



מכון ויצמן למדע
WEIZMANN INSTITUTE OF SCIENCE

Thesis for the degree
Doctor of Philosophy

עבודת גמר (תזה) לתואר
דוקטור לפילוסופיה

Submitted to the Scientific Council of the
Weizmann Institute of Science

מוגשת למועצה המדעית של
מכון ויצמן למדע
רחובות, ישראל

By
Lena Raved

מאת
לנה ראב"ד

עיצוב מודל היררכי לפיתוח והערכה של חשיבה מערכתית בביולוגיה ויישומיו
בהוראה ובלמידה של מערכת ההובלה בגוף האדם בחט"ב

Designing a **Systems Thinking Hierarchical** model for **Biology Education (STH-BE)** and implementing it in the teaching and learning of the human transport system in junior high school

Advisor:
Prof. Anat Yarden

מנחה:
פרופ' ענת ירדן

03/2016

אדר תשע"ו

תודות

העבודה שלי לא הייתה נראית כפי שהיא לולא האנשים אשר עזרו לי לאורך הדרך.

ראשית רציתי להודות למנחה שלי, פרופ' ענת ירדן, הדרכת וכיוונת אותי במקצועיות, מסירות וסובלנות, תוך הקפדה על פרטים קטנים כגדולים. בזכותך הבנתי מהי קהילת הוראת המדעים, מה שפתה ומה חוקיה. למדתי לא רק כיצד לבנות מחקר באופן קפדני וקוהרנטי אלא גם כיצד לדווח עליו בדרך מנומקת ונהירה.

תודה למלווים שלי פרופ' ניר אוריון ופרופ' רונן אלון, כל אחד מכם האיר את המחקר שלי מזווית אחרת. ההערות שלכם, מדויקות ותמציתיות כיוונו, אתגרו והעמיקו את המחקר שלי.

תודה למורות שנרתמו למחקר והכניסו אותי אל עולמן **ולתלמידים** שלקחו ברצינות רבה את חלקם במחקר ושיתפו פעולה בכל שלביו.

תודה לגרפיקאים, זיו אריאלי, מור מוריה, אבי טל וציפי עובדיה על המקצועיות והיצירתיות בעבודה על הספר, הפוסטרים לכנסים ובקשות נוספות שעלו במהלך המחקר.

תודה ליטי ורון על היעוץ הסטטיסטי המצויין והרצון להסביר בנועם את המשמעות של המונחים והמבחנים הסטטיסטיים.

תודה לחברי קבוצת הביולוגיה, על התמיכה (הרגשית והמקצועית), העצות המועילות, השיחות המעניינות והחברות.

תודה מיוחדת למערכת הפרטית שלי- **המשפחה שלי** שהחלה לפרוח עם תחילת הדוקטורט ובמהלכו הפכה לעולם ומלואו המורכב מעולמות גדולים וייחודיים. דני, עמית ועומר עטפתם אותי בחום שמחה ואהבה. תודה גדולה גם להורים שלי ובעיקר לאמא שלי על התמיכה שאפשרה לי להשקיע זמן ומרץ במחקר.

-תוכן עניינים-

9	Abstract
11	תקציר
13	רציונאל
15	מטרות ושאלות המחקר
16	רקע תיאורטי
16	1. הגישה הקונסטרוקטיביסטית להתפתחות הידע.
16	1.1 קונסטרוקטיביזם-קוגניטיבי
19	1.2 קונסטרוקטיביזם-חברתי
22	2. הגישה המערכתית בהוראה ולמידה.
22	2.1 מהי מערכת?
24	2.2 מהי חשיבה מערכתית?
25	2.3 כיצד מתפתחת חשיבה מערכתית?
26	3. חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה.
28	3.1 חשיבה מערכתית כמפתח להבנת תופעות ביולוגיות
29	3.2 ניתוח מערכות ביולוגיות תוך הבחנה בין מבנה, מנגנון ותפקיד המערכת
31	4. מערכת ההובלה באדם כדוגמא למערכת ביולוגית
33	מתודולוגיה
33	1. כלי המחקר
34	1.1 מפת מושגים
37	1.2 Repertory Grid
39	1.3 תצפיות בכיתה ניתוח שיח כיתתי
40	1.4 ראיון
40	2. משתני המחקר
41	3. אוכלוסיית המחקר
42	3.1 תלמידים
42	3.2 מורים
43	4. תקפות פנימית של המחקר
44	קונטקסט למחקר
44	1. עיצוב מודל משולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה
45	2. עיצוב חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית
45	3. בניית דגם הוראה לפיתוח הדרגתי של חשיבה מערכתית בביולוגיה

48	תוצאות
48	חלק א'- עיצוב מודל היררכי של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה
57	חלק ב'- בחינת השפעת חומרי למידה חדשים על החשיבה המערכתית של תלמידים ומורים
75	חלק ג': תיאור חקר מקרה
98	דיון
99	1. עיצוב מודל STH-BE ויישומיו
102	2. הכיתה כמערכת
102	2.1 רכיבי המערכת
104	2.2 הקשרים בין הרכיבים במערכת
106	2.3 מארג יחסי הגומלין בין השיח הכיתתי, התלמידים, המורה וחומרי ההוראה-למידה
110	3. סיכום והשלכות
111	מקורות

רשימת איורים, גרפים וטבלאות

37	איור 1. ארבעה דגמים אופייניים של מפות מושגים
41	איור 2. הכיתה כמערכת- כלל המשתנים ומארג ההקשרים ביניהם
47	איור 3. תרשים לארגון וסיכום ידע המלווה את יחידת הלימוד
49	גרף 1. התפלגות מושגים וקשרים במפות המושגים של תלמידים בהתאם למודל החשיבה המערכתית ההיררכית
	גרף 2. התפלגות המושגים והקשרים במפות מושגים של תלמידים בהתאם
50	למרכיבי חשיבה מערכתית בביולוגיה בהקשר להוראת התא החי
53	גרף 3. התפלגות המושגים והקשרים במפות המושגים של התלמידים בהתאם למודל STH-BE
54	גרף 4. ממוצע מספר קשרי מבנה ומספר קשרי תהליך במפות מושגים של התלמידים, דגמים A-D
56	גרף 5. ממוצע מספר קשרי לכידות אופקית ולכידות אנכית במפות מושגים של התלמידים, דגמים A-D
56	גרף 6. התפלגות היחס בין לכידות אופקית ללכידות אנכית במפות מושגים של תלמידים, דגמים A-D
81	גרף 7. שיעור 1 של המורה עמליה
81	גרף 8. שיעור 10 של המורה עמליה
84	גרף 9. שיעור 5 של המורה עמליה
88	גרף 10. שיעור 1 של המורה טל
88	גרף 11. שיעור 10 של המורה טל
90	גרף 12. שיעור 9 של המורה טל
95	גרף 13. התפלגות המושגים לפי רמת ארגון במפות המושגים של תלמידי המורה עמליה לפני ואחרי תהליך הלמידה

- 95 **גרף 14.** התפלגות המושגים לפי רמת ארגון במפות המושגים של תלמידי המורה טל לפני ואחרי תהליך הלמידה
- 96 **גרף 15.** התפלגות הקשרים במפות המושגים של תלמידי המורה עמליה לפני ואחרי תהליך הלמידה
- 96 **גרף 16.** התפלגות הקשרים במפות המושגים של תלמידי המורה טל לפני ואחרי תהליך הלמידה
- 33 **טבלה 1.** התאמה בין כלי המחקר לשאלות המחקר
- 36 **טבלה 2.** תיאור ניתוח מפות מושגים בהתאם לקטגוריות במודל המשולב של חשיבה מערכתית בביווגיה
- 42 **טבלה 3.** התפלגות אוכלוסיית המדגם במחקר- תלמידים
- 43 **טבלה 4.** תיאור מאפייני המורים שהשתתפו במחקר
- 44 **טבלה 5.** מודל משולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביווגיה
- 46 **טבלה 6.** רצף הפעילויות בדגם ההוראה
- 52 **טבלה 7.** התפלגות מספר המושגים והקשרים לאור מודל משולב (תיאורטי) של חשיבה מערכתית בביווגיה
- 53 **טבלה 8.** מודל היררכי של חשיבה מערכתית בהוראת הביווגיה-STH-BE
- **טבלה 9.** התפלגות מספר המושגים במפות המושגים של התלמידים (ממוצע למפה)
- 57 לפני ואחרי תהליך הלמידה
- 58 **טבלה 10.** התפלגות המושגים השכיחים ביותר במפות המושגים של התלמידים לאחר תהליך הלמידה
- 59 **טבלה 11.** התפלגות מספר הקשרים במפות המושגים של התלמידים (ממוצע למפה) לפני ואחרי תהליך הלמידה
- **טבלה 12.** התפלגות מספר מושגי הצומת ומספר מושגי הקצה במפות המושגים של התלמידים (ממוצע למפה)
- 60 לפני ואחרי תהליך הלמידה
- 61 **טבלה 13.** מושגי הצומת השכיחים ביותר במפות המושגים של התלמידים לפני ולאחר תהליך הלמידה
- 62 **טבלה 14.** שכיחות דגמי מפות המושגים של תלמידים A-D לפני ואחרי תהליך הלמידה
- 73 **טבלה 15.** אלמנטים אותם הציפו שלושת המורות ב-RG לפני תהליך ההוראה
- 74 **טבלה 16.** דוגמאות לנימוקים של שתי המורות למיון שלשות של מושגים המציגים מבנים דו-קוטביים אופייניים
- 76..... **טבלה 17.** מחוון לניתוח שיח כיתתי מנקודת מבט מערכתית על פי מודל STH-BE
- **טבלה 18.** השינוי בממוצע מספר המושגים במפות המושגים של תלמידיהמורה עמליה ותלמידי המורה טל,
- 97 בעקבות הלמידה
- **טבלה 19.** השינוי בממוצע מספר הקשרים במפות המושגים של תלמידיהמורה עמליה ותלמידי המורה טל,
- 97 בעקבות הלמידה

-Abstract-

In accordance with the constructivist approach to learning and teaching, the meaning of knowledge development is the construction of knowledge while linking new information to the learner's prior knowledge. According to the constructivist-cognitive approach, learning is a gradual process of concept development, which requires reorganization of the information by the learner. When trying to create new cognitive structures one of the challenges is the construction of cohesive and coherent knowledge, by integrating and joining units of knowledge while identifying the connections between them. The systems approach to teaching and learning enables the analysis of taught occurrences from a meta-cognitive point of view while emphasizing the connections and interactions in the system, which encourages the formation of coherent knowledge. The immense complexity characterizing biological systems, which include numerous components at varying levels of organization, and the standard methods of teaching, which emphasize components and structures, but insufficiently address interactions within the systems and seldom connect between levels of organization, create great difficulties on the way to a deeper understanding of natural phenomena. Therefore, it became necessary to develop effective tools for characterizing and analyzing systems thinking in biology and for organizing the knowledge of teaching and learning biology with a systematic approach. For this reason I designed a **S**ystems **T**hinking **H**ierarchical model for **B**iology **E**ducation (STH-BE), which is based upon the integration of three existing theoretical frameworks of systems thinking. I have written a systems thinking teaching model based on the STH-BE model and combined it with the teaching-learning materials that I developed on the subject of the human circulatory system for the 7th grade. This subject is considered to be one of the main subjects taught in biology in junior-high in school. In addition, I examined the influence of the new teaching-learning materials that I developed on the teaching and learning processes in the classroom from a systematic standpoint. One hundred and sixty three 7th grade students and three teachers participated in the study. The research tools selected for characterizing systems thinking are: Concept maps, Repertory Grid questionnaires, interviews and observations in the classroom. The study findings indicated that the transition between the ability to connect components at one level of organization (horizontal coherence) to the ability to connect between components at different levels of organization (vertical coherence) is more difficult for the students, than the transition between the ability to identify simple relationships to the ability to identify dynamic

relationships in the biological system. This finding led to the change of the hierarchical order in the theoretical STH-BE model and to the proposal of an updated model.

Learning while using the teaching-learning materials for the development of systems thinking has advanced the junior-high school students' abilities in all systems thinking skills, in accordance with the hierarchy in the updated STH-BE model. The greatest improvement was observed in the students' ability to identify components in the system at one level of organization (macro level) and the least improvement was observed in the students' ability to organize the system components in a framework of interactions. Furthermore, it was observed that the improvement in the students' ability to identify dynamic relationships between components at different levels of organization was greater than the hierarchical improvement in other skills. Moreover, the findings showed that the use of teaching-learning materials for the development of systems thinking caused the development of systems thinking among the teachers using the teaching-learning materials in the following aspects: (1) differentiating between structures and processes, (2) connecting between components and processes and creating a system, and-(3) differentiating between organizational levels in the system.

An analysis of the classroom discourse indicated that questions, which generate a discussion in the level of systems thinking matching the level of the students' systems thinking, encourage a fruitful debate between the teacher and her students, while questions that generate a discussion in the levels of systems thinking higher than that of the students do not encourage a discussion and cause a response in a lower level of systems thinking. Questions from the textbook guided the discussion gradually and encouraged productive discourse in a consistent level of systems thinking. The comparison between the characteristics of the teachers' systems thinking and the change in their students' knowledge structures indicates a possible connection between the significance the teachers place on the connections between levels of organization and the representation of these connections in their students' concept maps.

-תקציר-

התפתחות הידע, ברוח הגישה הקונסטרוקטיביסטית ללמידה והוראה, משמעותה הבניית ידע תוך קישור ידע חדש לידע הקודם של הלומד. לפי הגישה הקונסטרוקטיביסטית-קוגניטיבית, למידה היא תהליך הדרגתי של התפתחות מושגים, המערב ארגון מחדש של הידע על ידי הלומד. אחד האתגרים בדרך ליצירת מבנים קוגניטיביים חדשים הוא בניית ידע מקושר וקוהרנטי באמצעות מיזוג וחיבור בין יחידות ידע תוך זיהוי הקשרים ביניהן. הגישה המערכתית בהוראה ולמידה מאפשרת לנתח תופעות נלמדות מנקודת מבט מטא-קוגניטיבית תוך דגש על הקשרים ויחסי גומלין במערכת, מה שמעודד יצירת ידע קוהרנטי. המורכבות הרבה המאפיינת מערכות ביולוגיות, הכוללות רכיבים מרובים ברמות ארגון שונות ודרך ההוראה המקובלת אשר שמה דגש על רכיבים ומבנה, אך עוסקת באופן בלתי מספק ביחסי הגומלין במערכת וממעטת לקשר בין רמות ארגון, יוצרים קשיים רבים בדרך להבנה מעמיקה של תופעות המתקיימות בטבע. מכאן עלה הצורך בפיתוח כלים אפקטיביים לאפיון וניתוח חשיבה מערכתית בביולוגיות ולארגון הידע בהוראה ולמידה של ביולוגיה בגישה מערכתית. לשם כך עיצבתי מודל היררכי לחשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה - **Systems Thinking Hierarchical model for Biology Education (STH-BE)**, הבנוי על אינטגרציה בין שלוש מסגרות תיאורטיות קיימות לחשיבה מערכתית. על בסיס המודל החדש כתבתי דגם הוראה לפיתוח חשיבה מערכתית ושלבתי אותו בחומרי הוראה-למידה שפיתחתי בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם לכיתה ז'. נושא זה נחשב לאחד הנושאים המרכזיים הנלמדים בביולוגיה בבתי הספר. בנוסף לכך, בחנתי את השפעתם של חומרי ההוראה-למידה החדשים שפיתחתי על תהליכי ההוראה והלמידה בכיתה מנקודת מבט מערכתית.

במחקר השתתפו 163 תלמידי כיתה ז' ושלושה מורים. כלי המחקר שנבחרו לצורך אפיון של החשיבה המערכתית הם: מפות מושגים, שאלוני **repertory grid**, ראיונות ותצפיות בכיתה. ממצאי המחקר הצביעו על כך שהמעבר בין יכולת הקישור בין רכיבים ברמת ארגון אחת (לכידות אופקית) ליכולת הקישור בין רכיבים ברמות ארגון שונות (לכידות אנכית), מהווה קושי גדול יותר עבור התלמידים בהשוואה למעבר בין היכולת ליצור קשרי מבנה ליכולת ליצור קשרי תהליך במערכת ביולוגית. ממצא זה הוביל לשינוי הארגון ההיררכי במודל **STH-BE** התיאורטי והצעת מודל מעודכן.

למידה באמצעות חומרי ההוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית קידמה את יכולות התלמידים בכל מיומנויות החשיבה המערכתית, בהתאם להיררכיה שבמודל **STH-BE** המעודכן. השיפור הגדול ביותר חל ביכולת התלמידים לזהות רכיבים במערכת ברמת ארגון אחת (רמת מאקרו) והשיפור הנמוך ביותר חל ביכולת התלמידים לארגן את רכיבי המערכת במארג של יחסי גומלין. כמו כן, נמצא כי השיפור ביכולת התלמידים לזהות קשרי תהליך בין רכיבים ברמות ארגון שונות היה גבוה ביחס לשיפור ההיררכי במיומנויות האחרות. בנוסף לכך, הממצאים הראו שהשימוש בחומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית הביא להתפתחות החשיבה המערכתית של המורות שהשתמשו בחומרי ההוראה-למידה בהיבטים הבאים: (1) הבחנה בין מבנים לתהליכים, (2) קישור בין רכיבים ותהליכים לכדי מנגנון, ו-(3) הבחנה בין רמות ארגון במערכת.

