

תקציר

הומיאוסטזיס הוא רעיון מרכזי בביולוגיה, המייצג למעשה את תמצית הביולוגיה של היצורים החיים: היציבות הדינמית, המתבטאת בריכוזי חומרים, קצב תהליכים נורמאליים והתרחשות תופעות במצבים מיוחדים. הומיאוסטזיס מהווה רעיון העובר כציר אורך בנושאים רבים ובתחומים שונים בביולוגיה. כמו כן, הרעיון חוצה רמות ארגון הירארכיות. כלומר, הוא קיים ברמות המיקרו והמקרו: החל במולקולה והחידק, דרך התא האאוקריוטי, הרקמה, האבר, המערכת הפיזיולוגית ועד הגוף השלם הרב-מערכתי. הבנת הרעיון נתקלת בקשיים רבים. הקשיים נובעים בין היתר מהצורך לחבר בין היבט קונקרטי-תחושתי של ההומיאוסטזיס, כפי שהוא "מורגש" באופן ממשי בגוף השלם לבין ההיבטים המדעיים, שהם מופשטים ומורכבים ודורשים חשיבה פורמאלית להשגתם. הבנת היבטים מופשטים אלו כרוכה בהפעלת מיומנויות קוגניטיביות של ידע קונספטואלי, כדוגמת חשיבה מערכתית ואינטגרציה מיקרו-מקרו.

סוגיית ההוראה של ההומיאוסטזיס, הרעיון המרכזי בביולוגיה, מהווה דוגמה לדואליות הקיימת בהוראת רעיון מרכזי בתחום ידע. הדילמה מתרכזת בשתי גישות:

א. לימוד הרעיון הכללי ויישומו בפרטים: מהכלל אל הפרט

ב. גישה הפוכה בכיוונה: לימוד פרטים, ומתוכם הסקה על הרעיון הכללי: מן הפרט אל הכלל. המחקר הנוכחי עסק בבחינת התרומה של כל גישה להנחלת ידע ותפיסות מדעיות של הרעיון. גישה א' יושמה בהוראה מפורשת, שבאה לידי ביטוי בלימוד מוצהר ומפורט של רעיון ההומיאוסטזיס, מבחינת המאפיינים הכוללניים שלו וקיומו בכל רמות הארגון. גישה ב' יושמה בהוראה סמויה, המסתמכת על גילוי הרעיון המופיע כמנגנון, כמצב וכתהליך וכן היסק של ההיבטים השונים של הומיאוסטזיס מתוך דוגמאות. שתי דרכי ההוראה לוו במערכת לימודית ממוחשבת, שבה מוצגים הכלל וגם הפרטים. כלומר, המערכת הממוחשבת מציגה את רעיון ההומיאוסטזיס על-פי מאפייניו, שהם משותפים לכלל המדדים והתהליכים, וכן באמצעות דוגמאות. הדוגמא שבה התמקדה המערכת הממוחשבת היא: אופרון הלקטוז, המהווה מערכת הומיאוסטטית ברמה פרוקריוטית-מולקולרית.

מטרות המחקר היו לבחון את השפעת השילוב של הוראה מפורשת עם למידה באמצעות כלים ממוחשבים על הידע הכולל וסוגי הידע של התלמידים, בנוגע לרעיון המרכזי - הומיאוסטזיס. מטרה נוספת היתה לבחון את השפעת השילוב של הוראה מפורשת עם למידה באמצעות כלים ממוחשבים על תפיסת המאפיינים של רעיון ההומיאוסטזיס אצל התלמידים. בנוסף, כוון המחקר לאתר דגמי תפיסות של רעיון מרכזי זה, הקיימים בקרב התלמידים.

