אומרת שאחד מהם אחראי על להכניס מומסים לתא והשני על להוציא, לפי הלחץ האוסמוטי. נראה שאלות או נבין מי אחראי על מה? מי אחראי על מה? ריכוז מומסים עולה אז יש לך יציאה של מים, נכון?

אלי: נכון

אבי: אז C אחראי על להכניס מים

אלי: אבל, תחשוב שזה תעלות? כן, משני סוגים.

אבי: אז למה אנחנו צריכים תעלות? תעלות זה להעברה סבילה

אלי : נכון, זה העברה פסיבית

אבי : אוקי.

אלי : אז לא נגד מפל הריכוזים

אבי : נכון. אז למה אנחנו צריכים אותם?

אלי : כדי שיהיה ויסות

אבי : [מתפרץ] להכניס אולי. ריכוז מומסים. רגע. נגיד שיש מומסים שאי אפשר להכניס אותם דרך הקרום כי הם לא מספיק קטנים אז בשביל שלא יהיה את האוסמוטי הזה ויציאה של נוזלים החוצה אז מכניסים אותם פנימה בשביל שלא יצאו מים החוצה. יכול להיות?

אלי : כן

אבי : טוב, בוא נראה שאלות ולפי זה אולי נוזי"

שינוי הגישה של אבי היא כה מובהקת עד שהוא בעצמו מתעקש מאוחר יותר עם אלי לתת הסברים ממצים :

" אלי : יש תעתוק של C וביחד איתו יש תעתוק של micF.

אבי : כן, אבל מה מפעיל את זה. לפני כן חייב להיות משהו שיפעיל את התעתוק של שניהם.

אלי : ריכוז המומסים בסביבת התא עולה.

אבי : כן. אולי זה לא בהכרח שהם נכנסים כי אנחנו רוצים שהם יכנסו עם התעלות שלנו. אולי זה בגלל שיוצאים נוזלים החוצה. איך שהוא זה מהווה סימן.

אבי : שניהם מתועתקים ביחד כי הם על אותו אופרון.

אלן ואביהו [יחד, משלימים אחד את השני] : ואז הרנ"א שליח של micF נצמד ל-F בי הוא משלים לו, ולא

נותן לעבור תרגום ואז נפסק הייצור של חלבון תעלה F

אביהו : יאללה"

### **למידה קונסטרוקטיבית פעילה :**

יחידת הלימוד נתנה לתלמידים הזדמנות להכיר את המחקר שהיה הבסיס לתגליות ולהתנסות בפעילות קוגניטיבית דומה לזו שבה מתנסים חוקרים. דרך זו עוררה אצל התלמידים חשיבה לוגית מנומקת שבאמצעותה הם פיתחו הבנה עמוקה של הידע המדעי.

התלמידים חיפשו ומצאו הסבר לממצאי המחקר באופן אוטונומי, גם כשלא נתבקשו לעשות זאת, ובדיון שערכו סביב הממצאים הם הקדימו להתייחס לפרשנות שאחר כך התבקשו לעשות באופן מופרש (ניבאו שאלות):

"אבי: בסדר, טוב. שוב, יש פה ציור. אתה הבנת? [מתדיינים על הטקסט והאיור עוד בטרם פונים לשאלה]

אלי: כן

אבי: אני לא

אלי: יש את הגן micF שמתועתק ברגע ש C מתועתק. וככה זה מעכב את התעותק של F. לא. זה נצמד לרנ"א של יח של F ואז זה לא נותן לו לתרגם אותו.

אבי: הא, זאת אומרת שזה משלים אליו.

אלי: כן, כנראה. זה מה שאמרנו מקודם.

אבי: אה, אז יפה, אז הם אחד אחרי השני כאילו ה- C וה- micF. וה- C עושה את התעלה וה- micF משתיק את התעלה השנייה. כאילו, משתיק את הייצור שלה בזה שהוא נצמד אליה.

אלי: כן

אבי: סבבה, יש

אלי: יש.....

[ בעקבות אחת השאלות המלוות את האיור] אבי: יש, עלינו על זה!"

התלמידים הצליחו להבנות את המידע החדש שרכשו על גבי תשתית הידע הקודמת שלהם ותוך קישור לידע קודם שהוצג בפניהם בשלבים מוקדמים של המשימה. כך, כאשר נתבקשו לשער האם מניעת תרגום עשויה להיות, במצבים מסוימים, דבר רצוי, התייחס אבי לשאלה שהופיעה בשאלון אבחון הידע בנוגע לבקרת ביטוי הגן לאינסולין:

"זה קשור לאינסולין. זה הבקרה שלהם, כאילו. ככה משתיקים אותו."