ניתוח השיח הכיתתי הצביע על כך ששאלות המזמנות דיון ברמת חשיבה מערכתית אשר תואמת את רמת החשיבה המערכתית של התלמידים, מקדמות רב-שיח פורה בין המורה לתלמידיה ואילו שאלות המזמנות דיון ברמת חשיבה מערכתית גבוהות מזו של התלמידים אינן מקדמות דיון ומובילות למענה ברמת חשיבה מערכתית נמוכה יותר. שימוש בשאלות מספר הלימוד הובילו את השיח באופן הדרגתי ועודדו יצירת שיח פורה ברמת חשיבה מערכתית אחידה. ההשוואה בין מאפייני החשיבה המערכתית של המורות לשינוי שחל במבנה הידע של תלמידיהן מצביעה על קשר בין החשיבות שמורות מייחסות לקישור בין רמות ארגון לבין הייצוג של קשרים אלו במפות המושגים של תלמידי כיתתן.

-רציונל-

אחד המאפיינים הבולטים של תרבות בת זמננו הוא שינויים תכופים בכל תחומי החיים. שינויים אלו הם פועל יוצא של מערכות מורכבות המשפיעות עלינו כפרטים וכחברה (Probst & Bassi, 2014). חשיבה מערכתית מציעה נקודת מבט מטא-קוגניטיבית על מארג התופעות הסובבות אותנו ומהווה כלי חשוב להבנתן. חשיבה מערכתית היא מסגרת מושגית של ידע, עקרונות וכלים המאפשרת לנתח יחסי גומלין לצורך זיהוי דפוסים משתנים (Senge, 1990). לתפיסת עולם זו תפקיד מרכזי בתהליכי קבלת החלטות ופתרון בעיות, איתם אנו נדרשים להתמודד בחיי היום יום (Hogan, 2000).

הגישה המערכתית פתחה אופק חשיבה חדש בתחומי מדעי הרוח והחברה (Draper & Crutchley, 2014; Young & Harrison, 2004), מדעי הבריאות (De Savigny & Adam, 2009) ומדעי הטבע (Foote, 2007). מתוך הבנת החשיבות של הגישה המערכתית במדעי הטבע צמחה ההבנה שהקניית מיומנויות חשיבה מערכתית בבית הספר חיונית לטיפוח אוריינות מדעית (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005). גישה זו חלחלה גם להוראת הביולוגיה ואיתה ההבנה שפיתוח יכולות חשיבה מערכתית הוא המפתח ליצירת ידע ביולוגי מקושר וקוהרנטי (Verhoeff et al., 2008). צורת חשיבה מערכתית עשויה לתרום ליצירת ידע ביולוגי מקושר היות והיא מספקת מסגרת מושגית של עקרונות מטא-קוגניטיביים לניתוח מערכות, תוך הבחנה וקישור בין רמות הארגון השונות בביולוגיה (Verhoeff et al., 2008). המורכבות הרבה המאפיינת מערכות טבעיות, הכוללות רכיבים מרובים ברמות ארגון שונות (Hmelo-Silver et al., 2007) ודרך ההוראה המקובלת אשר שמה דגש על רכיבים ומבנה, אך עוסקת באופן בלתי מספק ביחסי הגומלין (Ben-Zvi Assaraf et al., 2013) וממעטת לקשר באופן מפורש בין רמות ארגון במערכת (Verhoeff et al., 2008) יוצרים קשיים רבים בדרך להבנה מעמיקה של תופעות המתקיימות בטבע.

לאור קשים אלו הוצעו שלוש מסגרות תיאורטיות לאפיון ופיתוח חשיבה מערכתית של תלמידים: (1) מודל קוגניטיבי לפיתוח היררכי של חשיבה מערכתית (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005), המציע שלבים היררכיים בפיתוח הדרגתי של מיומנויות חשיבה מערכתית. (2) תיאוריית Structure-Behavior-Function (Hmelo-Silver et al., 2007), המציעה לערוך הבחנה בין: מבנה, תפקיד ומנגנון המתקיימים במערכת, לצורך ניתוח של מערכת נתונה. (3) תיאוריה המציגה מרכיבי חשיבה מערכתית בביולוגיה בהקשר להוראת נושא התא החי (Verhoeff et al., 2008), ומחדדת את החשיבות של הבחנה בין רמות ארגון שונות במערכת ביולוגית וקישור ביניהן. כל אחת מהמסגרות התיאורטיות הללו מחדדת היבטים אחרים חשובים בפיתוח חשיבה מערכתית של תלמידים. בעבודה זו רצייתי לאחד בין כל ההיבטים לכדי מודל משולב אחד לאפיון חשיבה מערכתית בביולוגיה. מודל זה היווה בסיס לכתיבת חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם. יישום חומרי ההוראה-למידה החדשים בשטח העלה את הצורך לנתח את השפעתם על התפתחות החשיבה המערכתית של תלמידים ומורים.

פיתוח חשיבה מערכתית מלווה לרוב בשינוי תפיסתי. השקפת העולם המערכתית חלחלה גם לשיח על מנגנוני שינוי תפיסתי (Brown & Hammer, 2008; diSessa, 2008; Amin et al., 2015) וביססה את התובנה שלא ניתן להעריך שינוי תפיסתי תוך בחינת פירטי ידע נפרדים אלא דרך אפיון התמורות במארג יחסי הגומלין בין פרטי הידע במודל המנטאלי (Linn & Eylon, 2006). כחלק בלתי נפרד מהתהליכים הקוגניטיביים המעורבים בשינוי תפיסתי שזורים היבטים חברתיים (diSessa, 2008). לפיכך, להקשר החברתי בכיתה השפעה רבה על תהליכי התפתחות הידע והשינוי התפיסתי (Viiri & Saari, 2006). כלומר, תיאור של שינויים במודל המנטאלי הפנימי של הפרט מחייב התייחסות ליחסי הגומלין בין מערכת הייצוגים הפנימיים לבין מערכת הייצוגים החיצוניים ולמעשה לא ניתן להפריד ביניהם (Amin et al., 2015). לאור האמור, ניתן ואפיון של התפתחות החשיבה המערכתית בביולוגיה ברמה הקוגניטיבית, מצריך אפיון של ההקשר החברתי. במחקר הנוכחי, מכלל הגורמים החברתיים אשר עשויים להשפיע על התפתחות החשיבה המערכתית של התלמידים והמורים, בחרתי להתמקד ביחסי הגומלין בין המורים, חומרי הוראה-למידה והתלמידים. ליתר דיוק בחרתי לחקור את הקשרים בין: מאפייני החשיבה המערכתית של מורים, חומרי הוראה-למידה חדשים המשלבים דגם הוראה לפיתוח חשיבה מערכתית בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם והתמורות שחלו בחשיבה המערכתית של תלמידיהם. בנוסף בחרתי לאפיין את השיח הכיתתי היות והשיח משקף את תהליכי החשיבה של המורה ותלמידיו (Sfard, 2008), ומהווה את התווך בו מתקיימת הפעילות הקוגניטיבית ביניהם (Wilson, 1999), פעילות המושפעת ומשפיעה על הטמעת חומרי הוראה-למידה בכיתה (Remillard, 2005).

-מטרות ושאלות המחקר-

למחקר זה שלוש מטרות: המטרה המרכזית היא עיצוב מודל משולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה בחט"ב- חלק א' של המחקר. המודל המשולב מבוסס על שלוש מסגרות תיאורתיות לאפיון חשיבה מערכתית המובילות בספרות העוסקת בפיתוח חשיבה מערכתית (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Liu & Hmelo-Silver, 2007; Verhoeff et al., 2008). על בסיס המודל המשולב נכתב דגם הוראה לפיתוח חשיבה מערכתית אשר שולב בחומרי הוראה-למידה בנושא מערכות הובלה ביצורים חיים עבור תלמידי כיתות ז'.

פיתוח חומרי ההוראה-למידה הוביל למטרה השנייה והיא בחינת השפעת החומרים על התפתחות החשיבה המערכתית של תלמידים ומורים- חלק ב' של המחקר. המטרה השלישית היא תיאור חקר מקרה לצורך אפיון הכיתה כמערכת תוך התייחסות לשלושה רכיבים מרכזיים והקשר ביניהם: המורה, חומרי הוראה-למידה החדשים והתלמידים- חלק ג' של המחקר. על מנת לקבל תמונה המשקפת את מטרות המחקר נשאלו השאלות הבאות בהקשר של מערכת ההובלה בגוף האדם:

חלק א'- עיצוב מודל משולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה בחט"ב

(1) באיזה אופן מאפייני החשיבה המערכתית באים לידי ביטוי במבנה הידע של תלמידי כיתה ז'?

חלק ב'- בחינת השפעת חומרי למידה חדשים על החשיבה המערכתית של תלמידים ומורים

(2) כיצד תהליך למידה באמצעות חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית משפיע על מבנה הידע של התלמידים מנקודת מבט מערכתית?

(3) כיצד תהליך ההוראה, באמצעות חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית משפיע על מבנה הידע של המורים מנקודת מבט מערכתית?

חלק ג'- תיאור חקר מקרה

(4) כיצד מאפייני החשיבה המערכתית באים לידי ביטוי בשיח הכיתתי?

(5) האם קיימים קשרים בין מאפייני החשיבה המערכתית של המורים לתמורות שחלו בחשיבה המערכתית של תלמידיהם ומה טיבם של קשרים אלו?

-רקע תיאורטי-

1. הגישה הקונסטרוקטיביסטית להתפתחות הידע

התפתחות הידע, ברוח הגישה הקונסטרוקטיביסטית ללמידה והוראה, משמעותה הבניית ידע (mental construction) תוך קישור ידע חדש לידע הקודם של הלומד. כלומר, למידה מתהווה הודות לתהליך פעיל של מתן פרשנות אישית לחוויות ולמידע חדש על בסיס הידע הקיים במבנה המנטאלי של הלומד (Driver, Asoko, Leach, Mortimer, & Scott, 1994). בספרות העוסקת בהתפתחות הידע של לומדים ניתן למצוא הבחנה בין קונסטרוקטיביזם-קוגניטיבי לקונסטרוקטיביזם-חברתי, הנבדלים זה מזה בעיקר בתפקיד המיוחס ליחיד בהבניית הייצוגים המנטאליים הפנימיים שלו לעומת התפקיד המיוחס להיבטים החברתיים בהבניית הידע (ליברמן, 2013). המגמה הרווחת כיום היא לגשר בין חקר הייצוגים המנטאליים הפנימיים של הלומד (גישה קונסטרוקטיביסטית-קוגניטיבית) להיבטים החברתיים (גישה קונסטרוקטיביסטית-חברתית) ולהתייחס אל התפתחות הידע כפועל יוצא מיחסי הגומלין המתקיימים ביניהם (Amin, Smith, & Wisner, 2015). זאת מתוך ההנחה כי "מחקר בעל העוצמה הרבה ביותר הוא זה העומד על יותר מאשר רגל מטפורית אחת" (Sfard, 1998).

בפרק זה אציג בקצרה את שתי הגישות, אשר שרתו אותי בכל שלבי המחקר, החל מעיצוב המחקר ובחירת כלי המחקר וכלה בנייתוח הנתונים והדיון בממצאים.

1.1 קונסטרוקטיביזם-קוגניטיבי

לפי הגישה הקונסטרוקטיביסטית-קוגניטיבית, למידה היא תהליך הדרגתי של התפתחות מושגים, המערב ארגון מחדש של הידע על ידי הלומד. חוקרים קונסטרוקטיביסטיים-קוגניטיביים שואפים להציע מנגנונים המסבירים תהליכי למידה ויצירת משמעות "meaning making" (Bruner, 1990). לצורך כך, נעשה שימוש בייצוגים של ידע (representations of knowledge) באמצעות מבנים קוגניטיביים (cognitive structures) (Palincsar, 1998). אחד האתגרים בדרך ליצירת מבנים קוגניטיביים חדשים הוא בניית ידע מקושר וקוהרנטי (integrated knowledge) באמצעות מיזוג וחיבור בין יחידות ידע תוך זיהוי הקשרים ביניהן. ידע מקוטע (fragmented knowledge) נוצר כאשר הלומד מתקשה לקשר בין פרטי הידע ולזהות את ההשפעה ההדדית הקיימת ביניהם (אלון, אלדר, ברגר, בגנו, & רונן, 2013).

הגישה הקונסטרוקטיביסטית-קוגניטיבית מתבססת על עבודתו של פיאז'ה (Piaget, 1929) בתחום הפסיכולוגיה ההתפתחותית, הפורסת את תיאוריית ההתפתחות הקוגניטיבית ומתארת את שלבי התפתחות הידע בקרב ילדים. לפי התיאוריה של פיאז'ה, התפתחות הידע נעשית באמצעות שני תהליכים (functional invariants): הטמעה (assimilation) והתאמה (accommodation). הידע של הלומדים מאורגן במודלים מנטאליים (mental models) המתעצבים הודות לתפקודים הקוגניטיביים שלו. מודלים אלו הם ייצוגים דינמיים הניתנים למניפולציות (Vosniadou, 1994). הידע נבנה באופן פעיל, בתהליך פנימי המתרחש אצל הלומד אשר מפרש גירויים סביבתיים, מפנים ובוחן אותם לאור הידע הקודם שלו ומתאים אותם למערכת החשיבה שלו (אלון וחוב', 2013).

מחקרים שבאו בעקבות הרעיונות של פיאז'ה הראו כי לידע הקודם מקום מרכזי בתהליך הלמידה. Ausubel (1968) הראה כי הלומד אינו "לוח חלק" בתחילת תהליך הלמידה, כלומר הלומד הוא בעל מערכת מושגים המבוססת על ניסיון חייו. לטענתו יצירה של מבנים קוגניטיביים חדשים עשויה להתרחש נוכח סתירה בין הידע הקודם לידע החדש וחוסר שיווי משקל בין הטמעה להתאמה (Ausubel, 1968).

תיאוריית הלמידה של Ausubel (1968) מסווגת את הלמידה לשתי קבוצות: למידת שינון (rote learning) ולמידה משמעותית (meaningful learning). למידת שינון היא לרוב למידה של רעיונות בודדים, מנותקים אלו מאלו. בעוד שלמידה משמעותית היא לרוב למידה של רעיונות חדשים תוך התייחסות וקישור לידע הקודם של הלומד. למידה משמעותית באה לידי ביטוי בהתפתחות המבנים הקוגניטיביים במוחו של הלומד (Ausubel, 1963). למעשה, למידה משמעותית מתהווה בתהליך של ארגון ושילוב ידע (knowledge integration) במאגר הרעיונות האישי, תוך יצירת קישורים בין פרטי הידע בדרך של מיון, הערכה, הוספה ובנייה מחודשת של רעיונות (Linn & Eylon, 2006). בתהליך זה התלמידים יוצרים מארג אישי של רעיונות, בו משתלבים פרטי הידע החדשים והקיימים. מערכות קוגניטיביות הן מערכות מורכבות הכוללות פרטי ידע רבים ויחסי גומלין סבוכים ביניהם. התפתחות של הידע (knowledge in transition) הוא תהליך רציף של שינוי במבנים הקוגניטיביים של הלומד (Linn & Eylon, 2006).

תרומה רבה למחקר אודות אסטרטגיות הוראה ולמידה משמעותית תרמו מחקרים העוסקים במבני ידע השונים מהמקובל במדע, אשר כונו בפי חוקרי הקוגניציה "תפיסות שגויות" (misconceptions). עם התפתחות המחקר בתחום זה תחת המונח "תפיסות שגויות" צמחו מונחים חדשים: "תפיסות חלופיות" alternative (frameworks) ו"תפיסות נאיביות" (naive beliefs). כל אחד מהשמות מהווה מטאפורה המתארת את טיבן של התפיסות הללו בעיני החוקרים ומצביע על שינוי בנקודת מבטם על התופעה. החוקרים Lawson & Thompson (1988) הגדירו תפיסות חלופיות כידע הנגזר מחוויות אישיות של הלומד עם סביבתו הטבעית ואינו תואם את התיאוריות המדעיות המקובלות. הדיון על התפתחות התפיסות החלופיות ושינוי בתפיסות של הלומד נוגע במהות הגישה הקונסטרוקטיביסטית-קוגניטיבית להוראה ולמידה (Smith et al., 1993). הלוא בהתאם לגישה זו ידע חדש נבנה תוך פרשנות אישית של הלומד ביחס לתופעות, מצבים ואירועים לאור הידע הקיים (Hershkowitz, 1987; Nussbaum, 1985).

Chi (2008) מתארת שלושה מצבים של ידע קודם, לאורם יכולה להתרחש למידה: (1) הלומד חסר ידע קודם רלוונטי לנושא הנלמד (missing knowledge); (2) הלומד בעל ידע קודם מצומצם או לא שלם (incomplete knowledge); (3) הלומד בעל ידע קודם אשר מצוי בסתירה (conflict) עם הידע החדש. בשני המקרים הראשונים, רכישת הידע (knowledge acquisition) היא מסוג "העשרה" (enriching), במקרה הראשון הלומד מוסיף ידע חדש (adding knowledge) למבנה הידע הקיים ובמקרה השני הלומד משלים (gap filling) את הידע החסר, ואילו במקרה האחרון רכישת הידע היא למידה אשר משנה את מבנה הידע הקיים ומביאה לשינוי תפיסתי (conceptual change).