המחקר התבצע בקרב 465 תלמידי כיתות י"א ו-י"ב, המתמחים בביולוגיה והלומדים תורשה מולקולרית ובקרת גנים, במסגרת הנושא גנטיקה ונושאים אחרים בביולוגיה. מערכת אופרון הלקטוז, הקיימת בחידקים נלמדה כדוגמה להומיאוסטזיס ברמה מולקולרית ושימשה כגשר לרעיון ההומיאוסטזיס ברמת האורגניזם השלם. כיתות המחקר חולקו לארבע קבוצות. כל קבוצת מחקר למדה את רעיון ההומיאוסטזיס באחד מהאופנים, המשלבים דרך הוראה - מפורשת או סמויה, ודרך למידה - עם מחשב או ללא מחשב. ארבע קבוצות המחקר היו: הוראה מפורשת + למידה עם מחשב (להלן, EXPCOM); הוראה סמויה + למידה עם מחשב (להלן,

IMPCOM); הוראה מפורשת + למידה "רגילה", ללא מחשב (להלן, EXP); הוראה סמויה + למידה "רגילה", ללא מחשב (להלן, IMP).

השערות המחקר התמקדו בהבדלים בידע ותפיסות של מאפייני הומיאוסטזיס לפני תהליך הלמידה ואחריו, וכן בהבדלים בידע ובתפיסות של מאפייני הומיאוסטזיס אחרי תהליך הלמידה. להלן ההשערות:

השערה א': יימצא שיפור בידע הכולל ובסוגי הידע אחרי הלמידה, בהשוואה לידע שלפני הלמידה. השיפור הגדול ביותר יימצא בקבוצת ההוראה המפורשת עם מחשב (EXPCOM).

השערה ב': יימצאו הבדלים בידע של רעיון ההומיאוסטזיס אחרי למידה, בין הוראה מפורשת לסמויה ובין למידה עם מחשב ללמידה ללא מחשב. האינטראקציה בין שיטת ההוראה ללמידה עם מחשב ובלעדיו תימצא מובהקת ביחס לידע כולל, סוגי הידע ומיומנויות ידע קונספטואלי של התלמידים, בנוגע לרעיון המרכזי הומיאוסטזיס. השערה ג': יימצא שיפור בתפיסות של מאפייני הרעיון המרכזי הומיאוסטזיס אחרי למידה, בהשוואה לתפיסות שלפני הלמידה. השיפור הגדול ביותר יימצא בקבוצת ההוראה המפורשת עם מחשב (EXPCOM).

השערה ד': יימצאו הבדלים בתפיסות הומיאוסטזיס אחרי למידה, בין הוראה מפורשת לסמויה ובין למידה עם מחשב ללמידה ללא מחשב. האינטראקציה בין שיטת ההוראה ללמידה עם מחשב ובלעדיו תימצא מובהקת, ביחס לתפיסות של מאפייני הרעיון המרכזי הומיאוסטזיס המצויות בקרב התלמידים.

לבחינת ההשערות הופעלה תכנית התערבות. ההתערבות בלמידה הופעלה בארבע וריאציות, לפי קבוצות המחקר: הוראה מפורשת או סמויה יחד עם למידה באמצעות המחשב או בלעדיו, דהיינו, למידה "רגילה".

ההוראה המפורשת כללה שלושה שלבים, שכיוונם מהכלל אל הפרט - מן הרעיון אל היישום:
 א. מבט-על על הומיאוסטזיס - לימוד המאפיינים המשותפים לכלל התופעות והתהליכים ההומיאוסטטיים, הבאים לידי ביטוי ברמת המקרו
 ב. לימוד נושא האופרון באופן מפורט ומוצהר, עם דגש על ראיית מערכת האופרון כמערכת הומיאוסטטית בתא החידק וברמה מולקולרית
 ג. אינטגרציה מוצהרת ומפורשת של רעיון ההומיאוסטזיס (על-ידי המורה), בין רמת המקרו והמיקרו.