כאשר נחשפו התלמידים לנתוני מחקר שסותרים את הידע הקודם שלהם הם הגיבו בביקורתיות:

"אבי: רגע, אבל כאילו היית מצפה שאם הם קשורים כבר אחד לשני אז לא תהיה להם השפעה והם סתם ישבו שם.

אלי: נכון."

ההתייחסות של זוג התלמידים לנתונים ולאיוורים הלכה והשתפרה לאורך עבודתם על המשימות. התלמידים התעלמו מהאיור המופיע ביחידה הראשונה, ולא התעמקו בהבנה אל האיור ביחידה השנייה. חוסר תשומת לב לפרטים באיור הציבה קושי בהבנת המושגים "אנטיסנס" ו- "סנס". רק בשלב מאוחר יותר, כשנתקלו התלמידים שוב במושגים אלו הם חזרו לאיור המקורי וזיהו על גבי האיור את סימון של הגדילים במינוח

המתאים. כך הבינו התלמידים כי יש להתייחס לנתונים המופיעים באיור, וכאשר נדרשו להתייחס לאיור ביחידה השלישית הם עשו זאת בתשומת לב רבה.

השינוי בגישה לכתוב מתבטאת במיוחד בהתייחסות של אבי, התלמיד שלקח על עצמו לקרוא את המשימה בקול רם. במקרים רבים לאורך יחידת הלימוד התעלם אבי בהפגנתיות ובזלזול ממידע אודות החוקרים:

אבי [קורא על פרס הנובל]: "לא מעניין. כל הכבוד להם. נענה עכשיו על הזה... [מביע חוסר סבלנות לקריאת הטקסט]"

אבל בקריאת קטע הסיכום של יחידת הלימוד הוא מתעכב על כל משפט, ובוחר להדגיש את הנתונים שלטעמו יהיו חשובים במיוחד להתקדמות בשלב הבא:

אבי: "יופי [ממשיך לקרוא] זה מידע שנראה לי יהיה חשוב."

יחידת הלימוד בנויה באופן מדורג תוך הנחת היסודות לעקרון הבקרה ביחידה הראשונה ולעקרון הבקרה באמצעות מיקרורני"א ביחידה השנייה. המבנה המדורג מאפשר לתלמיד לקשר את הידע החדש בצורה משמעותית לידע קיים. המבנה המדורג של יחידת הלימוד, יוצר קביים ומאפשר לתלמידים להבין את השוני בין רני"א חד-גדילי מפריע, כפי שמוצג ביחידה שלישית, לבין רני"א דו-גדילי מפריע (מיקרורני"א), כפי שמוצג ביחידה השלישית והרביעית. ניתן להעריך את מידת ההבנה שרכשו התלמידים במהלך עבודתם וההטמעה של הידע החדש לידע קודם מתוך תשובותיהם לשאלות יישום הידע:

"אבי: לוקחים רני"א משלים. רגע. כן, רני"א משלים דו-גדילי, אם כבר, כי סביר להניח שאם הוא דו-גדילי אז הוא יעבור עריכה ופרימה שלו ויעבוד יותר טוב. לוקחים את שניהם, ליצר בטחון ומכניסים, מזריקים לתוך העגבנייה בכמה מקומות שונים שיישאר כזה.

אלי: אפשר בזרע. לקחת זרע אחד ואז להרבות אותו.

אבי: אבל זה רני"א. צריך להביא אותו לנגיפי רטרו שיש להם אנזים שיהפוך את זה לדני"א ואז מזריקים הדני"א לתאי הזרע ורואים מה קורה. שותלים אותם.

אלי: צריך לדאוג שהדני"א החדש ישתלב בדני"א שקיים כבר. והוא יתועק לרני"א המשלים שיעכב את האנטיסנס."

התלמידים משתמשים בידע קודם, שלא קיבל התייחסות מפורשת ביחידת הלימוד, בתשובותיהם. הם מבינים שכדי ליצור ביטוי קבוע ויעיל של הרני"א המשלים צריך לשלב את הגן שלו (דני"א) בגנום של העגבנייה כך שהגן יתועק בתאים לרני"א דו-גדילי משלים ויעכב את הגן שאחראי לריכוך העגבנייה. הם מציעים להשתמש ברטרו-וירוס כנשא לגן כדי לקבל ביטוי קבוע של הגן החדש למיקרורני"א.