החוקרים Smith, diSessa, & Roschelle (1993) הציעו פרספקטיבה תיאורטית לתיאור מבנה הידע וחקר תהליכי השינוי התפיסתי. פרספקטיבה זו מכונה "פיסות ידע" (knowledge in pieces) ומתמקדת

באפיון יחסי הגומלין בין אותן פיסות הידע או פרטי הידע להן קראו "phenomenological primitives" (p-prims). לטענת החוקרים, יחסי הגומלין בין פיסות הידע יכולים להשתנות במקביל ובכיוונים שונים כתוצאה מתהליכי למידה והם אלו שעשויים להוביל לשינוי תפיסתי. בבסיס השקפה זו עומדת הגישה הקונסטרוקטיביסטית-קוגניטיבית, אך בניגוד לגישה הקלאסית הרואה בתפיסות החלופיות מודלים מנטאליים הפוגעים בתהליך הלמידה של מושגים חדשים ומציעה לערער אותן באמצעות קונפליקט קוגניטיבי (Vosniadou, 1994), החוקרים Smith וחוב' (1993) הסתייגו בכל תוקף מההתייחסות אל התפיסות המוקדמות של התלמידים כמודלים שיש לשנותם או להחליפם. כלומר הם יצאו מנקודת הנחה כי תהליך הלמידה מערב פירושים שהלומד נותן לתופעות, מצבים ואירועים מבעד לפרספקטיבה סובייקטיבית המבוססת על הידע הקיים, אולם הציעו להתייחס לידע הקיים כאל מערכת (knowledge system perspective) של פרטי ידע נכונים במהותם, המאורגנים במארג סבוך של קשרים. הקשרים ויחסי הגומלין בין פיסות הידע הם המעצבים את תפיסתו של הלומד. יחסי גומלין אלו בעלי טבע דינאמי והתמורות בהם, כתוצאה מתהליך למידה, הן שעשויות להוביל לשינוי תפיסתי. מכאן שלאפיון טיבו של מבנה הידע הקודם, בדגש על יחסי הגומלין בין פרטי הידע חשיבות גדולה בתכנון תהליכי ההוראה והלמידה (Smith et al., 1993). במאמר מאוחר יותר diSessa (2008) תיאר את המודל המנטאלי כמערכת מורכבת (complex knowledge systems) מתהווה (emergence system). הוא הציע כי פעילות המערכת היא למעשה תהליך החשיבה "thinking" או תהליך השימוש במושגים "concept use", מאפייני פעילות זו שונים בתכלית ממאפייני המערכת השלמה וכן ממאפייני פיסות הידע (diSessa, 2008). תיאור זה בא לתת מענה לאחת המחלוקות העקרוניות בשדה המחקר הקוגניטיבי בהקשר לאפיון הידע הקודם כמודל מנטלי המורכב מאוסף פרטי ידע מקוטע (Smith et al., 1993) מול אפיון הידע הקודם כמודל מנטלי הבנוי כמארג קוהרנטי (Vosniadou, 2002). לטענתו של diSessa (2008) בהתאם לעקרונות המגדירים מערכת מסוג emergence (ראו העמקה בעמודים 23-24, בפרק הדן על חשיבה מערכתית) לנקודת המבט או כפי שהוא מכנה זאת "grain size" השפעה מכרעת על אפיון מודלים אלו. כלומר יש לייחס למודלים המנטאליים מאפיינים דואליים של ידע מקוטעים וקוהרנטיים בו בזמן.

diSessa (2008) מדמה את הדואליות של המבנה הקוגניטיבי ללהקת ציפורים אשר במעופה יוצרת מראה המרמז על מנהיג המוביל את כל הלהקה, אך למעשה החוקיות המנחה כל אחת מהציפורים בלהקה אינה התחקות מאורגנת אחר מנהיג אחד אלא חוקיות פשוטה בהרבה, למשל הצמדות מאחורי ולצד ציפור אחרת בזווית מסוימת. כלומר מאפייני המבנה של הלהקה מתהווים הודות לחזרה על חוקיות פשוטה, בעלת מאפיינים שונים, ושילוב בין מספר כוחות סיבתיים, בעלי מאפיינים שונים אף הם. לטענתו, המערכות המייצגות את המודלים המנטליים של הפרט יכולות לתפקד באופן שונה בהקשרים זהים או באופן זהה בהקשרים שונים (diSessa, 2008). מכאן יש יסוד להניח ששימוש באותן פיסות ידע יכול להיות שונה בהקשרים שונים, לכן המפתח לשינוי במבנה הידע של הלומד טמון בעידון וארגון פרטי הידע במארג חדש של יחסי גומלין, בדגש על שימוש בפרטי הידע הקיימים בהקשרים הנכונים, ולא על שינוי פרטי הידע עצמם (diSessa, 2008). הגישה המערכתית (systemic perspective) לאפיון מבנה הידע ושינוי תפיסתי תפסה מקום מרכזי בחקר הוראת

המדעים בעשור האחרון (Brown & Hammer, 2008; diSessa, 2008; Amin et al., 2015). יד ביד עם ההבנה כי לא ניתן להעריך שינוי תפיסתי באמצעות בחינת פרטי ידע נפרדים אלא דרך אפיון התמורות במארג יחסי הגומלין בין פרטי הידע (Linn & Eylon, 2006).

1.2 קונסטרוקטיביזם-חברתי

זרם הקונסטרוקטיביזם החברתי החל לצמוח לאור הביקורת על מרכזיות הלומד העצמאי בחקר תהליכי התפתחות הידע, ללא התייחסות ראויה להשפעות החברה. חוקרים השייכים לזרם זה רואים בלמידה תהליך חברתי בעיקרו המהווה חלק בלתי נפרד בהתפתחות המושגית של הקהילה (Palincsar, 1998). לפי גישת הקונסטרוקטיביזם החברתי, ידע מתפתח כתוצאה מיחסי הגומלין בין הפרט לקהילה (milieu), בעקבות האינטראקציה ביניהם חל שינוי בידע של הפרט ושל הקהילה (Airasian & Walsh, 1997). הקונסטרוקטיביזם החברתי מיחס חשיבות מרכזית ל"מיצוב" (situatedness) הסוציו-תרבותי של הלמידה, כלומר שם דגש להקשר החברתי בו מתרחשת הלמידה (ליברמן, 2013). שורשי גישה זו נטועים ברעיונותיו של הפסיכולוג והמחנך לב ויגוצקי (Vygotsky, 1978) אשר סבר שהסביבה החברתית והתרבותית של הפרט היא חלק אינטגרלי מהתפתחות הקוגניטיבית שלו ולא ישות המשפיעה עליו מבחוץ. במילים אחרות, יכולתו הקוגניטיבית של הלומד היא תוצר התפתחותי של יחסי גומלין בינו לבין המורה (ליברמן, 2013). השפעתה של הגישה הקונסטרוקטיביסטית-חברתית במחקר בהוראת המדעים, ניכרת בעשרים השנה האחרונות, ובאה לידי ביטוי בהסטה של הפוקוס מחקר הידע וההבנה של התלמיד הבודד למחקר העוסק בתהליכי התפתחות הידע וההבנה בהקשר החברתי בכיתת לומדים בדגש על הקשר בין המורה לתלמידיו (Viiri & Saari, 2006). מכאן טבעי שהיחסים שבין שפה, מחשבה והתפתחות הידע, אשר עניינו את ויגוצקי (1978), תופסים היום מקום מרכזי בספרות העוסקת בהוראת המדעים (Kelly, 2014). העיסוק ביחסים אלו נטוע בהנחת היסוד כי השפה, במובן הרחב שלה, היא מערכת המספקת משאבים ליצירת משמעות (Lemke, 1990) וכן בתפיסה כי השפה בתודעה של הפרט שוכנת על הגבול בין עצמו לאחרים (Anderson, 1997; Holland, & Palincsar, 1997). בשפה, בניגוד לאוצר מילים, כל מושג הופך להיות בעל משמעות רק במונחים של קשרים עם מושגים אחרים. כלומר, הקשרים הסמנטיים בין המושגים הם המפתח להבנת משמעותם בשיח המדעי (Lemke, 1990). השאלה מהם סוגי הקשרים הקיימים בין המושגים או "איך שזור המושג הבודד, אותו תא שהפרדנו מתוך מרקם חי ושלם, במערכת המושגים של הילד?" נשאלה כבר בידי ויגוצקי (הרפז ולוריא, 2003). ויגוצקי טען כי פעולות החשיבה מבוססות על הקשרים בין המושגים, היוצרים מערכות בתודעתו של הילד. בבסיס חקר מערכות המושגים של ילד, לשיטתו, עומדים יחסי היררכיה בין המושגים או "כלליות", כלומר ההתייחסות לכל מושג כאל הכללה של מערכת מושגים אחרים. בהקשר זה ויגוצקי הבחין בין ציר אנכי לציר אופקי וטען כי התנועה על הציר האופקי בין מושגים (למשל: חולצה, כובע, מעיל, נעליים) הוא הבסיס לתנועה על הציר האנכי בין מושגים (למשל: חולצה, פריט לבוש). כלומר, כל שלב חדש בהתפתחות ההכללה תלוי בהכללות שנמצאו בשלבים קודמים (הרפז ולוריא, 2003).

ויגוצקי הוסיף כי בתהליכי הוראה של מושגים מדעיים בבית הספר על פי רוב מתקיים מעבר הפוך מהכללות לפרטים. מכאן שהמפגש בין מערכת המושגים של התלמיד, המבוססת על חיי היום יום, למערכת המושגים המדעיים, הנלמדים בבית הספר, הוא מהות תהליך הלמידה (הרפז ולוריא, 2003). למעשה, השיח הכיתתי הוא המדיום בו מתרחשת פעילות קוגניטיבית בין המורה לתלמידיו ומכאן שהשתתפות בשיח מקדמת התפתחות מושגית (Wilson, 1999). מבנה השיח והשפה, מנחים את משתתפיו ולפיכך משפיעים על החשיבה שלהם (Mercer, 1995). לאור רעיונות אלו, השפה המעצבת את השיח בין המורה לתלמידיו, תפסה מקום של מתווך בעל חשיבות מרכזית וכלי להתפתחות הקוגניטיבית (Palincsar, 1998). ההתייחסות לשפה כמשאב ליצירת משמעות (Lemke, 1990) ביססה את נקודת המבט אשר רואה בשיח (discourse) המתהווה בכיתה שיקוף של תהליכי החשיבה של המורה ותלמידיו (Sfard, 2008). לשם תיאור תהליכי החשיבה בשיח הכיתתי, טבעה Sfard (2008) מונח חדש "קומוגניציה" (Commognition), מונח המאחד בין שתי מילים: "חשיבה" (Cognition) ו"תקשורת" (Communication), ובכך חיזקה את הטענה שלא ניתן להפריד בין השניים. השקפת העולם ה'קומוגניטיבית' גורסת שהתקשורת המתקיימת בכיתה ותהליכי החשיבה של התלמידים והמורים הם שני היבטים של אותה התופעה (Sfard, 2008). באופן טבעי, השיח הכיתתי הפך לכר פורה עבור מחקרים העוסקים בבחינת השפה והתפתחותה בתהליכי למידה בכיתה במטרה לאפיין אותו ולשפר את האפקטיביות שלו (Kelly, 2014). חלק מהמחקרים דנים בדפוסים ובהזדמנויות למידה בשיח המתרחש באופן טבעי בכיתה ואחרים בוחנים באופן שיטתי את ההשפעה של מניפולציות שונות בתכונות השיח והשפעתן על הלמידה (Palincsar, 1998).

1.2.1 מקום המורה וספרי הלימוד בשיח הכיתתי

במידה רבה הבסיס לניתוח השיח בין המורה לתלמידיו הונח בידי Lemke (1990) בספרו "Talking Science" (Lemke, 1990). Lemke (1990) הציע שתי נקודות מבט על השיח הכיתתי: הראשונה מתמקדת במבנה הפעילות (activity structure) המתעצב הודות לאינטראקציות החברתיות בכיתה, והשנייה בדפוס התוכן (thematic pattern) כלומר, הקשרים הסמנטיים בין המושגים כפי שהם נבנים בשיעור. שני המרכיבים מתקיימים זה לצד בשיח הכיתתי, יחסי הגומלין והמתח ביניהם דורשים מהמורה להפעיל שיקול דעת ומכתיבים את בחירותיו (Lemke, 1990).

באותו הספר, Lemke (1990) מניח את הבסיס התיאורטי לאסטרטגית דו-שיח המעוגנת בסדרת שאלות של המורה סביב נושא תוכני מסוים. סדרת השאלות מאורגנת בתבנית קבועה המורכבת משלושה מהלכים "Triadic dialog" (Lemke, 1990): שאלה אותה מפנה המורה אל הכיתה, מענה של התלמידים לשאלת המורה ומשוב המורה על התשובה. מבנה זה רווח בספרות העוסקת בניתוח שיח כיתתי כדפוס שיח-IRF או IRE. Initiation - התחלה, על פי רוב זו שאלה של המורה המופנית אל תלמידי הכיתה, Response - מענה של התלמידים לשאלה, Feedback/Evaluation - משוב או הערכה של המורה (Wells, 1993; Scott, 2006) (Mortimer, & Aguiar, 2006)

Lemke (1990) הצביע על כך שמבנה שיח מסוג זה יעיל ליצירת הקשרים בעלי משמעות בין מושגים במדע, כל עוד התלמידים נותנים מענה רלוונטי. מחקרים רבים מצביעים על המקום המרכזי של שיח במבנה IRE/IRF בכיתות ועל תפקידו המשמעותי של המורה בהכוונת השיח מבחינת התוכן והרמה (Viiri & Saari, 2006). כמו כן, מראים כי למורה תפקיד מכריע ביצירת הזדמנויות עבור התלמידים ללמוד באמצעות מענה לשאלות, הקשבה ושימוש במושגים בקונטקסט מדעי רלוונטי, תוך יצירת מעורבות (engage) בלמידה (Kelly, 2014). כך למשל, Nassaji & Wells (2000) תיארו את תפקידו השונים של דפוס IRF בהוראה ולמידה ואף הציעו הרחבה של דפוס זה תוך אפיון סוגי משוב (Feedback) שונים המקדמים ומעמיקים את הדיון בכיתה (Nassaji & Wells, 2000). Chin (2007) אפיינה סוגי שאלות טיפוסיים, אותן נוהגים לשאול המורים על מנת לספק פיגומים לצורך למידה משמעותית, תוך יצירת הקשרים בין מושגים ורעיונות שונים לכאורה. מחקרו של Wilson (1999) אשר עסק באפיון שיח כיתתי המונחה על ידי מורים שונים לכימיה, הראה שעל אף השוני במהלך השיעורים ודרכי ההוראה, המורים בכיתות השונות היוו את המרכיב הדומיננטי בשיח ואילו התלמידים נטו לתת תשובות קצרות המורכבות ממילים בודדות (Wilson, 1999). ממצאי המחקר התייחסו גם למקומם של ספרי הלימוד בשיח הכיתתי והצביעו על כך שהשימוש בספר הלימוד היה מצומצם ביותר. על פי רוב, המורים בחרו להשתמש בספרי הלימוד לצורך מתן שיעורי בית (Wilson, 1999). ככלל, בספרות העוסקת בתפקידם של חומרי הוראה ולמידה בכיתה מקובל להתייחס אל ספרי הלימוד כאל חוליה המגשרת בין תכנית הלימודים לנעשה בכיתה (Wilson, 1999).

מחקרים העוסקים ביישום של חומרי הוראה ולמידה בכיתות רואים במורה (אמונותיו, תפיסת עולמו והידע שלו) גורם בעל ההשפעה המכרעת בתהליך הטמעת החומרים (Remillard, 2005). כך למשל, אייזנמן (2008) הראתה במחקרה שספרי לימוד זהים מיושמים באופן שונה בכיתות שונות. השוני בא לידי ביטוי בתכנים, דגשים, דרישות קוגניטיביות ודרכי הוראה.

כפי שנאמר בתחילת הפרק, כיום ניתן לראות זליגה של ההיבטים החברתיים אל השיח הקוגניטיבי, זאת כחלק מהמגמה לגשר בין נקודת המבט של הקונסטרוקטיביזם החברתי לנקודת המבט של הקונסטרוקטיביזם הקוגניטיבי (Amin et al., 2015). ברוח זו ניכר כי ההיבטים החברתיים שזורים כחלק בלתי נפרד בגישה המערכתית למבנה הידע ומנגנוני שינוי תפיסתי (diSessa, 2008), גישה אשר צמחה מתוך הנרטיב הקוגניטיבי (כפי שתוארה בעמודים 16-19). במילים אחרות, מחקרים מהשנים האחרונות מלמדים כי ההבנה של המערכת המורכבת של ייצוגים מנטאליים פנימיים של הפרט (internal mental representations), מחייבת הבנה של יחסי הגומלין בין מערכת הייצוגים הפנימיים למערכת הייצוגים החיצוניים (external representations) עליהם נשען השיח הכיתתי (בהתאם לגישה החברתית) ולמעשה אין זה נכון להפריד בין השניים (Amin et al., 2015).