ההוראה הסמויה כללה שלושה שלבים, שכיוונם היה הפוך מזה של הוראה מפורשת: מהפרט אל הכלל - גילוי והסקה על הרעיון הכללי, מתוך דוגמאות:

א. הקדמה לנושא בקרה וויסות
 ב. לימוד מודל האופרון כקטע בקרה ברמת ה-DNA: פירוט המרכיבים של האופרון ומנגנון הפעולה

ג. זיהוי הקשר בין הנושא אופרון לבין העקרונות של רעיון ההומיאוסטזיס על-ידי התלמידים. ה"חיבור" בין רמות המיקרו והמיקרו של רעיון ההומיאוסטזיס נעשה על-ידי התלמידים בדרך של אנליזה וסינתזה, ללא הצהרות מפורשות של המורה.

הלמידה במחשב נעשתה באמצעות ארבעה כלי למידה: שני סוגים של סימולציות: אנימציה מדעית ואנימציה אנלוגית (הומוריסטית), משחק אינטראקטיבי ומעבדה וירטואלית. כלי הלמידה מהווים חלק מאתר אינטרנט* העוסק כולו ברעיון המרכזי הומיאוסטזיס, על היבטיו השונים בכל הרמות.

המחקר נשא אופי כמותי ואיכותי.

כלי המחקר היו:

א. שאלון ידע ותפיסה של רעיון ההומיאוסטזיס - לפני למידה

ב. שאלון ידע ותפיסה של רעיון ההומיאוסטזיס - אחרי למידה

ג. שאלון קונספטואלי (אחרי למידה)

ד. ראיונות

ה. רשת ידע - Repertory Grid.

התשובות לשאלות בשאלונים א'-ג' נותחו באופן כמותי (ANOVA ו-MANOVA) וכן באופן איכותי (ניתוח תוכן). בשאלונים אלו נבדקו ידע כולל וסוגי ידע: דקלרטיבי, פרוצדוראלי, אנלוגי, קונספטואלי. הידע הקונספטואלי נבדק גם בפילוח למיומנויות: אינדוקציה, דדוקציה, חשיבה מערכתית ואינטגרציה מיקרו-מקרו. כן נבחנו בשאלונים תפיסות התלמידים בנוגע למאפייני הומיאוסטזיס: דינמיקה, משוב, רב-מערכתיות, סביבות, איזון פיזיולוגי, בקרה וויסות, תלות בין אירועים ורמות ארגון. תשובות התלמידים בראיונות נותחו לפי סוגי הידע לעיל, ותפיסותיהם עלו מתוכן. כמו כן נותחו תשובות התלמידים, בנוגע להתייחסותם האישית ללמידה באמצעות כלי הלמידה הממוחשבים. ברשתות הידע - Repertory Grids נבחנה תפיסה מערכתית של מערכות פיזיולוגיות וזיהוי מאפייני הומיאוסטזיס בהן.

ממצאי המחקר מסתמנת מגמה ברורה של עדיפות להוראה המפורשת, בעיקר עם מחשב. ממצאים אלו חיזקו תוצאות של מחקרים אחרים שעסקו בסוגיה, בנוגע לנושאים אחרים כדוגמת מערכות מורכבות. השערות המחקר אוששו לגבי רוב המדדים. השערה א' אוששה לגבי המדדים: ידע כולל וסוגי הידע: דקלרטיבי, פרוצדוראלי, אנלוגי (בחלקו), קונספטואלי (בחלקו). עולה מכך, שחל שיפור במדדי הידע של רעיון ההומיאוסטזיס ברוב הקבוצות לאחר תהליך הלמידה. השערה ב' אוששה לגבי המדדים: ידע כולל, ידע אנלוגי, ידע קונספטואלי, מיומנויות ידע קונספטואלי - אינדוקציה, דדוקציה, חשיבה מערכתית ואינטגרציה מיקרו-מקרו. כלומר, ההוראה המפורשת בשילוב עם מחשב (EXPCOM) והוראה מפורשת כשלעצמה (EXP), נמצאו כיעילות ביותר לגבי מדדי הידע של רעיון ההומיאוסטזיס. השערה ג' אוששה בחלקה: אחרי למידה חל שיפור בתפיסות שני מאפייני הומיאוסטזיס - דינמיקה וסביבות, בהשוואה לתפיסות של מאפיינים אלו אחרי למידה. השערה ד' אוששה לגבי תפיסות המאפיינים: דינמיקה, סביבות, איזון פיזיולוגי, בקרה וויסות, תלות בין אירועים ורמות ארגון.