כאשר התלמידים נדרשים להציע דרך להשתיק ביטוי יתר של מיקרורני"א הם מזהים את הבעיה והפעם מציעים להשתמש ברני"א משלים (חד-גדילי):

"אלי: הבעיה היא המיקרורני"א. צריך משהו להיפתר ממנו.

אבי: אנחנו נביא את המשלים לו ואז הוא יוכל להפריע לו."

הסברה לפיה למידה מתוך שלילת הסברים חלופיים מקדמת למידה, כמו למשל במקרה של המושג "סנס", לא הוכחה כיעילה. בשלב הראשון בו נתקלו התלמידים במושג הם ענו על השאלה המתייחסת למושג תוך שלילת האפשרויות החלופיות, וכך הגיעו לתשובה נכונה:

"אבי: מה זה ה- ס.מ.ס? טוב בוא נפסול תשובות, סבבה? (ג) ו- (ד) זה לא נכון? כי ב-5 אין לו פרמוטר וב-3 אין לו טרמינטור, נכון? זה או (א) או (ב). אין לנו מושג מה זה (ב), נכון?"

אלי: נכון

אבי: אז נלך על (א)?

אלי: כנראה

אבי: יאללה, (א)"

אבל מהתבוננות בהבנת המושג בשלבים מאוחרים יותר ניכר כי המושג לא ברור וכי קיים עדיין קושי:

"אבי: בוא נראה מה זה אנטיסנס, כתוב פה משהו. למעלה זה גדיל סנס ולמטה גדיל אנטיסנס [מתייחסים לאיור]. קודם כל, קיבלנו את התשובה לשאלה קודמת. ענינו (א) נכון"

גם בשלב מאוחר בפעילות עולה הקושי בהתמודדות עם המושג:

" אבי: האנטיסנס ציפינו שיעשה את העיכוב, נכון? בעצם הסנס כי אמרו שהוא המשלים.

אלי: לא, אבל האנטיסנס הוא זה שבא לידי ביטוי

אבי: נכון, אבל זה שבא לידי ביטוי כבר יש לך. אתה רוצה להשתיק את הגן שבא לידי ביטוי אז אתה מביא לו את הסנס. במקרה שלנו כי הוא המשלים."

וגם בשאלון סיכום הידע עולה הקושי:

"אלי: והוא יתועק לרנ"א המשלים שיעכב את האנטיסנס." (הרנ"א המשלים הוא האנטיסנס)

" אבי: סנס ואנטיסנס זה סתם שם של גדילים וזה לא אומר שהם משלימים."

מכיוון שהמושג "רנ"א סנס" הוא מושג מרכזי חשוב לבסס אותו כבר בשלבים הראשונים, ולכן רצוי להדגיש את המושגים על הגבי האיור המתאים, להוסיף שאלת קביים נוספת או לערוך מחדש את השאלה הקיימת ביחידה השנייה.

## **תפיסת מאקרו-מיקרו:**

בעקבות העבודה על יחידת הלימוד חל שינוי תפיסתי אצל התלמידים שעברו מהתייחסות ברמה פנוטיפית (רמת מאקרו) להתייחסות לתהליכים ברמה המולקולארית (רמת מיקרו). בעיקר ניכר השינוי התפיסתי אצל אבי.

בשאלון אבחון הידע נדרשים התלמידים להציע הסבר להבדל בביטוי גנים בין תאים השייכים לרקמות שונות. אבי נותן מענה ברמת המאקרו בעוד שאלי נותן מענה ברמת המיקרו:

”אבי: כי, נראה לי שזה הקטע של המיון של התאים, שכל תא יעשה דבר אחד. בוא נכתוב תשובה יפה...”

אלי: יאללה, התמיינות של התאים

אבי: אבל שואלים לא לגבי תהליך ההתמיינות. טוב, תהליך ההתמיינות של התאים השונים.

אלי: זה אומר שיתוק של חלק מהדנ”א.

אבי: זאת אומרת שכל תא עכשיו אחראי על דבר מסוים. כי אם עכשיו כל תא בגוף ייצר אינסולין, יש לנו עוד המון הורמונים בגוף שאנחנו צריכים. זה לא יעבוד טוב.”

ואילו בשאלון סיכום הידע שני התלמידים מקיימים דיון שסובב כולו ברעיונות מולקולאריים:

” אבי: לא מוכרים לנו, בוא נחשוב. אמרנו שזה עם השמש, נכון?