בפרק זה ערכתי סקירה קצרה של שתי נקודות מבט מרכזיות על מבנה הידע והתפתחות הידע, בפרק הבא אעמיק את הדיון על חשיבה מערכתית ואתמקד בשילוב הגישה המערכתית כאסטרטגיה מטא-קוגניטיבית בהוראה ובלמידה.

2. הגישה המערכתית בהוראה ולמידה

גישה המערכתית למבנה הידע ושינוי תפיסתי (Amin et al., 2015, Brown & Hammer, 2008, diSessa, 2008) היא חלק מתפיסת עולם מערכתית רחבה התופסת תאוצה בתחומי דעת שונים, בפסיכולוגיה (Draper & Crutchley, 2014), פיסיקה (Foote, 2007), כלכלה (Probst & Bassi, 2014), בלשנות (Young & Harrison, 2004) ועוד. תפיסת עולם זו נשענת על כך שהשינויים התכופים בכל תחומי החיים, המאפיינים תרבות בת זמננו הם פועל יוצא של מערכות מורכבות המשפיעות עלינו כפרטים וכחברה (Probst & Bassi, 2014). חשיבה מערכתית היא כלי חשוב להבנת מערכות אלו ובעלת תפקיד מרכזי בתהליכי קבלת החלטות ופתרון בעיות איתם אנו נדרשים להתמודד בחיי היום יום (Hogan, 2000). באופן טבעי, תופעות בעלות מאפיינים מערכתיים מהוות מרכיב מרכזי גם בתחום הוראת המדעים מתוך ההבנה כי הקניית מיומנויות חשיבה מערכתית חיונית לטיפוח אוריינות מדעית (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005). הפרספקטיבה המערכתית בהוראה ולמידה של מדע מאפשרת לנתח את התופעות הנלמדות מנקודת מבט מטא-קוגניטיבית תוך דגש על המכלול, על כל מרכיביו, קשריו ויחסי הגומלין ביניהם (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Hmelo, Holton, & Kolodner, 2000; Sweeney & Sterman, 2003; Verhoeff, 2007). על רקע זה צמחו מחקרים העוסקים באפיון חשיבה מערכתית (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Ben-Zvi-Assaraf & Orion, 2010; Chi, 2005; Orion & Libarkin, 2007; Sweeney & Sterman, 2015), בעיצוב ובבחינה של חומרי למידה והוראה ואסטרטגיות הוראה לפיתוח חשיבה מערכתית (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Jacobson & Wilensky, 2006; Hmelo-Silver, Liu, Gray, & Jordan, 2015; Orion & Libarkin, 2015; Liu & Hmelo-Silver, 2008; Verhoeff, Waarlo, & Boersma, 2009), בהערכה של חשיבה מערכתית (Sternan, 2007; Orion & Libarkin, 2015) וכן, בניית תהליכי הוראה ולמידה בכיתה מנקודת מבט מערכתית (Yoon, 2008).

2.1 מהי מערכת?

מערכת לפי Penner (2000) היא אוסף של פריטים ו/או תהליכים. בכדי להבין מערכת נתונה יש צורך להכיר את הרכיבים והתהליכים המתקיימים בה. Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005) הציעו הגדרה מורחבת יותר של מערכת: "ישות המתקיימת ופועלת כמכלול, הודות ליחסי גומלין בין רכיביה, קבוצת הרכיבים משפיעים, קשורים או תלויים אלו באלו, בונים יחד יחידה תפקודית בעלת תכלית מסוימת. על מנת לבצע את המטרה באופן אופטימאלי, על כל רכיבי המערכת לפעול בתיאום. תיאום בין רכיבי המערכת מתקבל הודות למנגנוני משוב". (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005). הגדרה זו מחדדת את החשיבות של יחסי גומלין ותיאום בין רכיבי המערכת לצורך ביצוע תפקיד משותף. לעתים קרובות, מאפייני המערכת השלמה אינם זהים למאפיינים של רכיבים בודדים במערכת (Penner, 2000). מכאן שבכדי להבין לעומק מערכת נתונה לא ניתן להסתפק בהבנה של רכיבים בודדים והקשר ביניהם אלא יש להתייחס למארג של יחסי הגומלין בין כל רכיבי המערכת (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Chi, 2005; Wilensky & Resnick, 1999).

מערכות מורכבות (complex system) הן מערכות המאופיינות ברכיבים מרובים, יחסי גומלין מורכבים ותהליכים דינאמיים חבויים ברמות ארגון שונות (Hmelo-Silver, Marathe, & Liu, 2007; Chi, 2005; Wilensky & Resnick, 1999). במערכות מורכבות אינטראקציות בין הרכיבים ברמת ארגון אחת תורמות לתהליכים המתרחשים ברמות הארגון הגבוהות יותר (Verhoeff, 2003). הודות לטבע המורכב של מערכות אלו, ניתן להסיק מסקנות באשר למאפייני המערכת כולה תוך בחינת יחסי הגומלין בין רכיבי המערכת הרבים ברמות הארגון השונות ולא ניתן להבינה על סמך התבוננות ברכיבים בודדים בלבד (Hmelo-Silver & Azevedo, 2006). לדוגמא, על מנת להבין את המאפיינים האנטומיים והפיזיולוגיים של גוף האדם כמערכת, יש צורך בבחינה מעמיקה של רכיבי המערכת (שכל אחד מהם מהווה מערכת בפני עצמה), של יחסי הגומלין בין רכיבי המערכת, וכן של הסינתזה בין מכלול הרכיבים ויחסי הגומלין ביניהם (Hmelo-Silver & Azevedo, 2006).

Chi (2005) הציעה להבחין בין מערכות או תהליכים מתהווים (emergence) למערכות או תהליכים ישירים (direct). בשונה ממערכת פשוטה המאופיינת בתהליכים ישירים (direct), בה ניתן לזהות קשרים פשוטים של סיבה ותוצאה, מאפייני המערכת המתהווה (emergence) המורכבת הם פועל יוצא של אינטראקציות מורכבות בין רכיבי המערכת ושל תהליכים מרובים הפועלים בכיוונויות משתנה (Chi, 2005). קיימות מערכות מורכבות המשלבות בין תהליכים מתהווים לתהליכים ישירים (Chi, 2005). במערכות בהן מתקיימים תהליכים מתהווים הדגש הוא על הפער בין דפוסי פעולה או בחוקיות העומדת בבסיס התהליכים המתהווים ברמות הארגון השונות של המערכת (Jacobson & Wilensky, 2006). מכאן שבמערכת בה מתקיימים תהליכים מתהווים לא ניתן להסיק באופן אינטואיטיבי על תפקוד המערכת כולה או על תוצרי המערכת מתוך התבוננות בתפקוד של רכיבי המערכת, היות ותפקוד המערכת הוא תולדה, לא ליניארית, של אינטראקציות מורכבות בין רכיבי המערכת (Chi, 2005). הנטייה הטבעית של התלמידים להניח קיום של תופעות ישירות בכל מערכת נלמדת (גם אם למעשה מדובר על מערכת מתהווה) מביאה להיווצרות תפיסות נאיביות וקשיים להבין לעומק את טבע המערכת (Chi, 2005).

Penner (2000) מדמה מערכת בה מתקיימים תהליכים מסוג emergence ל-"גל אנושי" אותו נוהגים לעשות אוהדי ספורט. המראה הכללי של הגל נוצר כתוצאה מכך שכל אחד מהמשתתפים קם ומתיישב בתזמון מדויק, כאשר מספר רב של אנשים עושים את הפעולה הפשוטה בתזמון הנכון נוצר הגל. תיאור זה מחדד מספר היבטים חשובים: (א) במערכת הנתונה לא קיים מנגנון סיבתי בודד ליצירת הגל, היות ואין מנהל אחד אשר מתאם בין האנשים השונים השותפים ביצירת הגל. כלומר, כוחות סיבתיים שונים יכולים להשפיע על תפקוד המערכת. (ב) לנקודת המבט השפעה על התפיסה הסובייקטיבית של התופעה. אילו נתמקד באדם הבודד ("רמת מיקרו"), נבחין בתנועה מעלה מטה - אדם קם ומתיישב במקומו, ואילו נתמקד בקבוצה כולה ("רמת המאקרו") נוכל להבחין בתנועת גל. כלומר, קיימת חשיבות רבה להבחנה בין רכיבים ותהליכים ברמת המיקרו לבין רמת המאקרו. (ג) חזרה אחר חוקיות פשוטה אינה מבטיחה הצלחה של התהליך כולו. מלבד החזרה על החוקיות המקובלת ביצירת גל (יש לקום ולהתיישב בתזמון הנכון). גורמים נוספים משפיעים על הצלחת התופעה, למשל מספר המשתתפים, תזמון ושיתוף פעולה בין משתתפי הגל.

על כן, משתתפים בודדים יכולים להשפיע על הצלחה או חוסר הצלחה של הגל. כלומר, שינויים קטנים ככל שיהיו ברמת המיקרו עשויים להשפיע באופן משמעותי על המערכת כולה. לסיכום, בבואנו לנתח כל מערכת בה מתקיימים תהליכים מתהווים יש להתייחס לשלושה מאפיינים מרכזיים: (א) בבסיס המערכת עשויים לפעול כוחות סיבתיים שונים, (ב) במערכת קיימים רכיבים ותהליכים ברמות ארגון שונות, (ג) כל שינוי ברמת המיקרו עשוי להשפיע ברמת המאקרו (Resnick, 1994). ניתן להשליך היבטים אלו על כל תופעה מערכתית הנלמדת בכיתה. בנוסף, גם הכיתה עצמה, על כל רכיביה, מהווה למעשה מערכת מורכבת בפני עצמה. תהליכי הלמידה וההוראה בכיתה מושפעים מאין ספור גורמים פסיכולוגיים ופיסיים וכן מיחסי הגומלין ביניהם. היות וכל כיתה שונה זו מזו הן מבחינת מרכיביה והן מבחינת מארג יחסי הגומלין המתקיימים בה, תהליכי ההוראה והלמידה בכל כיתה עשויים להתהוות באופן שונה. מכאן שכל תהליך הכרוך בקבלת החלטות בנוגע להוראה ולמידה בכיתה מוכרח להתייחס לטבע המערכת של (Yoon, 2008).

2.2 מהי חשיבה מערכתית?

חשיבה מערכתית היא מסגרת מושגית של ידע, עקרונות וכלים, המאפשרים לנתח קשרים הדדיים ויחסי גומלין לצורך זיהוי דפוסים משתנים ותופעות מחזוריות (Senge, 1990). ניתוח והבנה של מערכת נתונה מצריכים פיתוח מיומנויות חשיבה מסדר גבוה ויכולות קוגניטיביות גבוהות. בין היתר נדרשת חשיבה ברמות ארגון שונות, זיהוי סיבתיות שאינה בהכרח ליניארית, הבנה כיצד התנהגות המערכת מתהווה מתוך אינטראקציות בין רכיבי המערכת לאורך זמן, יכולת להכליל, לזהות דפוסים ומנגנוני משוב (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005).

במסמך המועצה הלאומית למחקר בארה"ב (National Research Council, 2012), שמטרתו לגבש עקרונות וסטנדרטים בהוראת המדעים לצורך התאמת מערכת החינוך למאה ה-21, הושם דגש על צמצום תכני הלימוד וארגון מחדש של תוכנית הלימודים סביב מספר מצומצם של: (1) פרקטיקות במדע והנדסה (scientific and engineering practices), (2) רעיונות חוצי תחום תוכן (crosscutting concepts), ו- (3) רעיונות מרכזיים (core ideas) בכל אחד מתחומי התוכן. מסמך זה מדגיש את הצורך בפיתוח חשיבה מערכתית בקרב התלמידים בשלבי הלמידה השונים ומציב את הנושא "מערכות ומודלים של מערכות" (systems and system models) ברשימת רעיונות חוצי התוכן, וממליץ לעסוק ברעיון זה באופן מקושר החל מגן הילדים ועד כיתה יב'.

החשיבות בהגדרת מערכת לצורך מחקר ולמידה, כפי שמתואר במסמך היא:

"העולם הטבעי (natural) והמעוצב (designed) הוא מורכב, גדול ומסובך מכדי שנוכל לחקור ולתפוס אותו בשלמותו. מדענים ולומדים נוטים לתחם חלקים קטנים מהשלם על מנת למקד ולפשט את מושא המחקר. ניתן להתייחס גם אל יחידת המחקר המצומצמת כאל מערכת. מערכת היא קבוצה מאורגנת של פריטים או רכיבים הקשורים אלו באלו, ומרכיבים את השלם... לצורך כך, מדענים ומהנדסים מגדירים גבולות מלאכותיים בין המערכת הנחקרת לבין סביבתה...ניתן להתייחס למערכת ההובלה כמערכת בפני עצמה או כתת מערכת בגוף האדם;

ניתן ללמוד על מולקולה כעל תצורה יציבה של מספר אטומים או כתת מערכת של התא החי".

(National Research Council, 2012) עמודים 91-92

ההמלצה המופיעה במסמך זה היא לחשוף את התלמידים לדרך החשיבה המערכתית החל מהכיתות הנמוכות ביותר.

"על התלמידים לתאר אובייקטים ואורגניזמים במונחים של רכיבים ותפקודם במכלול תפקוד

המערכת, תוך דגש על הקשר ההדדי בין הרכיבים". (National Research Council, 2012)

עמוד 92

אחת הדרכים ללמוד על התפתחות חשיבה מערכתית היא באמצעות השוואה בין מאפייני החשיבה המערכתית של טירונים (novice) לאלו של מומחים (experts). Hmelo-Silver (2007) וחוב' (2007) הראו כי מומחים שמים דגש מרכזי על תהליכים במערכת בעוד שטירונים נוטים להתמקד במבנים המרכיבים את המערכת (Hmelo-Silver et al., 2007). Jacobson (2001) ו- Wilensky & Resnick (1999) מצאו כי טירונים נוטים לראות במערכת נתונה סיבתיות פשוטה ובקרה מרכזית (central control) ואילו מומחים רואים סיבתיות מורכבת, ומציגים דרך חשיבה מבוזרת (decentralized thinking) (Wilensky & Resnick, 1991; Jacobson, 2001).

2.3 כיצד מתפתחת חשיבה מערכתית?

פיתוח חשיבה מערכתית הוא תנאי הכרחי להבנה משמעותית של תופעות בעלות מאפיינים מערכתיים בכל תחומי המדע. מכאן ניכר כי פיתוח צורת חשיבה זו בקרב תלמידים בגילאים השונים, בעל חשיבות רבה (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Jacobson & Wilensky, 2006). מחקרים בהוראת המדעים מצביעים על כך שתלמידים בגילאים שונים, החל מבית ספר יסודי וכלה בלימודים באוניברסיטה, ובנושאים שונים למשל, מערכת הנשימה בביולוגיה (Hmelo et al., 2000), מחזור המים (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005) ומחזור הסלעים במדעי כדור הארץ (Kali, Orion, & Eylon, 2003), נתקלים בקשיים רבים בפיתוח חשיבה מערכתית. קושי זה הוא פועל יוצא של המורכבות הרבה המאפיינת מערכות טבעיות, הכוללות רכיבים מרובים ברמות ארגון שונות שביניהם מתקיימים יחסי גומלין דינאמיים (Hmelo-Silver et al., 2007), ושל דרך ההוראה המקובלת, אשר שמה דגש מרכזי על הרכיבים הבונים את המערכת ועוסקת באופן בלתי מספק בתהליכים המתקיימים במערכת (Ben-Zvi Assaraf et al., 2013). בהתבסס על סקירה מקיפה של הספרות העוסקת בחשיבה מערכתית בהוראה ולמידה (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005) הציעו מודל קוגניטיבי לפיתוח היררכי של חשיבה מערכתית- "מודל חשיבה מערכתית היררכית" Systems Thinking Hierarchical model (STH). המודל מציג 8 שלבים בפיתוח חשיבה מערכתית: (1) זיהוי רכיבים ותהליכים של המערכת, (2) זיהוי יחסי גומלין פשוטים בין רכיבי המערכת, (3) זיהוי יחסי גומלין דינאמיים בתוך המערכת, (4) ארגון רכיבי המערכת, התהליכים והאינטראקציות ביניהם במסגרת מארג של יחסי גומלין, (5) זיהוי מחזורי חומרים ואנרגיה במערכת, (6) זיהוי גורמים חבויים במערכת, (7) ביצוע הכללות ביחס למערכת, (8) חשיבה בממדי זמן משתנים. המיומנויות הקוגניטיביות המתפתחות בכל שלב

מהוות בסיס להתפתחות מיומנויות גבוהות יותר של חשיבה מערכתית. החידוש ב"מודל חשיבה מערכתית היררכית" הוא הארגון היררכי של מאפייני חשיבה מערכתית. מחקרים אשר עשו שימוש במודל זה במטרה לבחון חשיבה מערכתית של תלמידים הציגו מבנה אופייני של פירמידה. הבסיס הרחב של הפירמידה מייצג את התלמידים אשר מפגינים יכולות בסיסיות של חשיבה מערכתית, ככל שעולים בפירמידה, רמת החשיבה המערכתית הנדרשת עולה ואיתה יורד מספר התלמידים המסוגלים להציג את המיומנויות המתאימות. תלמיד אשר הגיע לרמת החשיבה הגבוהה ביותר צריך לעבור בהצלחה את השלבים המקדימים בפירמידה Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2010 (Assaraf et al., 2013; Ben-Zvi).