הוראה סמויה, ללא תלות בדרך הלמידה, עם מחשב או בלעדיו, נמצאה יעילה לגבי מדד הידע הפרוצדוראלי ולגבי מדדי התפיסות של מאפייני הומיאוסטזיס: רב-מערכתיות ואיזון פיזיולוגי.

* כתובת האתר: www.hs.ph.biu.ac.il

למידה עם מחשב, ללא הבדל בדרך ההוראה (EXPCOM ו-IMP COM), היתה יעילה לגבי שני סוגי המדדים: א. ממדי ידע - ידע פרוצדוראלי, אינדוקציה, אינטגרציה מיקרו - מקרו; ב. ממדי התפיסות של המאפיינים הבאים - איזון פיזיולוגי, בקרה וויסות ותלות בין אירועים. לרוב, נמצאה השפעה חיובית החדית של הוראה מפורשת על הלמידה עם מחשב וההפך. השפעה הפוכה ניכרה בנוגע לשני מדדים: ידע פרוצדוראלי ותפיסת המאפיין רב-מערכתיות. נמצא קשר בין שני סוגי הידע: פרוצדוראלי וקונספטואלי וכן, בין שני סוגי הידע: אנלוגי לקונספטואלי, בעיקר בדוקציה. כמו כן, נמצא קשר מגוון בין מיומנויות ידע לבין תפיסות של מאפייני הומיאוסטזיס: א. מיומנות הידע: אינטגרציה מיקרו-מקרו והמאפיין: רמות ארגון; ב. מיומנות הידע: חשיבה מערכתית והמאפיינים: רב-מערכתיות ותלות בין אירועים.

התייחסות התלמידים ללמידה באמצעות מחשב התבטאה בשני כיוונים בעמדותיהם: א. הערכת התרומה של הכלים הממוחשבים ללמידת אופרון בפרט ורעיון ההומיאוסטזיס בכלל: הסימולציה המדעית נמצאה ככלי הלמידה היעיל ביותר. אחריו, בסדר יורד, נמצאו כלי הלמידה: משחק, סימולציה אנלוגית ומעבדה וירטואלית ב. היבטים המודגשים בכל כלי הלמידה (לדעת התלמידים): האלמנט המתודי הבולט היה המחשה (בסימולציות ובמשחק), ואילו האלמנטים התוכניים הבולטים היו: דינמיות ובקרה. המחקר הנוכחי שפך אור על תפיסות של הרעיון המרכזי בביולוגיה: הומיאוסטזיס. תפיסות אלה מייצגות למעשה את כלל התפיסה הביולוגית, שעמה יוצאים תלמידים המתמחים בביולוגיה בבית הספר התיכון. תפיסות אלו משקפות גם היבטים של תפיסת מערכות מורכבות (complex systems). תרומת המחקר מתבטאת בשני תחומים:

א. בתחום התיאורטי

1. בחינת ההשפעה של הוראה מפורשת בכלל והוראה מפורשת בשילוב של למידה עם המחשב בפרט על למידה משמעותית של רעיון מרכזי מופשט ומורכב, כדוגמת ההומיאוסטזיס
2. ניתוח תפיסות תלמידים שהתפתחו במהלך לימודי הביולוגיה, בנוגע לרעיון ההומיאוסטזיס.

ב. בתחום היישומי

1. הצעת דרכים להוראת רעיון מרכזי בתחום הידע
2. אפיון התרומה של כלי למידה ממוחשבים ללמידה משמעותית של נושא מרכזי רב-תחומי וחוצה רמות ארגון.