אלי: מנגנון בקרה זה משוב חיובי עכשיו.

אבי: תסתכל, מלנין בולע קרינה אל-סגולה...

אלי: הא, המלנין עצמו בולע את הקרינה

אבי: נכון. אז אנחנו צריכים לחשוב על משהו שקשור לקרינה ואיך שהוא התא קולט אותה ומבין שהוא צריך לייצר מלנין. UV, מה הוא עושה?

אלי: אולי יש רצפטורים?

אבי: יש לנו רדיקלים חופשיים? לא יודע. מוטציות וזה. ברגע שנוצרים שברים כאלה אז יש יותר מידי עבודה של המולקולות שמתקנות את השגיאות בדנ”א

אלי: הו, הלכת רחוק.

אבי: לא יודע. נו. איך שהוא דרך UV

אלי: יפה. זה מפעיל את מסלול הייצור: תעתוק או תרגום. ברגע שיש כמות גדולה של מלנין הוא נקשר לתחילת התעתוק או התרגום, כנראה תעתוק, ועוצר ומשתיק את הגן שגורם.

אבי: אולי מפל ריכוזים? לא יודע. כשיש הרבה מלנין אז לא מיוצר עוד.”

### **הרחבה והעמקה של בסיס הידע בגנטיקה:**

בעבודה על יחידת הלימוד יצרו התלמידים למידה משמעותית של עקרון הפעולה של מיקרורנ"א ויכלו ליישם את הידע שרכשו בשאלון סיכום ידע. כשהתבקשו לתכנן דרך להשתיק גן בעגבנייה הם הציעו:

"אבי: לוקחים רנ"א משלים. רגע. כן, רנ"א משלים דו-גדילי, אם כבר, כי סביר להניח שאם הוא דו-גדילי אז הוא יעבור עריכה ופרימה שלו ויעבוד יותר טוב. לוקחים את שניהם, ליצר בטחון ומכניסים, מזריקים לתוך העגבנייה..."

אלי: אפשר בזרע. לקחת זרע אחד ואז להרבות אותו.

אבי: אבל זה רנ"א. צריך להביא אותו לנגיפי רטרו שיש להם אנזים שיהפוך את זה לדנ"א ואז מזריקים את הדנ"א לתאי הזרע ורואים מה קורה. שותלים אותם

אלי: צריך לדאוג שהדנ"א החדש ישתלב בדנ"א שקיים כבר. והוא יתועתק לרנ"א המשלים שיעכב את האנטיסנס."

כשהתבקשו להציע טיפול לחולי בעלי עודף פעילות של מיקרורנ"א הם הציעו:

"אלי: הבעיה היא המיקרורנ"א. צריך משהו להיפתר ממנו.

אבי: אנחנו נביא את המשלים לו ואז הוא יוכל להפריע לו."

תשובות התלמידים לשאלות מאפשרות לזהות קשיים בידע ותפיסות שגויות שעדיין קיימות ושכדאי לטפל בהם:

אלי אומר בתחילת המשימה: "שני הגדילים [של הדנ"א] יכולים להיות מתועתקים"

אבי אומר לקראת סיום המשימה: "אתה יכול לקחת את זה ולתעתק את זה ואז לתעתק את הצד השני"

### **הגברת מוטיבציה ללמידה:**

העבודה יחד, ההתקדמות וההצלחה בפתרון המשימות גרמו להגדלת המוטיבציה אצל התלמידים. בהתחלה ניכר כי לתלמידים יש בעיקר מוטיבציה חיצונית לבצע בהצלחה את המוטל עליהם. התלמידים השתמשו במונחים: "יאללה", "איך שהוא, כן", ו-"אוקי, נכון. נעבור לפעילות" כדי לעודד אחד את השני להתקדם.

במהלך העבודה השתנתה הגישה לעבודה וניכר שהמוטיבציה הפכה לפנימית ומונעת מתוך עניין וסקרנות:

"נכון. יפה. זה בסדר", "אה, אז יפה", "סבבה", "יש", "כן, אחלה", "וואי, וואי וואי".