חשיבה מערכתית בקרב מורים למדעים הוא נושא שלא נחקר רבות (Sweeney & Sterman, 2007). מחקרים אשר בחנו חשיבה מערכתית של מבוגרים מלמדים על מיומנויות חשיבה עניות, גם כאשר מדובר על מבוגרים בעלי השכלה גבוהה. נראה כי מבוגרים נוטים לזהות יחסים של סיבה ותוצאה ולא מארג של יחסי גומלין המתקיימים במערכות מורכבות (Sweeney & Sterman, 2007). (Sweeney & Sterman, 2007) בחנו חשיבה מערכתית אינטואיטיבית של מורים ותלמידים בחטיבת ביניים, בנוגע לתופעות שונות מחיי היום יום בעלות אופי מערכתי. ממצאי המחקר הצביעו על כך שלמורים מיומנויות חשיבה מעט גבוהות מאלו של תלמידי חטיבת הביניים. יחד עם זאת, כרבע מהתלמידים שהשתתפו במחקר, הציגו מיומנויות חשיבה מערכתית גבוהות מתוצאות החציון של המורים. מחקרים אשר בחנו חשיבה מערכתית של מורים בבילוגיה הצביעו על קשיים של מורים ביצירת קשרים משמעותיים בין מבנים ותהליכים ברמות ארגון שונות בבילוגיה (Douvdevany et al., 1997).

3. חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה

הגישה המערכתית החלה לחלחל לתחום הביולוגיה בשנות ה-30 של המאה ה-20 הודות לרעיונות המובאים ב"תיאוריה המערכתית הכללית" (General System Theory- GST) של הביולוג התיאורטיקן Von Bertalanffy. תיאוריית GST היא תיאוריה בין-תחומית המתארת הכללות, דפוסים ועקרונות כלליים המתקיימים במערכות מתחומי דעת שונים (Von Bertalanffy, 1950). התרומה המרכזית של תיאוריה זו לחשיבה מערכתית בביולוגיה היא ההתייחסות לארגון המבני של מערכות חיות שבבסיסו עומד המאפיין ההיררכי של היצורים החיים. ההיררכיה מעוגת ברמות ארגון ביולוגיות מהפשוט (מולקולות) למורכב (אקוסיסטמות), בסדר הבא: מולקולות, תאים, רקמות, איברים, מערכות איברים, אורגניזמים, אוכלוסיות, אקוסיסטמות (Von Bertalanffy, 1972). מסמך "Vision and Change" (Brewer & Smith, 2011) של האגודה האמריקנית לקידום המדע, מציג המלצות לגיבוש מטרות הוראת הביולוגיה בהשכלה הגבוהה בארה"ב ומגדיר את המושג "מערכת" כמושג ליבה (core concept). הכוונה למושג בביולוגיה, אותו כל סטודנט לתואר ראשון צריך להבין. במסמך נאמר, בין היתר:

"הגישה המערכתית לתופעות ביולוגיות מתמקדת במאפיינים המתהווים (emergent) המתקיימים

בכל רמות הארגון, החל ממולקולות ועד למערכות אקולוגיות ומערכות חברתיות."

(Brewer & Smith, 2011) עמוד 13

למעשה, כל רמת ארגון משמשת רכיב ברמת ארגון גבוהה יותר, מכאן שלא ניתן להבין תופעה במערכת ביולוגית ללא הבנה של כלל הרכיבים והתהליכים המתקיימים במערכת ברמות הארגון השונות.

"היות והמאפיין הבסיסי של יצור חי הוא רמות הארגון, ניתוח של רכיבים ותהליכים בודדים אינה יכולה לספק הסבר שלם לתופעות ביולוגיות. ניתוח מסוג זה אינו מספק מידע על התיאום בין רכיבי המערכת והתהליכים המתקיימים בה. מכאן שהמשימה המרכזית של חוקרים בתחום הביולוגיה היא מציאת דפוסיים אופייניים של מערכות ביולוגיות ברמות הארגון השונות."

(Von Bertalanffy, 1972) עמוד 410

כלומר, תכונותיה של כל מערכת ביולוגית מושפעים ממכלול הרכיבים והאינטראקציות המתקיימות ברמות הארגון השונות (Mayr, 1997), ולא ניתן להבין לעומק מבנים ותהליכים ברמת ארגון אחת ללא הבנה של מבנים ותהליכים ברמות ארגון נמוכות יותר וקישור בין רמות הארגון (Hmelo et al., 2000; Penner,) (2000, Verhoeff, 2003).

בספרות ממינינים מערכות ביולוגיות על פי רמות ארגון: רמת מאקרו (macro), רמת מיקרו (micro) ורמה מולקולרית או רמת סאב-מיקרו (submicro) (Marbach-Ad & Stavy, 2000) (1) רמת המאקרו (רמת אורגניזם) כוללת את היצור ואת איבריו, שגודלם נע בין 1 מילימטר עד 20 מטר (למשל הלב). בתהליך הלמידה התלמידים יכולים להבחין בתופעות אלו ללא צורך באמצעי הגדלה ולערוך מניפולציות ברמת האורגניזם, מה שיכול ליצור חווית למידה משמעותית ארוכת טווח. (2) רמת המיקרו (רמת תא) כוללת את התא ואת אברוניו, שגודלם נע בין 1 מילימטר ל- 1 מיקרון (למשל תאי דם). התלמידים יכולים להבחין בתופעות ברמת המיקרו באמצעות מכשור מתאים, כמו מיקרוסקופ אור. כלומר, בין התלמיד לבין האובייקט, עליו הוא לומד, עומד מיקרוסקופ מה שהופך את התצפית למוגבלת במידה רבה. (3) רמת סאב-מיקרו (רמה מולקולרית או ביוכימית) כוללת מולקולות שגודלן נע בין 0.1 מיקרון עד 1 ננומטר (למשל מולקולות המוגלובין). תלמידים אינם יכולים להבחין בפרטים ברמת ארגון זו. אמנם ניתן להציג תהליכים ברמה המולקולרית באמצעות שימוש באינדיקטורים ותגובות ביוכימיות במעבדה או באמצעות הדמיות ממוחשבות, אך על פי רוב על התלמידים להיעזר בדמיון על מנת להבין פרטים אלו (Marbach-Ad & Stavy, 2000).

המאפיין המרכזי של חשיבה מערכתית בביולוגיה הוא הבחנה בין רמות ארגון שונות לצורך תיאור והסבר תופעות טבעיות והקישור בין רמות הארגון השונות לצורך הבנת תופעות ביולוגיות (Hmelo et al., 2000; Marbach-Ad & Stavy, 2000; Verhoeff, 2003). אולם נראה כי בספרי הלימוד מושגים ברמות הארגון השונות נידונים בפרקים נפרדים (Douvdevany et al., 1997; Liu & Hmelo-Silver, 2009; Verhoeff, 2003). לאור זאת לא מפתיע שלתלמידים בגילאים שונים קשיים בקישור בין רכיבים ותהליכים ברמת ארגון שונות לשם הסבר תופעות בביולוגיה (Lewis, Leach, & Wood-Hmelo et al., 2000; Robinson, 2000b; Marbach-Ad & Stavy, 2000; Songer & Mintzes, 1994; Verhoeff, 2003). מטבע הדברים, קשיים אלו באים לידי ביטוי בידע מקוטע וחוסר הבנה מעמיקה של נושאים שונים

בביולוגיה. כך למשל, Verhoeff (2003) הראה כי תלמידי ביולוגיה לומדים על מגוון רחב של תהליכים ומבנים בתא החי, תוך שימוש במושגים ברמת סאב מיקרו והעדר התייחסות מספקת או קישור מפורש לרמות ארגון גבוהות יותר. כתוצאה מכך, הידע של התלמידים הופך למקוטע וההבנה של התא כיחידת המבנה והתפקוד הבסיסית של היצורים החיים היא לרוב שטחית (Verhoeff, 2003). Marbach-Ad & Stavy (2000) הראו כי תלמידי כיתות ט' ו-יב' בישראל מתקשים לתאר תופעות גנטיות ברמת המאקרו (הקשורות לתכונות תורשתיות) באמצעות הסברים הכוללים התייחסות לתופעות גנטיות ברמת המיקרו (הקשורות לחומר תורשתי) (Marbach-Ad & Stavy, 2000). גם Hmelo וחוב' (2000) דיווחו על קשיים של תלמידי בית ספר יסודי בהבנה משמעותית של מערכת הנשימה עקב הקושי לקשר בין תהליכים ומבנים ברמות הארגון השונות (Hmelo et al., 2000).

קושי נוסף, האופייני בהבנה של מערכות ביולוגיות, הוא הבנת המהות הדואלית של רכיבים במערכות אלו. הכוונה היא לכך שרכיבים במערכות ביולוגיות עשויים להיות מערכות בפני עצמן (Verhoeff, 2003). כך למשל, ניתן להתייחס לתא דם אדום הן כרכיב במערכת ההובלה והן כמערכת בפני עצמה המורכבת ברובה ממולקולות המוגלובין. כלומר נקודת המבט או הגדרת גבולות המערכת, יכולים להשפיע על הגדרתם של אותם פריטים כרכיבים במערכת או כמערכות בפני עצמן (Ben-Zvi Assaraf et al., 2013). מחקרים אחרים אפיינו את הקשיים של תלמידים בהבנת מערכות ביולוגיות תוך הבחנה בין מרכיבים מבניים של מערכת לתהליכים המתקיימים במערכת והראו כי תלמידים נוטים לייחס משקל רב למרכיבים המבניים (לרוב ברמת המאקרו) על חשבון הצגת התהליכים ויחסי הגומלין המתקיימים במערכת (Ben-Zvi Assaraf et al., 2004; Hmelo-Silver & Azevedo, 2006; Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004). Ben-Zvi Assaraf וחוב' (2013) בדקו חשיבה מערכתית של תלמידי כיתה י' בישראל בנושא גוף האדם, תוך שימוש במודל החשיבה המערכתית ההיררכית (STH) והראו כי גם בסוף תהליך הלמידה, מרבית התלמידים הציגו מיומנויות חשיבה מערכתית בסיסיות בלבד (Ben-Zvi Assaraf et al., 2013). החוקרים הצביעו על הצורך להתחיל לפתח מיומנויות חשיבה מערכתית באופן הדרגתי כבר בשלבי הלמידה המוקדמים בבית הספר היסודי. הם המליצו לעצב תהליכי הוראה ולמידה מתמשכים שמטרתם להבנות חשיבה מערכתית מעמיקה בשלבי למידה מתקדמים.

בדומה לתלמידים, גם בקרב המורים נמצאו קשיים ביצירת הקשרים משמעותיים בין מבנים ותהליכים ברמות ארגון שונות בביולוגיה (Marbach-Ad & Stavy, 2000; Liu & Hmelo-Silver, 2009; Douvdevany et al., 1997). Stavy (2000) מה גם שניתוח ספרי הלימוד בביולוגיה הראה כי ספרים רבים אינם מציגים באופן מפורש הקשרים מסוג זה (Douvdevany et al., 1997; Liu & Hmelo-Silver, 2009; Verhoeff, 2003).

3.1 חשיבה מערכתית כמפתח להבנת תופעות ביולוגיות

לטענת Verhoeff (2003, 2008) המפתח ליצירת ידע ביולוגי קוהרנטי, הוא פיתוח יכולות חשיבה מערכתית, זאת מפני שלב ליבה של החשיבה המערכתית הוא הקישור בין רכיבים ותהליכים ברמות הארגון השונות במערכת. כלומר, חשיבה מערכתית יכולה לספק מסגרת מושגית של עקרונות אשר יכולים לקדם

הבנה מעמיקה של תופעות ביולוגיות ולהוות כלי מטא-קוגניטיבי המסייע לתלמידים לנתח מערכות ביולוגיות תוך מעבר בין רמות הארגון השונות. בהתבסס על התיאוריה המערכתית הכללית General System Theory. Verhoeff וחוב' (2008) הגדירו את התא החי כמערכת פתוחה המהווה יחידה תפקודית בסיסית של מערכות ביולוגיות ברמות ארגון גבוהות יותר. לצורך אפיון יכולות חשיבה מערכתית Verhoeff וחוב' (2008) הציעו ארבעה מרכיבים לחשיבה מערכתית בביולוגיה: (1) היכולת להבחין בין מבנים ותהליכים ברמות ארגון שונות בביולוגיה (תא, איבר, אורגניזם וכו'); (2) היכולת לקשר בין תהליכים שונים בביולוגיה ברמה התאית (תפיסת התא החי כיחידת מבנה ותפקוד של כל היצורים החיים), והגדירו יכולת זו כ"לכידות אופקית" (Horizontal Coherence); (3) היכולת לקשר בין תהליכים ועקרונות ביולוגיים ברמה התאית לרמות ארגון גבוהות יותר (קישור מיקרו-מאקרו), והגדירו יכולת זו כ"לכידות אנכית" (Vertical Coherence). (4) הקשר בין חשיבה מערכתית להבנת מודלים, והגדירו יכולת זו כחשיבה "קדימה ואחורה" בין ייצוג תא חי כמודל אבסטרקטי לבין תא חי אמיתי הנראה תחת מיקרוסקופ במעבדה (Verhoeff et al., 2008). לאור ארבעת המרכיבים, Verhoeff (2003) ו-Verhoeff וחוב' (2008) הציעו אסטרטגיית הוראה-למידה לפיתוח יכולות חשיבה מערכתית בביולוגיה. אסטרטגיה זו מבוססת על בניית דגמים של תא חי על ידי התלמידים, בדגש על הצגת הדגם ותיאור הקשרים בין האברונים השונים בתא היוצרים את המערכת ובין תפקוד התא לתפקוד ברמות ארגון גבוהות יותר (Verhoeff, 2003; Verhoeff et al., 2008). במילים אחרות, על פי אסטרטגיה זו התלמידים לומדים תחילה על המבנה והתפקוד של התא החי כמערכת (רמה תאית) ורק לאחר מכן יוצרים הקשרים בין רמת התא לרמות ארגון גבוהות יותר. בדרך זו, לטענת החוקרים, ניתן להבנות את ההבנה העמוקה כי תא הוא מערכת המהווה את יחידת המבנה והתפקוד הבסיסית במערכת מורכבת יותר, האורגניזם.

המורכבות הרבה של מערכות ביולוגיות, והקשיים של תלמידים בהבנת מערכות אלו, אשר באים לידי ביטוי בהבנה שטחית, ידע מקוטע ותפיסות שגויות (Hmelo-Silver et al., 2006; Hmelo-Silver & Azevedo, 2006; Verhoeff et al., 2008; al., 2007) הציבו בפני החוקרים העוסקים בחשיבה מערכתית בביולוגיה שתי שאלות מרכזיות: כיצד לנתח מערכות ביולוגיות לצרכי למידה ובאיזה שלב בלמידה נכון לפתח יכולות חשיבה מערכתית?

3.2 ניתוח מערכות ביולוגיות תוך הבחנה בין מבנה, מנגנון ותפקיד המערכת

לאור המורכבות הרבה של מערכות ביולוגיות, עולה הצורך בפיתוח כלים אפקטיביים לניתוח המערכות וארגון הידע בהוראה ולמידה. דרך הייצוג והניתוח של מערכת ביולוגית נתונה עשוי להשפיע על האופן בו הלומדים תופסים את טבע התהליכים המתרחשים במערכת (Hmelo-Silver & Azevedo, 2006). Hmelo-Silver וחוב' (2004, 2006, 2007, 2015) הציעו פרספקטיבה חדשה לניתוח מערכת מורכבת בביולוגיה לצורכי למידה תוך שימוש במודל SBF (Structure-Behavior-Function) המקובל בתחום ההנדסה. מודל זה מתייחס לשלושה היבטים של מערכת, המקיימים קשרים סיבתיים (causal) ביניהם: מבנה, התנהגות (או תפקוד) ותפקיד. מודל זה מציע לבסס את הייצוג הקונספטואלי של מערכת נתונה תוך הבחנה

בין שלושת ההיבטים: מבנה (Structure), התנהגות (Behavior) ותפקיד (Function) המערכת (Hmelo-Silver & Azevedo, 2006; Hmelo-Silver et al., 2007; Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004; Liu & Hmelo-Silver, 2009). במבנה (Structure) הכוונה ליחסי גומלין דינאמיים בין רכיבי המערכת והקשרים ביניהם, בהתנהגות או תפקוד (Behavior) הכוונה ליחסי גומלין דינאמיים בין רכיבי המערכת ומנגנונים המתקיימים במערכת, ובתפקיד (Function) הכוונה למהות של המערכת ורכיביה (בדגש על תוצרי המערכת).