במחקר עלו היבטים הראויים ליישום ולמחקר המשך מעמיק בנוגע לידע, להוראה וללמידה באמצעות מחשב. בנוגע לידע, הקשר בין ידע פרוצדוראלי וידע קונספטואלי מעלה את השאלה, מהו סדר ההוראה היעיל יותר - המנגנון (פרוצדוראלי) ואחריו ההקשר לרעיון הכולל (קונספטואלי), או ההפך. ניתן לבחון סוגיה זו (בביולוגיה, לדוגמה) לגבי הוראה של מערכות פיזיולוגיות, בהן מתרחשים תהליכים ביוכימיים, התלויים במבנה אנטומי מדויק ובמערך פיזיולוגי מתאים. בנוגע לקשר המובהק בין ידע אנלוגי לידע קונספטואלי, יש "לרתום" קשר זה לעידוד ופיתוח ידע אנלוגי, המהווה גיוון של אפשרויות ההצגה (התצורות) של הרעיון הנלמד.

בנוגע להוראה מפורשת, ממצאי המחקר העלו היבטים של הוראה מפורשת, שאף הם ראויים למחקרי רוחב ועומק:

א. השפעתה של הוראה מפורשת על "מרחב" החשיבה של התלמידים: הרחבת ה"מרחב" או צמצומו

ב. השפעתה של הוראה מפורשת על פיתוח חשיבה מערכתית

ג. הוראת רעיון מרכזי: בדרך מפורשת או סמויה?

ד. גורמים הקובעים את מידת היעילות של דרך ההוראה - מפורשת או סמויה: "איתנות" ההוראה למשך זמן, פוטנציאל ההעברה של הנושא שנלמד לאותו תחום ולתחום אחר; גיל התלמידים, המשקף בדרך כלל את רמת הידע המוקדם של התלמידים.

ממצאי המחקר מעלים סוגיות לדיון גם בנוגע ללמידה באמצעות מחשב. היעילות הדיפרנציאלית של כלי הלמידה הממוחשבים לפיתוח סוגי הידע ותפיסות של רעיון ההומיאוסטזיס מעלה את השאלה, לגבי הוראת נושא / רעיון מרכזי באמצעות מחשב. מהממצאים עולה, כי יש למצות את הפוטנציאל הטמון בכלי למידה ממוחשבים, מכיוון שכל כלי למידה מכוון למטרות ספציפיות - דידיקטיות ותוכניות, והוא מבוסס על רציונאל תיאורטי ייחודי בעת פיתוחו.

ניתוח התפיסות של התלמידים בארבע קבוצות המחקר העלה שבעה דגמים של תפיסות רעיון ההומיאוסטזיס, על-פי המקורות שמהם נובעות התפיסות. דוגמאות למקורות אלו: היצמדות לפרשנות שגויה של הגדרה, ידע אינטואיטיבי והיצמדות לביטוי. דגמי התפיסות השונות נמצאו בכל הקבוצות, אך השיעור הגבוה ביותר נמצא לרוב בקבוצת ההוראה הסמויה ללא מחשב (IMP).

למחקר הנוכחי השלכות לגבי הוראת רעיונות מרכזיים נוספים, שהינם ייחודיים לתחום ידע, או שעשויים להיות רב-תחומיים ובינתחומיים. השלכות מתודולוגיות יתבטאו בבחינת השפעה של שילובי הוראה ולמידה על ידע ותפיסות של תלמידים. ניתוח התוכן של תפיסות התלמידים עשוי להוות בסיס לניתוח תפיסות של תלמידים בנושאים אחרים ואיתור שורשיהן של תפיסות שגויות. השלכות מעשיות יתבטאו בהתייחסות לממצאי המחקר כמסד של ידע ותפיסות, עבור פיתוח יחידות להוראת רעיונות ביולוגיים מרכזיים אחרים. כמו כן, ניתן לראות בממצאי המחקר מנוף לפיתוח חשיבת-על ותפיסה מערכתית בקרב התלמידים.