המוטיבציה של התלמידים להבין את הממצאים המוצגים בפניהם מתבטאת גם בעניין שלהם לדון בממצאים עוד בטרם הוצגו בפניהם השאלות. כך מגלים התלמידים כי פענחו את הממצאים ומצאו תשובה לשאלה עוד בטרם קראו אותה:

”אבי: בסדר, טוב. שוב, יש פה ציור. אתה הבנת? [מתדיינים על הטקסט והאיור עוד בטרם פונים לשאלה]

אלי: כן

אבי: אני לא

אלי: יש את הגן micF שמתועתק ברגע ש C מתועתק. וככה זה מעכב את התעתוק של F. לא. זה נצמד לרנ”א שליח של F ואז זה לא נותן לו לתרגם אותו.

אבי: הא, זאת אומרת שזה משלים אליו.

אלי: כן, כנראה. זה מה שאמרנו מקודם.

אבי: אה, אז יפה, אז הם אחד אחרי השני כאילו ה- C וה- micF. וה- C עושה את התעלה וה- micF משתיק את התעלה השנייה. כאילו, משתיק את הייצור שלה בזה שהוא נצמד אליה... [קוראים את השאלה]

אלי: זה מה שאמרנו. יש תעתוק של C וביחד איתו יש תעתוק של micF.”

מתצפית על התלמידים במהלך עבודתם ניתן היה לראות שבהתחלה הם מתקדמים מתוך חשש מהלא-נודע. יתכן שהידיעה כי הם לוקחים חלק בהערכה של פעילות במסגרת עבודה לתואר שני במכון ויצמן גרמה להם לחשוש מרמת הקושי הצפויה להם. התלמידים השתחררו ואף מצאו זמן להתבדח כשנשאלו אילו סוגים של מולקולות רנ”א הם מכירים בשלב של יישום הידע בשאלון המסכם:

”אבי: אני לא מכיר.

אלי: מה אתה רציני?

אבי: סתם.

אלי: mRNA

אבי: שליח, מעביר, ריבוזומלי ומיקרו

אלי: ורנ”א מפריע”

בשלב זה גם ניכרה התלהבות וסיפוק על כך שהצליחו לעמוד בהצלחה במשימה.

## סיכום ודיון:

עבודה זו בוחנת את יעילות השימוש ביחידת לימוד בגנטיקה כסביבת עבודה המזמנת למידה משמעותית, הבניית ידע ושינוי תפיסתי אצל תלמידים בכיתה יב'.

ביחידת הלימוד שפיתחתי עיבדתי את הידע האקדמי אליו נחשפתי במהלך לימודי לתואר שני במדרשת פיינברג, למשימה מובנית שמאפשרת למידה פעילה ומבוססת על הבנייה של ידע תיאורטי תוך התנסות בפתרון בעיות אותנטיות שדורשות שימוש בידע זה.

יחידת הלימוד משלבת תהליכי חשיבה מדעית ומעודדת הפעלת תהליכי חשיבה מסדר גבוה. בנוסף, הסביבה הלימודית המתוארת כאן, שואפת לטפח אינטראקציה חברתית ומוטיבציה גבוהה, ומתבססת על עקרונות הלמידה השיתופית. ההנחה היא, שפריצת המסגרת הנוקשה של הלמידה המסורתית, המתבצעת בעיקר ע"י העברת מידע מהמורה אל התלמיד, תיצור הנאה ומוטיבציה מתהליך הלמידה ע"י גילוי, ניתוח, תכנון ועשייה. המוטיבציה וההנאה מתהליכי הלמידה מהווים יחד גורם חשוב ובסיס מוצק להתפתחות אישית ולהצלחה בלימודים.

בעידן הטכנולוגי, הנתון לתמורות רצופות ומתאפיין בגופי ידע נרחבים שנמצאים בתהליך של השתנות מתמדת, רווחת הסכמה בקרב אנשי חינוך בדבר הצורך לפתח במסגרת בתי-הספר לומד סקרן, בעל מוטיבציה, הכוונה עצמית, ומיומנויות שיאפשרו לו המשך למידה וחקר של העולם גם מחוץ למסגרת הלימודים הפורמאליים. כדי לצעוד לקראת השגת מטרה זו יש להתמקד לא רק בהטמעת תכני יסוד, שיהוו בסיס איתן ללמידה נוספת, אלא גם בפיתוח של מיומנויות שיאפשרו למידה עצמאית (Greeno et al, 1996). בין היתר יש לאפשר לתלמידים התנסות בחשיבה ביקורתית, רכישת ידע חדש באופן עצמאי ושימוש מושכל בידע לשם פתרון בעיות. במקביל אין להזניח את המיומנויות החברתיות של תקשורת ושיתוף פעולה בין לומדים שהן הבסיס לקידום של רעיונות חדשים.