לצורך המחשת דרך ניתוח זו, החוקרים מציגים לדוגמא ניתוח של מערכת ההובלה באדם: מערכת ההובלה בנויה מתאים שונים הבונים רקמות שונות. רקמת הדם, למשל, מורכבת ממספר תאים שונים המצויים בתוך נוזל הפלסמה (מבנה רקמת הדם). תאי הדם מובילים חמצן וחומרי הזנה, נלחמים בזיהומים ולוקחים חלק בתהליכי קרישת דם (תפקיד תאי הדם). תאי הדם נעים בתוך נימים וורידים. תנועת תאי הדם מתאפשרת הודות לפעילות הלב. הלב הוא משאבה המזרימה את הדם בכל חלקי הגוף באמצעות יצירת הפרשי לחצים ("התנהגות" הלב או מנגנון פעילות הלב). למערכת זו יחסי גומלין עם מערכות אחרות בגוף האדם. למשל מערכת הנשימה. כאשר מערכת הנשימה אינה מספקת די חמצן למערכת הדם, במערכת הדם מופעלים מנגנוני בקרה אשר מאיצים את קצב פעילות הלב. ניתן להתייחס ליחסי הגומלין בין מערכת הנשימה למערכת הדם כאל גורמים חבויים במערכת (Hmelo-Silver et al., 2007). בדומה לניתוח של רכיבי מערכת ההובלה, ניתן לנתח כל מערכת ביולוגית. ניתוח זה שם זרקור על הקשרים הסיבתיים בין המבנה, המנגנון והתפקיד של רכיבי המערכת ומתמקד בהבנה של יחסי הגומלין בין שלושת היבטי המערכת. לטענת החוקרים (Hmelo-Silver et al., 2007), ארגון ההוראה באמצעות ייצוג מושגי המבחין בין מבנה (Structure), מנגנון (Behavior) ותפקיד (Function) המערכת, עשוי להקל על התלמידים ולסייע להם בהבנת מערכות מורכבות. לאור גישת ה-Hmelo-Silver, SBF וחוב' (2007) בחנו תפיסות של תלמידים ומומחים בנושא מערכת הנשימה ומערכת אקולוגית באקווריום והראו שעבור מרבית הלומדים מבנה המערכת מהווה את עיקר הידע וההבנה של המערכת, ושהם נוטים להתעלם מהשפעות הזדויות מורכבות בין רכיבי המערכת ומכאן שההבנה שלהם את המערכת שטחית ביותר. זאת בניגוד למומחים עבורם התפקיד וההתנהגות מהווים מארגן ידע מרכזי ובסיסי להבנה מעמיקה של המערכת.

3.2.1 ייצוג מערכות ביולוגיות בתהליכי הוראה ולמידה

בספרות העוסקת בפיתוח חשיבה מערכתית בביולוגיה ניתן למצוא הצעות לאסטרטגיות הוראה ולמידה התורמות לעיצוב הבנה קוהרנטית של מערכות ביולוגיות (Liu & Hmelo-Silver, 2009; Verhoeff, 2003; Verhoeff et al., 2008). מחקרים אלו יוצאים מנקודת הנחה כי ההיבטים עליהם שמים דגש בתהליכי ההוראה והלמידה של מערכות בביולוגיה משפיעים על האופן בו תופסים אותן התלמידים. בתחילת הפרק תיארתי אסטרטגיות הוראה ולמידה המבוססת על בניית דגם של התא כמערכת (Verhoeff, 2003; Verhoeff et al., 2008), בחלק זה ארחיב על אסטרטגיית למידה מבוססת היפרמדיה, בדגש על ייצוג קונספטואלי (conceptual representation) מעוגן תפקיד (Liu & Hmelo-Silver, 2009). החוקרות

Liu & Hmelo-Silver (2009) בחנו את ההשפעה של שני רצפי הוראה של מערכות ביולוגיות, בנושא מערכת הנשימה: (1) ייצוג קונספטואלי מעוגן מבנה (Structure) centered - רצף הוראה בדגש על ידע עובדתי מבני של מערכת מורכבת. (2) ייצוג קונספטואלי מעוגן תפקיד (Function-centered) - רצף הוראה בדגש על יחסי גומלין, סיבתיות ותהליכים דינאמיים.

סביבת היפרמדיה מתאימה לפיתוח חשיבה מערכתית היות וסביבה זו מאפשרת לארגן את הידע המושגי הרלוונטי ברשת הקשרים מסועפת באופן רב כיווני. לצורך המחקר הן בנו שתי סביבות למידה מתוקשבות מבוססות על למידה של מערכת חדשה (מערכת הנשימה) באמצעות התמודדות עם רצף שאלות המתייחסות למבנה, תפקיד ומנגנון המערכת (Liu & Hmelo-Silver, 2009). סביבת למידה אחת מבוססת מבנה, בדומה לספרי הלימוד המסורתיים. רצף הלמידה בסביבה זו מאורגן כך שתחילה מוצגות שאלות ומידע הנוגעים לרכיבי מערכת הנשימה באדם, לאחר מכן מוצגים המנגנונים הפועלים במערכת ותפקידי המערכת. סביבת הלמידה השנייה מבוססת תפקיד, ומאורגנת כך שתחילה מוצגות שאלות ומידע הנוגעים לתפקידים ומנגנונים במערכת הנשימה ולבסוף מוצג מידע הנוגע למבנה המערכת. הבניית הידע בסביבה זו, תוך דגש על תפקיד המערכת, מדמה את דרך החשיבה של החוקרים בתחום הביולוגיה (Collins, Brown, & Newman, 1989). לטענת Liu & Hmelo-Silver (2009) הבנה של מבנה המערכת אינה דורשת בהכרח הבנה של תפקיד או התנהגות של המערכת, ואילו הבנה של תפקיד והתנהגות המערכת מחייבת הבנה מעמיקה של מבנה המערכת. מסקנות המחקר הצביעו על מספר יתרונות בולטים להוראה ולמידה באמצעות ייצוג קונספטואלי מבוסס תפקיד: (1) מאפשר לענות על שאלות מהותיות המתייחסות לתפקיד המערכת, את השאלות הרחבות מחלקים לתתי שאלות מצומצמות יותר. שאלות מסוג זה מעודדות חשיבה ובניית טיעון. החיפוש אחר התשובה לשאלה, מעודד למידה משמעותית. (2) מזמן אתגר קוגניטיבי עבור הלומדים. בניסיון לענות על שאלות הקשורות לתפקיד המערכת, התלמידים נדרשים לגייס את הידע הקודם שלהם ולבחון את הידע החדש לאור הידע הקודם. (3) מזמן יצירת הקשרים משמעותיים בין רכיבי המערכת ברמות ארגון שונות. על פי רוב, הסבר מבוסס תפקיד דורש אינטגרציה בין פרטי ידע רבים הקשורים הן למבנה והן למנגנון.

החוקרות הציעו כי לשם הוראה ולמידה משמעותית של מערכות ביולוגיות מורכבות, חשוב לספק לתלמידים הן הזדמנויות לאינטראקציה עם מערכות אמיתיות והן כלים כגון מודלים וסימולציות אשר מאפשרים לתלמידים להבחין ברכיבים וביחסי גומלין ברמות ארגון שונות, כל זאת תוך הבחנה מפורשת בין מבנים, תפקידים והתנהגות במערכת ברמות הארגון השונות (Hmelo-Silver et al., 2007). בדומה לתלמידים, מדגישות החוקרות את החשיבות של הכשרת מורים מתאימה במטרה להעמיק את החשיבה המערכתית שלהם תוך הבחנה בין מבנה תפקיד והתנהגות (Hmelo-Silver et al., 2007).

4. מערכת ההובלה באדם כדוגמא למערכת ביולוגית

מערכת ההובלה (מערכת הדם והלב) נחשבת לאחד מחמשת הנושאים החשובים ביותר הנלמדים בביולוגיה בבתי הספר (Stewart, 1982). Chi (2005) בחנה כיצד ספרי לימוד מסורתיים נוהגים להציג את מערכת ההובלה באדם והראתה כי על פי רוב הדגש הוא על תיאור מבנה המערכת וכן תיאור התהליכים המתרחשים

בה, ואילו ההתייחסות לתפקוד הרכיבים במערכת והקשר בין המבנה לתפקוד של הרכיבים מושמט פעמים רבות. לטענת החוקרת שלושה רעיונות מרכזיים, אינם מקבלים מקום הולם בספרי הלימוד: (1) הריאות הן חלק חיוני במערכת ההובלה, (2) ריאות (ולא הלב) הן האתר בו מתקיים תהליך חילוף הגזים בגוף האדם, (3) מערכת ההובלה מורכבת משני מחזורים, כלומר הדם זורם ללא הרף בשני מסלולים מעגליים. מסלול אחד (מחזור הריאות) מוביל דם עני בחמצן אל הריאות, שם מתבצע תהליך חילוף גזים (הדם הופך להיות עשיר בחמצן), והמסלול השני (מחזור הגוף) מוביל דם עשיר בחמצן את כל תאי הגוף. התייחסות לא מספקת או לא מפורשת לרעיונות אלו בהוראה עלולה לפגוע בהבנה של המערכת ולהוביל לתפיסות שגויות (Chi, 2005). מאמרים אשר בחנו תפיסות אופייניות בנושא מערכת ההובלה באדם דיווחו על תפיסות חלופיות רבות האופייניות לתלמידי בית הספר היסודי, תלמידי החטיבה העליונה וכן תלמידי קולג'. התלמידים הציגו תפיסות חלופיות בנוגע למבנה ותפקוד של הדם והלב, וכן בנוגע לקשר בין מערכת ההובלה ומערכת הנשימה (Arnaudin & Mintzes, 1985; Sungur, Tekkaya, & Geban, 2001). חלק מהתפיסות החלופיות נמצאו בקרב תלמידי בית ספר יסודי ונותרו ללא שינוי בחט"ב ובקולג'. כך למשל התפיסה שקיים מחזור דם אחד מהלב לגוף וחזרה או התפיסה שמערכת ההובלה היא מערכת פתוחה (כלומר הדם יוצא מהמערכת לכיוון התאים). המאפיין המשותף לתפיסות אלו טמון בכך שלשם הבנה נכונה, מבחינה מדעית, של התהליך דרוש ידע והבנה של רכיבים ויחסי הגומלין בין הרכיבים במערכת ההובלה וכן יחסי גומלין בין מערכת ההובלה למערכות אחרות בגוף האדם, חלקם סמויים מהעין ובעלי אופי מתהווה. לטענתה של Chi (2005), קיים קשר בין אופי התהליך לסוג התפיסות החלופיות הנוצרות במבנה הידע של התלמידים. תפיסות חלופיות האופייניות לתהליכים ישירים פחות יציבות, כלומר קל יותר לשרש אותן, כיוון שגם התפיסה החלופית וגם התפיסה הנכונה מבוססות על הבנה של תהליך ישיר. בעוד שתפיסות חלופיות האופייניות לתהליכים מתהווים יציבות הרבה יותר וקשות לעידון או שינוי, עקב הנטייה לייחס לתהליכים מתהווים מאפיינים של תהליכים ישירים. בדומה לתלמידים, נמצא כי גם המורים אוהזים בתפיסות חלופיות בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם, תפיסות בנוגע למנגנוני חילוף חומרים, וכן קשר בין קצב זרימת הדם, לחץ הדם וקוטר כלי הדם (Sungur et al., 2001). על מנת להתמודד עם תפיסות חלופיות החוקרים ממליצים למורים ולמפתחי תוכניות לימודים להיות ערים לתפיסות השגויות האופייניות של התלמידים בנושא מערכת ההובלה, לשים דגש על נושאים אלו בתכנון ההוראה ואף לנצל את התפיסות השגויות כ"קרח קפיצה" לשינוי תפיסתי. לטענתה של Chi (2005) הוראה מפורשת, תוך שימת דגש על שלושת הרעיונות המרכזיים אשר הוצגו בתחילת הפרק, עשויה למנוע יצירת תפיסות שגויות ולסייע להבניית מודל תפיסתי נכון של מערכת ההובלה.

-מתודולוגיה-

מחקר זה הנו מחקר בסיסי ויישומי, החלק הבסיסי במחקר עוסק בעיצוב דגם משולב לאפיון חשיבה מערכתית בביולוגיה בחט"ב והחלק היישומי עוסק בהערכה של חומרי הוראה-למידה חדשים לפיתוח חשיבה מערכתית בביולוגיה בנושא מערכות הובלה בגוף האדם ותיאור השיח הכיתתי מנקודת מבט מערכתית. מבחינה מתודולוגית המחקר הוא מחקר מעורב, המשלב גישות איכותניות וכמותיות. המחקר הכמותי כולל איסוף נתונים וניתוח סטטיסטי של הממצאים לשם הסקת מסקנות ובחינה של שאלות המחקר. הגישה הכמותית מאפשרת להסיק מסקנות כלליות ולהשוות בין הממצאים. ניסוח ההשערות בגישה זו נעשית בשיטה דוקטיבית. איסוף הנתונים לשם עיצוב הדגם המשולב לאפיון חשיבה מערכתית בביולוגיה ובחינת השפעת חומרי ההוראה-למידה החדשים על החשיבה המערכתית של תלמידים נעשה באמצעות מפות מושגים. על מנת להעמיק וללמוד על מאפייני החשיבה המערכתית של מורים ותלמידים בביולוגיה חשוב להכיר את המורכבות וההקשרים בין הרבדים השונים בתהליך ההוראה-למידה בכיתה. לצורך כך, נעשה שימוש בשיטות מחקר איכותניות נטורליסטיות. מהות המחקר האיכותני הנטורליסטי היא חיקוי של דרך הטבע, שמטרתו להבין תופעות בהקשרים ספציפיים, בעולם ה"אמיתי" (Shkedi, 2003). הגישה האיכותנית מאפשרת לקבל תמונה מעמיקה של תהליכי ההוראה והלמידה בכיתה ולפתוח צוהר אל מבנה הידע של מורים ותלמידים בנושא מערכת ההובלה באדם. ניתוח הנתונים והסקת המסקנות לפי גישה זו נעשים בשיטה אינדוקטיבית מהפרט אל הכלל. איסוף הנתונים לשם תיאור השיח הכיתתי מנקודת מבט מערכתית ובחינת השפעת חומרי ההוראה-למידה החדשים על החשיבה המערכתית של מורים וכן ניתוח הקשרים בין מאפייני החשיבה המערכתית של המורים לתמורות שחלו בחשיבה המערכתית של תלמידיהם נעשה שימוש בשאלוני Repertory Grid (מלווים בראיונות מאזכרים), בראיונות חצי מובנים ובתצפיות בכיתה. לצורך ביצוע המחקר בכיתות בית ספר התקבל היתר לאסיף מידע מטעם המדען הראשי במשרד החינוך (נספח 1).

1. כלי המחקר

במחקר נעשה שימוש בארבעה כלי מחקר, השילוב ביניהם תכליתו להעמיק את ההבנה של התופעה הנחקרת ולהעלות את התוקף הפנימי של התוצאות. הכלים שנבחרו לצורך איסוף וניתוח הנתונים הם:

- מפות מושגים
- שאלוני Repertory Grid, מלווים בראיונות מאזכרים
- ראיונות חצי מובנים
- תצפיות בכיתה

כל אחד מכלי המחקר שופך אור על היבט שונה של הכיתה כמערכת בה נלמד נושא מערכת ההובלה בגוף האדם, זאת לשם מתן מענה על שאלות המחקר. בטבלה 1 מוצגים הקשרים בין כלי המחקר לשאלות המחקר.

טבלה 1. התאמה בין כלי המחקר לשאלות המחקר

כלי מחקר				שאלות מחקר
תצפיות בשיעורים (מספר שיעורים)	ראיונות (מספר ראיונות עם מורות)	מפות מושגים (מספר מפות מושגים של תלמידים)	RG (מספר שאלוני RG של מורות)	
עיצוב מודל משולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה בחטיבת ביניים				
-----	-----	163 (pre)	-----	(1) באיזה אופן מאפייני החשיבה המערכתית באים לידי ביטוי במבנה הידע של תלמידי כיתה ז'?
בחינת השפעת חומרי הלמידה החדשים על החשיבה המערכתית של תלמידים ומורים				
-----	-----	88 (pre) + 88 (post) מפות מזווגות	-----	(2) כיצד תהליך למידה באמצעות חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית משפיע על מבנה הידע של תלמידים מנקודת מבט מערכתית?
-----	3	-----	3 (pre) + 3 (post)	(3) כיצד תהליך ההוראה באמצעות חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית משפיע על מבנה הידע של מורים מנקודת מבט מערכתית?
תיאור חקר מקרה				
32	2*	-----	-----	(4) כיצד מאפייני החשיבה המערכתית באים לידי ביטוי בשיח הכיתתי?
32	2	58 (pre) + 58 (post) מפות מזווגות	*2 (pre) + 2 (post)	(5) האם קיימים קשרים בין מאפייני החשיבה המערכתית של המורים לתמורות שחלו בחשיבה המערכתית של תלמידיהם ומה טיבם של קשרים אלו?

pre: השימוש בכלי המחקר נעשה לפני ההוראה/למידה (התלמידים למדו נושא זה בבית הספר היסודי)

post: השימוש בכלי המחקר נעשה לאחר ההוראה/למידה

*שני המורות בשאלת מחקר 5 הן שתיים מתוך שלושת המורות באשר הן את אוכלוסיית המחקר בשאלת מחקר 3

1.1 מפת מושגים

אחד הכלים היעילים לייצוג מבנה הידע של הפרט הוא מפת המושגים (Novak & Gowin, 1984). מפת מושגים כוללת מושגים וקשרים. המושגים, על פי רוב, מופיעים בתוך מעגלים או מלבנים והקשרים ביניהם מסומנים בקווים. הקשרים מתארים במילה אחת או במשפט את הזיקה בין כל זוג מושגים. ניתוח של מפות המושגים מאפשר ללמוד על האופן בו הפרט תופס את ההקשרים ואת יחסי הגומלין בין המושגים (White & Gunstone, 1992). השימוש במפות המושגים בחקר תהליכי למידה מעוגן בהנחה שכלי זה פורש בפני החוקר ייצוג מושגי הדומה לייצוג המושגי המנטאלי של הלומד (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005). Wallace ו-Mintzes השוו בין מפות מושגים של תלמידים בשלבי למידה שונים, והראו שכלי זה מאפשר להבחין בתמורות בתפיסותיהם ובארגון מחדש של הידע (Wallace & Mintzes, 1990). מתן חופש ביצירת

מפות מושגים מאפשר ללומדים להציף מושגים שונים וליצור הקשרים מגוונים ומהווה פלטפורמה טובה להצגת החשיבה המערכתית שלהם (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005).