על פי התיאוריה הקונסטרוקטיביסטית בתחום הלמידה, למידה משמעותית מתרחשת כאשר לומד פעיל בבניית הידע וההבנה שלו בעצמו תוך התנסות אישית (Cartier and Stewart, 2000). ההתנסות יכולה להיות פתרון בעיה מעשית או תיאורטית בכתב או בע"פ. למידה פעילה מאפשרת ללומד להפוך מידע חיצוני לידע אישי חדש המקושר למושגים ורעיונות קיימים. לעתים, רעיון חדש מעורר ארגון מחדש של מבנים מנטאליים, שנוצרו בהתנסויות קודמות. ארגון מחדש עשוי לגרום לשינוי של תפיסות שגויות, הרחבה או השלמה של תפיסות חלקיות (קורמהולץ, 2000).

יחידת הלימוד המוצגת כאן מאפשרת לתלמידים לבחון מחדש ידע קודם ולעשות בו שימוש לשם פתרון בעיות חדשות. במהלך ההתנסות נשענים התלמידים על מושגים מוכרים בנושא בקרת ביטוי גנים. המפגש המחודש עם המושגים והעקרונות מחזק את הידע הישן ומהווה בסיס לידע חדש שנלמד. יחידת הלימוד המוצגת כאן מאפשרת לתלמידים להיות מעורבים בלמידה פעילה ולהגיע להבניה משמעותית של הידע החדש על גבי בסיס הידע הקודם שלהם. ניתן להעריך את מידת ההבנה שרכשו התלמידים במהלך עבודתם וההטמעה של הידע החדש למארג הידע הקודם מתוך תשובותיהם לשאלות יישום הידע.

תלמידים הלומדים את התורשה ברמה המולקולארית בבתי-הספר נתקלים בקשיים רבים בהבנת מושגים המתייחסים למולקולות ולתהליכים (Marbach-Ad and Stavy, 2000). הקשיים בהוראת התורשה המולקולארית מתאפיינים הן בקושי להבין את התכנים ברמת המיקרו (הרמה המולקולארית והרמה התאית), והן בקושי לקשר בין רמות אלה לבין רמת המאקרו (רמת הפנוטיפ) (Tsui and Tregust, 2004).

במקביל לעיסוק בתוכן, המפגש עם התוצאות של מחקרים בתחום והצורך למצוא להם הסברים ברמה המולקולארית גרמו לשינוי תפיסתי אצל התלמידים. התוצאות, שנאספו בגישה איכותנית, מעידות כי למידה באמצעות יחידת הלימוד מעודדת הבנייה של ידע בגנטיקה והבנה טובה יותר של הקשר בין תופעות ברמת האורגניזם (פנוטיפ) למנגנונים תאיים מולקולאריים. במיוחד בולט השינוי התפיסתי כשמשווים את תשובותיהם לשאלות אבחון הידע לשאלות סיכום ויישום הידע. בשאלון סיכום הידע מקיימים שני התלמידים דיון פורה סביב עקרונות מולקולאריים.

ההתייחסות של זוג התלמידים לנתונים ולאיורים הלכה והשתפרה לאורך עבודתם על המשימות. חוסר תשומת הלב לפרטים באיור המופיע ביחידה השנייה התחלף בתיאור מילולי מדויק ומקיף של הסרטון ביחידה החמישית. התלמידים למדו כי התייחסות למידע המילולי והחזותי המוצג בפניהם היא תנאי לפתרון המשימה ולפיכך שינו את יחסם למידע זה. שינוי זה הינו שלב חיוני בדרך לפיתוח של מיומנויות שיאפשרו רכישת ידע חדש באופן עצמאי ושימוש מושכל בידע לשם פתרון בעיות.

ההכרה כי אינטראקציה בתוך הקשר חברתי-תרבותי היא צורך בסיסי של האדם ותנאי הכרחי ללימוד הנחתה אותי בהחלטה לאפשר לתלמידים ללימוד פעילה בצוות (בזוג). האינטראקציה החברתית בין זוג הלומדים, שעבדו יחד על המשימה, עודדה התפתחות קוגניטיבית ואינטלקטואלית אצל שניהם.

העבודה בצוות תרמה להתקדמות של שני התלמידים, אבי הדומיננטי ואלי השקט, וניתן לראות כי בסוף הפעילות הם עבדו כצוות וגיבשו יחדיו הצעות לפתרון בעיות. למרות העובדה שאחד מהתלמידים היה דומיננטי יותר מהאחר, ובמצבים שונים ניכר כי הוא לא משתף את בן זוגו באופן שוויוני בתהליך הלימוד, העבודה המשותפת הצליחה לגרום לשינוי תפיסתי משמעותי יותר דווקא אצלו. תפנית זו בהתייחסות של אבי מעידה על התרומה המשמעותית של עבודה בצוות לשינוי תפיסתי.

בהתאם לעקרון המרכזי של התיאוריה הסוציו-חברתית של ויגוצקי (Vygotsky, 1978), המכונה טווח ההתפתחות הקרוב (ZPD), הצבתי בפני התלמידים, בפעילות שפיתחתי, אתגר המבוסס על תוכן לא מוכר, ויצרתי תנאים בהם יכולים התלמידים לעבור מרמתם העכשווית לרמה גבוהה יותר. טווח ההתפתחות הקרוב מכתוב את רמת התיווך הנדרשת. התיווך הניתן ללומד מכוון לגשר על הפער שבין מה שהילד יודע ומבין (הרמה ההתפתחותית של הילד) ובין מה שעדיין אינו יודע ואינו מבין אך מסוגל בעזרת סיוע לבצע.

כדי לאפשר ללימוד משמעותי פעילה תוך מעבר מרמה התפתחותית אחת לזו שמעליה החלפתי את התיווך הפרונטאלי, המקובל, בין מומחה לטירון לתיווך באמצעות פיגומים (Bruner, 1996), אותם יצרתי ביחידת הלימוד המעובדת, באמצעות חלוקה של הפעילות לתת-יחידות שבסוף כל אחת יש סיכום של הרעיון החדש שהוצג בה, תרשימים מונחים, שאלות בדרגות חשיבה הולכות ועולות, מרמת איתור מידע בטקסט או באיור דרך הבנתו ועד ליישומו, ושימוש בשאלות סגורות שבהם התלמיד מאתר תשובה מתוך מספר אפשרויות.

כאמור, במרכזה של הגישה הקונסטרוקטיבסטית עומד התלמיד אשר יש לאפשר לו קצב למידה והתפתחות המותאמים לו, להציב בפניו מטרות לימודיות, חברתיות ואישיות, ההולמות את יכולתו, נטיותיו ודרכי למידתו (Skager, 1984). לפיכך, תלמידים חלשים, שהפיגומים אינם מספיקים עבורם, יוכלו אף הם, בעזרת סיוע נוסף מהמורה שמנחה את הפעילות ומבין זוגם לעבודה בכיתה, להגיע לרמת הפעילות הנדרשת.

חלוקה של יחידת הלימוד למקטעים כשבסוף כל מקטע מופיע סיכום שלה מהווה נקודת עצירה טבעית ומאפשרת אתנחתא וויסות את העומס הקוגניטיבי. התלמידים יכולים להתקדם בקצב שמתאים להם, להתעכב בהתאם לצורך, ולחזור לכל מקטע ולעיין בו מחדש. מנחה הפעילות יכול לבחור לשלב דיון כיתתי בכל אחת מנקודות העצירה טבעיות המשולבות ביחידת הלימוד.

סביבת העבודה המוצעת כאן הופכת את המורה מספק הידע למארגן של סביבת למידה פעילה המאפשרת לתלמיד להתמודד עם פירוש של ידע והבנייתו תוך התנסות בבעיות אותנטיות. יחידת הלימוד מציעה למורה אפשרות לפנות את מקומו בקדמת הכיתה ולקחת תפקיד בהנחיה, בליווי, בעידוד ובתמיכה בתהליכי הלמידה של תלמידיו על ידי יצירת הזדמנויות ופעילויות המותאמות לרמת המוכנות שלהם.

חשיפת התלמידים למטלות אותנטיות הכוללות פעילות קוגניטיבית שמשקפת אתגר איתו מתמודדים מדענים העוסקים במחקר ( מיודוסר וחובריה, 2006) גרמה להגברת הסקרנות של תלמידים לעולם המחקר, והעניקה להם תחושה של שותפות באתגר למציאת הסברים לתופעות ולמצאים. התנסות זו עשויה להיות אמצעי להגברת המוטיבציה ללימודי המדע. במהלך העבודה השתנתה הגישה של התלמידים לעבודה וניכר שהמוטיבציה הפכה לפנימית ומונעת מתוך עניין וסקרנות. בתשובותיהם לשאלות יישום הידע בשלב האחרון של הפעילות ניכרת התלהבות ויצירתיות מצד שני התלמידים.