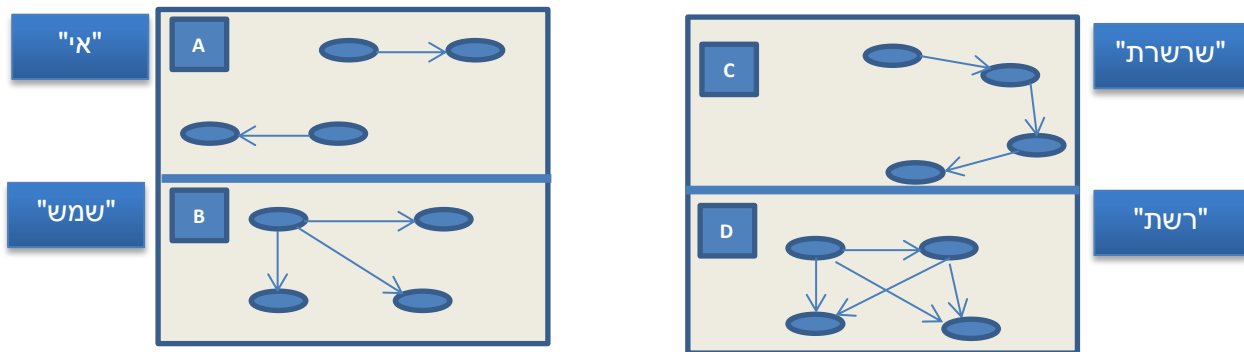
ניתוח של מפות מושגים יכול להיות כמותני, המערב מניין מושגים וקשרים (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005) ו/או איכותני, המערב תיאור איכותני של המושגים, הקשרים ביניהם (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005) ודגם מארג המושגים (Kinchin, Hay, & Adams, 2000). הגישה הכמותית, מציגה תמונה אובייקטיבית של המושגים וההקשרים ואילו הגישה האיכותנית מאפשרת לתאר באופן הוליסטי את מבנה הידע כפי שהוא משתקף במפות המושגים. Kinchin (2011) ערך סקירה בנושא שימוש במפות מושגים בהוראת הביולוגיה והציג שלושה דגמים, המתארים שלושה מבנים אופייניים של מפות מושגים: שמש (spoke), שרשרת (chain) ורשת (network). שלושת הדגמים מצביעים על איכות המפה או רמת ההבנה, כאשר מפות מדגם שמש (spoke) מציגות את רמת ההבנה הנמוכה ביותר ומפות מדגם רשת (network) מציגות את רמת ההבנה הגבוהה ביותר. ניתן לבחון את השינוי ברמת ההבנה באמצעות השוואה בין דגמי מפות המושגים בשלבי הלמידה השונים (Kinchin, 2011).

במחקר הנוכחי, לצורך ההכרות עם מפות מושגים התלמידים קיבלו הסבר מפורט מהחוקרת והתנסו בבניית מפות מושגים בנושאים הקרובים אל ליבם (למשל, קשרים בתוך המשפחה או סדרת טלוויזיה מוכרת). זאת מתוך הנחה כי התנסות בבניית מפת מושגים חיונית בכדי שתוכל לשמש ככלי מחקרי (White & Gunstone, 1992). לאחר התנסות ראשונית, התבקשו התלמידים ליצור מפות מושגים אישיות בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם. התלמידים קיבלו דף חלק עם 12 מעגלים ריקים, והנחיות כלליות לבניית מפת מושגים (נספח 2). המעגלים הריקים נועדו להקטין את מרחב הזרות ולהקל על תהליך בניית המפות מבחינה טכנית. ההנחיות הורו: (1) לרשום בתוך המעגלים מושגים רלוונטיים לנושא מערכת ההובלה בגוף האדם, ניתנה אפשרות להוסיף מושגים נוספים על פי הצורך, (2) להוסיף קווים, המתארים קשרים בין המושגים, ו(3) לתאר את הקשרים באמצעות משפטים קצרים. בסיום התהליך התקבלו מארגים של מושגים וקשרים המרמזים על הדרך בה מארגנים המורים והתלמידים את הידע שלהם בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם. ניתוח מפות המושגים של התלמידים נעשה בהתאם לקריטריונים המופיעים במודל המשולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה בחט"ב. תיאור אופן ניתוח מפות המושגים, כולל דוגמאות ממפות מושגים של תלמידים, מופיע בטבלה 2.

המיומנות המורכבת ביותר, המופיעה במודל משולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה (המודל מוצג בטבלה 5, עמוד 44) היא היכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג יחסי גומלין. לצורך ניתוח יכולת זו, מלבד מניין מושגי צומת ומספר מושגי קצה (טבלה 2) נעשה אפיון ומיון מפות המושגים על פי ארבעה דגמים, הנבדלים זה מזה ברמת המורכבות שהם מייצגים. ארבעת הדגמים (A-D), אשר הוגדרו במחקר מתוארים באיור 1. דגמים D-C הוצעו על-ידי Kinchin (2011), דגם A הוסף בעקבות הצורך שעלה מניתוח מפות המושגים של התלמידים במחקר הנוכחי.

טבלה 2. תיאור ניתוח מפות מושגים בהתאם לקטגוריות במודל המשולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה (המודל מוצג בטבלה 5, עמוד 44)

דוגמאות	אופן ניתוח מפות המושגים	שלבים בפיתוח חשיבה מערכתית
<p>מושגים שאינם רלוונטיים- "לבלב", "כליות", "מזרק" מושגים רלוונטיים- "לב", "תא דם אדום", "חמצן" רמת האורגניזם- "לב" רמת התא- "תא דם אדום" רמת המולקולה- "חמצן"</p>	<p>מניין המושגים המתארים רכיבים במערכת ההובלה בגוף האדם נעשתה הבחנה בין רכיבים רלוונטיים ורכיבים שאינם רלוונטיים, בהתאם לתוכנית הלימודים לכיתה ז' סיווג המושגים הרלוונטיים לשלוש קטגוריות בהתאם לרמת הארגון: (1) רמת האורגניזם, (2) רמת התא, (3) רמת המולקולה</p>	<p>היכולת לזהות רכיבים במערכת</p>
<p>קשרים שאינם נכונים- "לב בנוי מארבעה חדרים", "תאי דם אדומים מכילים אברונים" קשרים נכונים- "וריד מתחבר ללב", "בתוך תא דם אדום יש המוגלובין" קישור בין מושגים באותה רמת ארגון- "וריד מתחבר ללב" קישור בין רמות ארגון שונות- "בתוך תא דם אדום יש המוגלובין"</p>	<p>מניין קשרי המבנה הנכונים בין המושגים נעשתה הבחנה בין קשרים נכונים לקשרים שאינם נכונים סיווג קשרי המבנה לשתי קטגוריות: קישור בין מושגים באותה רמת ארגון, וקישור בין רמות ארגון שונות</p>	<p>היכולת לזהות קשרי מבנה בין רכיבי המערכת</p>
<p>קשרים שאינם נכונים- "דם זורם מהעורק ללב", "חמצן מובל בתא דם לבן" קשרים נכונים- "חמצן מובל באמצעות ההמוגלובין", "חמצן מובל אל תאי הגוף" קישור בין מושגים באותה רמת ארגון- "חמצן מובל באמצעות ההמוגלובין" קישור בין רמות ארגון שונות- "חמצן מובל אל תאי הגוף"</p>	<p>מניין קשרי התהליך הנכונים בין המושגים נעשתה הבחנה בין קשרים נכונים לקשרים שאינם נכונים סיווג קשרי התהליך לשתי קטגוריות: קישור בין מושגים באותה רמת ארגון, וקישור בין רמות ארגון שונות</p>	<p>היכולת לזהות קשרי תהליך בין רכיבי המערכת</p>
<p>יחס בין מספר מושגי הצומת ומושגי הקצה נותן אינדיקציה לרמת המורכבות והסיעוף הקשרים במפה. ככל שהמפה מסועפת יותר מספר מושגי הצומת ביחס למספר מושגי הקצה גבוה ביותר</p>	<p>מניין מושגי צומת (מושגים מהם יוצאים שלושה קשרים נכונים ויותר) ומספר מושגי קצה (מושגים מהם יוצא קשר אחד נכון בלבד, לא כולל זוגות של מושגים) סיווג מושגי הצומת לפי מספר הקשרים, רמת ארגון ובחינת שכיחות מושגי צומת אופייניים מורכבות המארג נבחנה גם לאור 4 דגמים A-D (ראו איור 1), בהתבסס על שלושת הדגמים המתוארים במאמרו של Kinchin (2011) הדגם הנוסף התוסף נוכח ניתוח מפות המושגים של התלמידים</p>	<p>היכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג של יחסי גומלין</p>



איור 1. ארבעה דגמים אופייניים של מפות מושגים (Raved & Yarden, 2014)

תיאור דגמי מפות המושגים: דגם A – דגם "אי", מושגים בודדים, זוגות או שלשות של מושגים. דגם זה מצביע על רמת מורכבות נמוכה ביותר של קישור בין המושגים. **דגם B** – דגם "שמש", מושג מרכזי (אחד או בודדים) ממנו יוצאים שלושה מושגי קצה או יותר. **דגם C** – דגם "שרשרת", רצף מושגים וקשרים המחברים ביניהם ומתארים שרשרת אירועים. **דגם D** – דגם "רשת", מושגי צומת מרובים ללא מושגי קצה (או מספר מצומצם של מושגי קצה). דגם זה מצביע על רמת מורכבות גבוהה ביותר של קישור בין מושגים. במקרים בהם באותה מפה הופיעו שני דגמים או יותר, נבחר הדגם הדומיננטי ביותר. ניתוח המפות עבר תיקוף עמיתים.

Repertory Grid Technique 1.2

Repertory Grid Technique (RGT) היא שיטה למיפוי קוגניטיבי שתכליתה להציג מבנים קוגניטיביים פנימיים של הפרט ביחס לעולם הסובב אותו. שיטה זו מבוססת על תיאוריית המבנים האישיים Personal Construct Theory שהציע הפסיכולוג George Kelly (2003). Kelly סבר כי מבנה הדעת של כל אדם מבוסס על מערכת של מודלים מנטאליים (Mental models) או מבנים אישיים (Personal constructs), אשר מתפתח במהלך חייו של הפרט כתוצאה מידע שרכש ואירועים שחווה. אותם מודלים משמשים את האדם לצורך ניסוח השערות, בחינת אירועים והתאמת התנהגות (Kelly, 2003).

Kelly (2003) הניח כי כל אדם מעדכן ומשנה את המודלים המנטאליים על בסיס משוב מהסביבה, למשל כאשר אדם נחשף לתופעה שאינה תואמת את מערכת המבנים הקיימת אצלו הוא מעדכן אותה ומשלב את הידע החדש. Kelly פיתח מתודולוגיה המאפשרת להציף ולהציג את המבנים האישיים של הפרט, וכינה אותה Repertory Grid. לטענתו, באמצעות שיטה זו ניתן ללמוד על התוכן המושגי (Conceptual content) ועל יחסי הגומלין בין המושגים במערכת המנטאלית של הפרט.

בשלב הראשון שיטה זו שימשה ככלי דיאגנוסטי וטיפולי בפסיכולוגיה (Bannister, 1960) ובהמשך ככלי שימושי בתחום החינוך (Latta & Swigger, 1992). בן צבי אסרף ואוריון (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005) עשו שימוש בכלי זה לצורך אפיון חשיבה מערכתית של תלמידים בנושא מערכות כדור הארץ. לטענתם, המבנים האישיים אשר עולים מניתוח שאלוני RG מספקים תובנות על יכולות החשיבה

המערכתית של הנשאל. שרון-אריאלי (2007) עשתה שימוש בכלי לשם אפיון תפיסות של תלמידים
בביולוגיה בנושא התא החי.

תהליך בניית Repertory Grid הוא תהליך אישי ודינאמי. השיטה בה השתמשתי במחקר זה לבניית RG
כוללת שלושה שלבים: (1) הגדרת הפריטים (Elements) - יצירת רשימת מושגים (בין 12-15 מושגים).
(2) הגדרת המבנים הדו-קוטביים (Personal Constructs) באמצעות השוואה בין הפריטים (Elements),
בחירה אקראית של שלושה מושגים ומציאת דמיון בין שני מושגים ושני ביניהם לבין מושג שלישי (יוצא
דופן). (3) הגדרת "רייטינג" (Ratings) ובניית המארג (Grid) - מיקום הפריטים על רצף המבנים הדו-
קוטביים, כלומר מיון הפריטים על פי המבנים שנקבעו (על סקלה בין 1-5).

הדרך המקובלת לבניית המארג (Grid) היא באמצעות ראיון. הריאיון מאפשר לבחון לעומק את המבנים
(Constructs), הקשרים ויחסי הגומלין בין הפריטים (Elements) (Fransella, Bannister, & Bell, 2003).

לטובת המחקר, חובר שאלון לביצוע Repertory Grid (נספח 3) בחלק הראשון של השאלון התבקשו
המורות לרשום 12 מושגים, הקשורים להוראה של מערכת ההובלה בגוף אדם על פתקים (מושג אחד על כל
פתק). בשלב הבא, התבקשו לבחור באופן אקראי שלושה מושגים ולמצוא דמיון בין שני מושגים ושני
ביניהם לבין המושג השלישי (המורות חזרו על הפעולה כ-8 פעמים). ניתוח השאלון מציף מבנים דו-
קוטביים, על סמך מבנים אלו נבנה חלק ב' של השאלון. בחלק זה המורות התבקשו למקם כל אחד מהמושגים
בסקאלה מ-1 עד 5, בהתאם למבנים שעלו מהשאלון הראשון. לצורך ביצוע המטלות ערכתי מפגשים עם כל
אחת מהמורות וכן התכתבות באמצעות מיילים להשלמת התהליך. בעת הצורך המורות התבקשו לתאר בעל
פה ולהבהיר את תשובותיהן לשאלונים. הממצאים הוזנו לתוכנת Repgrid 5 (<http://repgrid.com>) אשר
מכמתת ומעבדת את הממצאים ויוצרת מארג (Grid). עיבוד הנתונים באמצעות תוכנת Repgrid 5 מאפשר
לקבל פלט של אותם הנתונים בארבעה סוגי ייצוגים שונים (Map, Focus cluster, Crossplot, Matches). כל ייצוג מספק זווית ראייה שונה על מארג התפיסות של הנבדקים.

לצורך ביסוס המאפיינים הייחודיים של כל אחת משתי המורות בחקר המקרה, יצרתי קשר מחודש עם
המורות, המורות התבקשו לסווג שלשות של מושגים, אותם רשמה ומיינה המורה השנייה. כלומר, הצגתי
בפני מורה A שלשות של מושגים אותם רשמה ומיינה מורה B, ובקשתי ממנה למיין את המושגים על פי
ראות עיניה ולנמק בהתאם לתפיסתה. באופן דומה, הצגתי בפני המורה B שלשות של מושגים אותם מיינה
המורה A שיטה זו אפשרה בחון את השוני ולבסס את המבנים הדו-קוטביים הייחודיים של כל אחת משתי
המורות תוך שימוש באותם פריטים.

ניתוח ממצאי Repertory Grid נעשה בגישה איכותנית, תוך ניתוח הפריטים (Elements) והמבנים הדו-
קוטביים (Constructs) אותם העלו המורות, בשילוב התבוננות הוליסטית וניתוח מארג ההקשרים (Grid)
האישי, המראה את מידת הדמיון (correlation) בין הפריטים והמבנים הדו-קוטביים ושופך אור על מאפייני
החשיבה המערכתית שלהן.

מידת הדמיון בין הפריטים השונים ובין המבנים הדו-קוטביים, יכולה לנוע בין 0% ל-100%, כאשר מידת דמיון בעלת משמעות (significant correlations) היא 80% ומעלה (Jankowicz, 2004).

1.3 תצפיות בכיתה ניתוח שיח כיתתי

תצפיות הן הדרך העיקרית לאיסוף נתונים במחקר איכותני (צבר בן-יהושע, 1997). תיעוד הנעשה בכיתה מאפשר לשפוך אור על האווירה בכיתה, דרכי ההוראה, האינטראקציה בין המורה לתלמידיו ובין התלמידים, אופן השימוש בחומרי הלימוד ועוד. במחקר הנוכחי בחרתי לנתח את השיח הכיתתי מנקודת מבט מערכתית. הרציונל לניתוח השיח בכיתה נשען על שתי הנחות יסוד: הראשונה מתכתבת עם הגישה הסוציו-תרבותית הגורסת כי השפה, במובן הרחב שלה, היא מערכת המספקת משאבים ליצירת משמעות (Lemke, 1990). לפי הנחה זו, השפה מהווה משאב והשימוש בשפה מייצג את הבחירות של הפרט, באופן מודע ולא מודע, מבחינת התוכן, הקשר בין-אישי וארגון השפה לטקסט (Halliday, 1978). ההנחה השנייה רואה בשיח המתהווה בכיתה שיקוף של תהליכי החשיבה של המורה ותלמידיו (Sfard, 2008).