שימוש ביחידת הלימוד המוצגת כאן יכול להשיג מגוון מטרות חינוכיות: הבנת הקשר בין הרמת הפנוטיפית לרמת התא והתהליכים המולקולאריים המתרחשים בו, הרחבת והטמעה של ידע בגנטיקה, הבנה של מהות המדע והאופן בו נבנה הידע המדעי, חשיבה ביקורתית, ועוד. ברם, כדי להשיג את המטרות הללו חשוב לעודד גישת חקר אצל התלמידים. אם כן, נשאלת השאלה כיצד לעודד גישת חקר ולמנוע גישה מכוונת משימה?

כדי שעבודת הצוות תהיה פורייה כדאי שמנחה הפעילות יקבע את הרכב הצוות תוך שיקולים שיאפשרו מקסימום למידה משמעותית ושינוי תפיסתי. בשום מקרה לא מומלץ לצוות זוג תלמידים ששניהם מכווני משימה ובעלי תפיסה דומה. מומלץ כי המורה, על סמך היכרותו עם תלמידיו, יצוות תלמיד בעל גישת חקר עם תלמיד בעל גישה שאיננה כזו ובדרך זו יגביר את הסיכוי לכך שהתלמיד מונחה החקר ינווט את העבודה ויאפשר לתלמיד האחר ללמוד ממנו ואולי אף לשנות גישה.

## ביבליוגרפיה:

- בירנבוים מ', יועד צ', כ"ץ ש', קימרון ה' (2004). בהבניה מתמדת- סביבה לפיתוח מקצועי של מורים בנושא תרבות הל"ה המטפחת הכוונה עצמית בלמידה. ת"א: אוניברסיטת ת"א, בייס לחינוך.
- ברוקס, ז'. ברוקס ג' (1997). לקראת הוראה קונסטרוקטיביסטית בחיפוש אחר הבנה. ירושלים: מכון ברנקו וייס לטיפוח החשיבה.
- זוהר, ענת. (1996). ללמוד, לחשוב וללמוד לחשוב. ברנקו וייס, ת"ל.
- מיודוסר ד', נחמיאס ר', טובין ד', פורקוש א' (2006). חדשנות פדגוגית משולבת טכנולוגיות מידע ותקשורת. ת"א: רמות.
- קרומהולץ, נ. (2000) תיאורית למידה ופילוסופיה חינוכית ויישומה בסביבת "מדיה+". ת"א: "מרכז אידאה", אוניברסיטת ת"א.

Ausubel, D.P. (1968). Educational Psychology: A Cognitive View. N.Y: Holt, Reinhart & Winston INC.

Bruner, J. S. (1996). Toward a Theory of Instruction. New York: W. W. Norton and Company Inc.

Cartier, J. L. & Stewart, J. (2000). Teaching the nature of Inquiry: further Developments in a High school Genetics Curriculum. Science and Education 9: 247-267.

Collins, F.S., Green E. D., Guttmacher A. E. and Guyer, M. S. (2003). A Vision for the Future of Genomics Research. Nature, 422, 835-847.

Danchak, M., Huguet M.P. (2004). Designing for the changing role of the instructor in blended learning. IEEE Transactions on Professional Communication, 47(3), 200-210.

Duncan, R. G. & Reiser, B. J. (2007). Reasoning Across Ontologically Distinct Levels: Students' Understandings of molecular Genetics. Journal of Research in Science Teaching, 44(7), 938-959.

Gardner, H. (1991). *The Unschooled Mind: How Children Think and How School Should Teach*. New York: Basic Books.

Greeno, J. G., Collins. A. M. & Resnick, L. B. (1996). Cognition and learning. In Handbook of Educational Psychology, eds. Calfee R.C., pp.15-46. New York: Macmillan Library References.

Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2000). Students' cellular and Molecular Explanations of Genetics Phenomena. Journal of Biological Education, 34(4), 200-205.

Salomon, G., Perkins, D. N. & Globerson, T. (1991). Partners in Cognition: Extending Human Intelligence with Intelligence technologies. *Educational Researcher*, 20 (3), 2-9.

Skager, R. (1984). *Organizing School of Encourage Self-Direction in Learners*. UNESCO Institute for Education, Hamburg and Oxford: Pergamon Press.

Tsui, C.-Y. & Treagust, D. F. (2004). Motivational Aspects of Learning Genetics with Interactive Multimedia. *The American Biology Teacher*, 66(4), 277-285.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.