ככדי ללמוד על השיח בכיתה, הצטרפתי כצופה ל-22 שיעורים בנושא מערכת ההובלה בכיתה זו, של שתי מורות בעלות מאפיינים שונים מבחינת הגיל, הותק והרקע האקדמי (טבלה 6, עמוד 46). כל השיעורים המוצגים בעבודה זו, שוכתבו באופן מלא ומפורט על סמך הקלטות ויומן השדה שנכתב במהלך השיעורים. במסגרת המחקר נותחו שישה שיעורים. ארבעה שיעורים (שני שיעורים לכל מורה) המייצגים נקודות זמן שונות בתהליך ההוראה-למידה (התחלת התהליך- שיעור 1 וסוף התהליך- שיעור 10), ושני שיעורים (שיעור אחד לכל מורה) המייצג שימוש בפעילות מדגם ההוראה (שיעור 5 ושיעור 9).

היות ויש יסוד להניח שלתוכן השיעור ולא רק לנקודת הזמן ישנה השפעה על השיח המערכתי, חשוב לציין שבשיעור הראשון של שתי המורות היה עיסוק בתוכן דומה- הגדרת מערכת וחשיבות מערכת ההובלה ליצורים רב תאיים בכלל ולגוף האדם בפרט. מתוך השיעורים (שיעור כפול) נבחר קטע שיח (באורך דומה- 100 תורי דיבור בקירוב) בו שתי המורות עוסקות בתת נושא דומה- חשיבות מערכת ההובלה ליצורים רב תאיים. השיעור העשירי, של עמליה עוסק בנושא כלי דם בגוף האדם והשיעור של המורה גל עוסק בכלי דם ומבנה ותפקוד הלב. קטע השיח, אשר נבחר לייצג את השיעורים דן במבנה ותפקוד כלי דם בגוף האדם.

השיקול בבחירת השיעור הנוסף היה- בחירת שיעור הכולל קטע שיח העוסק באופן רצוף בפעילות מדגם ההוראה, אורכו דומה לשיעורים האחרים, כלומר כ-100 תורי דיבור ומעורבות המורה והתלמידים בשיעור דומה לארבעת השיעורים האחרים (כלומר יחס של 1:1 בקירוב). בהקלטות השיעורים לא נמצאו שני קטעי שיח מסוג זה העוסקים באותו הנושא, על כן, קטע אחד (מתוך שיעור 5 של המורה עמליה) עוסק בחשיבות מערכת ההובלה והקטע השני (מתוך שיעור 9 של המורה טל) עוסק בכלי דם בגוף האדם. קטעי השיח חולקו לתורי דיבור בהתאם לדובר ולתוכן, כלומר כל תור מייצג דובר אחד. במקרים בהם קטע דיבור של דובר אחד (על פי רוב המורה) עסק במספר נושאים שונים, אותו קטע חולק למספר תורי דיבור (בהתאם לתוכן). מכלל הרבדים של השיח הכיתתי בחרתי להתמקד בתוכן השיח הביולוגי מנקודת מבט מערכתית. על מנת לזהות דפוסים אופייניים, קטעי שיח כיתתי תורגמו לייצוג המתאר את "זרימת תבנית השיח" (flow of talk)

(pattern) בדומה לייצוג המופיע במאמרם של Viiri & Saari (2006). לצורך כך, נעשה מיון תורי הדיבור של המורים והתלמידים לקטגוריות המבוססות על מודל BE-STH המתואר בפרק התוצאות (בהתאם למחווון המוצג בפרק התוצאות, טבלה 17 בעמוד 76). כל תור דיבור סווג בהתאם לשלב בפיתוח החשיבה המערכתית, כלומר קיבל ערך בין 1-8 (כפי שמוצג בטבלה 17 בעמוד 76). תורי דיבור בהם אין התייחסות לחשיבה מערכתית קיבלו ציון 0.

1.4 ראיון

במחקר הנוכחי נעשה שימוש בראיון מאזכר ובראיון חצי מובנה (השאלות מצורפות בנספח 4). ראיון מאזכר אינו שיטה נפרדת אלא אמצעי להעשיר את איסוף הנתונים (Shkedi, 2003). ראיונות מסוג זה שימשו להבהרה של מפות המושגים וממצאי Repertory Grid. במקרים בהם היו נקודות לא ברורות במפות המושגים ושאלוני Repertory Grid של המורות, הן התבקשו לתאר בעל פה ולהבהיר. ראיון חצי מובנה הינו ראיון שהמבנה שלו ורצף הנושאים והשאלות ידועים מראש ומוגדרים בפרוטוקול הריאיון. יחד עם זאת, למראיין יש גמישות רבה והוא יכול לשאול שאלות נוספות שנובעות מתשובות המראיין ולבקש הבהרות ודוגמאות, על מנת לעמוד בבהירות רבה יותר על עמדותיו של המראיין (Shkedi, 2003). תכליתם של ראיונות חצי מובנים היא להוסיף רבדים חדשים לממצאים העולים מכלי המחקר האחרים וכן להגביר את מידת תקפות מסקנות המחקר. לצורך הריאיון (אשר ערך בין חצי שעה לשעה) נפגשתי עם כל אחת מהמורות מחוץ לבית הספר, לקראת סוף תהליך ההוראה. הראיונות הוקלטו במלואם. שאלות אשר הוצגו בפני המורים בראיון חצי מובנה מופיעות בנספחים.

2. משתני המחקר

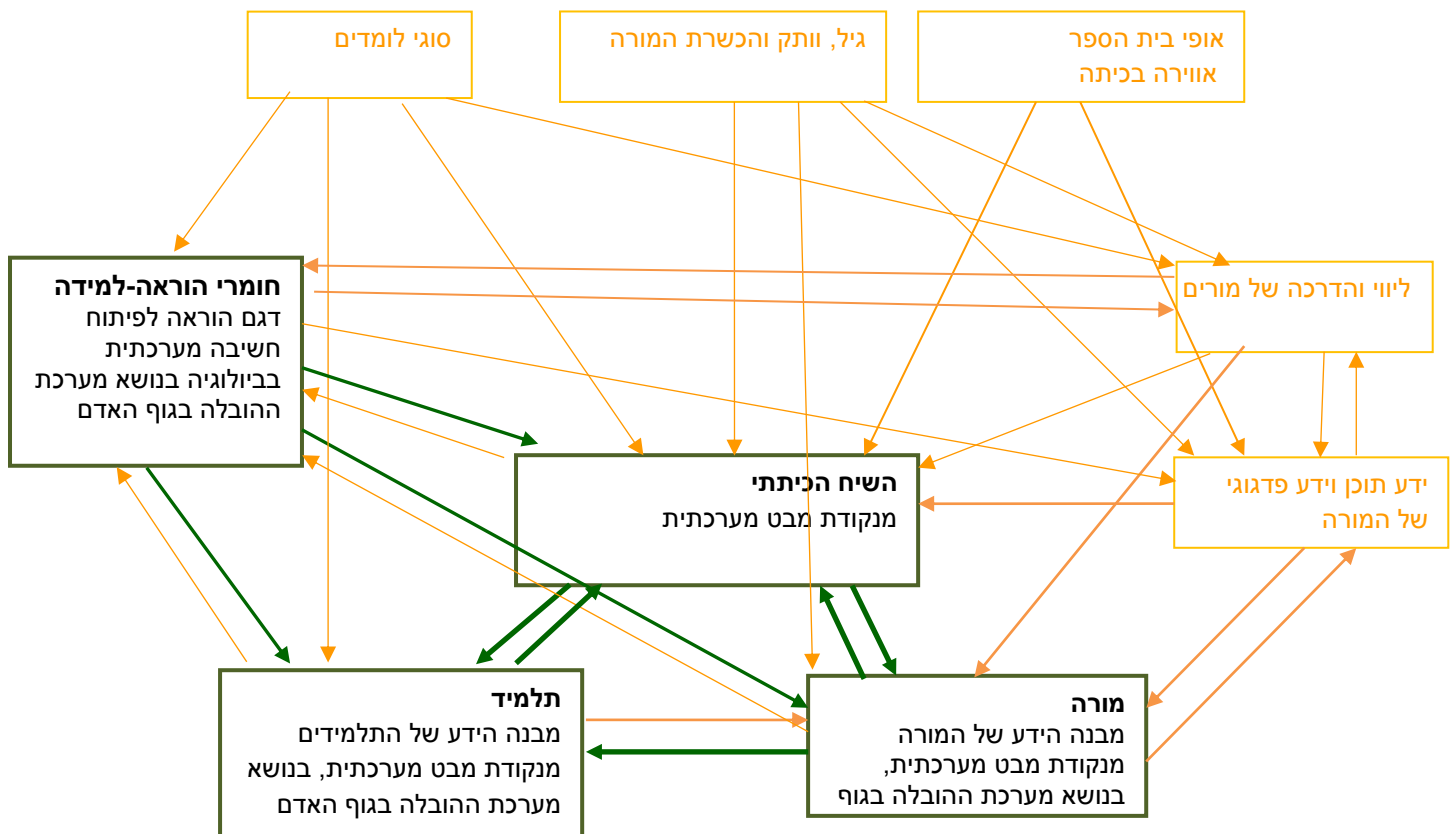
במחקר זה התייחסתי אל הכיתה כמערכת מורכבת, הכוללת משתנים מרובים ומארג סבוך של יחסי גומלין. לצורך מיקוד המחקר נקבעו גבולות (מלאכותיים) סביב מספר משתנים שהוגדרו מראש. אמנם תיחום זה הכרחי לצורך התעמקות בשאלות המחקר אך חשוב לציין שהוא גם מהווה מגבלה, היות ועצם הצבת הגבולות והשמטת חלק מהרכיבים ויחסי הגומלין המתקיימים במערכת פוגעים בהבנה המלאה של תהליכי ההוראה והלמידה בכיתה.

שאלות המחקר מכוונות למשתני המחקר הבאים: מורה, תלמידים, שיח כיתתי, חומרי הוראה-למידה, ושואפות לבאר את יחסי הגומלין ביניהם. היות ומדובר במערכת מורכבת, כל אחד מהמשתנים מהווה מערכת בפני עצמה. בעבודה הנוכחית בחרתי להתמקד בהיבט אחד של כל אחד מהמשתנים.

ההיבטים בהם בחרתי להתמקד: **(1) התלמיד והמורה** - מכלל הגורמים המאפיינים תלמידים ומורים בכיתה בחרתי לאפיין את מבנה הידע שלהם בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם, מנקודת מבט מערכתית. הנחת המחקר הנוכחי היא שהמורים הם משתנה משפיע על התלמידים (משתנה מושפע). **(2) השיח הכיתתי** - השיח הכיתתי כולל רבדים מרובים, לצורך המחקר בחרתי להתמקד בהיבט צר של השיח, הרלוונטי לשאלת המחקר - תוכן ומבנה השיח מנקודת מבט מערכתית. הנחת המחקר הנוכחי היא שהשיח הכיתתי הוא משתנה מתווך בין התלמידים, המורים וחומרי ההוראה-למידה. **(3) חומרי הוראה-למידה** - מכלל הגורמים

המעצבים את הסביבה הפיזית של הכיתה בחרתי לבחון את השפעת חומרי ההוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית אשר נבנו במסגרת פרויקט מטמו"ן חדש. הנחת היסוד במחקר הנוכחי היא שחומרי ההוראה למידה מהווים משתנה משפיע על התלמידים והמורים ומשתנה מתערב ומתווך בין התלמידים, המורים והשיח הכיתתי.

בבחירת המדגם והדיון התייחסתי לגורמים נוספים (אך לא ניתחתי אותם במחקר). כלל המשתנים ומארג ההקשרים הסבוך ביניהם מוצגים באיור 2. כפי שניתן לראות באיור, כל אחד מהמשתנים יכול להיות משתנה תלוי או בלתי תלוי, משתנה מתערב או מתווך, כתלות בנקודת המבט ובשאלות המחקר.



איור 2. הכיתה כמערכת- כלל המשתנים ומארג ההקשרים ביניהם

החצים בתרשים מצביעים על כיווני השפעה, כל חץ יוצא ממשתנה בלתי תלוי ומצביע על המשתנה התלוי (ההתייחסות למשתנה תלוי ובלתי תלוי, רלוונטית לזוג המשתנים הנתון). הקשרים וכיווני השפעה מבוססים על הנחות מוקדמות בלבד. בירוק מסומנים משתנים וחצים, המייצגים כיווני השפעה, אותם בחנתי במחקר. בכתום מסומנים משתנים וחצים, המייצגים כיווני השפעה צפויים, אותם לא בדקתי במחקר הנוכחי, אך התייחסתי אליהם בבחירת המדגם ובדיון.

3. אוכלוסיית המחקר

אוכלוסיית המחקר הנה מורים ותלמידים המלמדים ולומדים בכיתה ז', אשר לקחו חלק ביישום מהדורת הניסוי של חומרי למידה והוראה חדשים במדעים לתלמידי מו"ט חט"ב, בנושא מערכות הובלה ביצורים חיים. חומרי הלימוד וההוראה פותחו במסגרת תוכנית מטמו"ן חדש, במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן

למדע, בהלימה לתוכנית הלימודים החדשה במדע וטכנולוגיה לחטיבת הביניים (אגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים, 2011). אוכלוסיית המדגם במחקר מתוארת בטבלאות 3-4.

3.1 תלמידים

בסה"כ השתתפו במחקר 163 תלמידי כיתות ז' משמונה כיתות, בחמישה בתי ספר שונים (טבלה 3). מפות המושגים ניתנו ל- 163 תלמידים לפני שלמדו את נושא מערכת ההובלה באדם בכיתה ז', זאת במטרה לאפיין את הידע הקודם איתו מגיעים התלמידים ללמוד נושא זה.

88 מתוך 163 תלמידים קיבלו משימה לבנות מפת מושגים גם בסוף תהליך הלמידה. השוואה בין שתי מפות המושגים (pre ו-post) מזווגות מאפשרת לאפיין את השינוי במבנה הידע של התלמידים בעקבות הלמידה.

טבלה 3. התפלגות אוכלוסיית המדגם במחקר- תלמידים

קוד בית הספר	מספר כיתות	מספר תלמידים pre	מספר תלמידים *pre+post	אופי בית הספר/כיתה
T	2	41	28	כיתות מדעים. בית הספר ממוקם באזור עם אוכלוסייה בעלת מעמד סוציו-אקונומי בינוני.
A	2	45	42	כיתות מצוינות, בית הספר ממוקם באזור עם אוכלוסייה בעלת מעמד סוציו-אקונומי בינוני-גבוה.
R	2	40	18 (כיתה 1)	כיתות מדעים. בית הספר ממוקם באזור עם אוכלוסייה בעלת מעמד סוציו-אקונומי בינוני.
K	1	17		בבית ספר זה אין חלוקה לכיתות מדעים וכיתות עיוניות. בית הספר ממוקם באזור עם אוכלוסייה בעלת מעמד סוציו-אקונומי בינוני-גבוה.
L	1	20		תלמידי כיתה ז', כיתה מדעית. בית ספר ממוקם באזור עם אוכלוסייה בעלת מעמד סוציו-אקונומי בינוני.
סה"כ	8 כיתות	163 תלמידים (163 מפות)	88 תלמידים (176 מפות)	

*לצורך ניתוח השינוי במבנה הידע נעשו מבחנים סטטיסטיים מזווגים, על כן מספר התלמידים המוצג בחלק זה בטבלה נמוך ממספר התלמידים הכולל בכל אחת מהכיתות (זאת כיוון שחלק מהתלמידים לא נוכחו בזמן העברת שאלוני ה-pre או שאלוני ה-post).

3.2 מורים

שלושה מורים משלושה בתי ספר שונים לימדו את נושא מערכת ההובלה בגוף האדם באמצעות חומרי ההוראה-למידה החדשים. שלושת המורים בעלי מאפיינים שונים מבחינת וותק, גיל ורקע אקדמי (כפי שמפורט בטבלה 4).

טבלה 4. תיאור מאפייני המורים שהשתתפו במחקר

קוד בית הספר	שם המורה	גיל	וותק	רקע אקדמי	מאפיינים נוספים
T	*טל	32	7	תואר ראשון- בגיאולוגיה במגמה לגיאולוגיה ובילוגיה, תואר שני- חינוך	מלמדת ביולוגיה בחטיבה עליונה בכיתות י' (אינה מגישה לבגרות בביולוגיה) מלמדת מדעים בחט"ב
A	*עמליה	55	22	תואר ראשון- ביולוגיה תואר שני- הוראת המדעים	מלמדת ביולוגיה בחטיבה עליונה (הגישה לבגרות במשך שנים) מלמדת מדעים בחט"ב
R	רינה	47	20	תואר ראשון- הוראת ביולוגיה וכימיה תואר שני- הוראת המדעים בתחום הכימיה	מלמדת כימיה בחטיבה עליונה (מגישה לבגרות, כימיה זה תחום ההוראה המרכזי שלה). מלמדת מדעים בחט"ב

*טל ועמליה הן שתי המורות אשר עמדו במרכזו של חקר המקרה (שאלות מחקר 4 ו-5)

4. תקפות פנימית של המחקר

לשם הגברת התקפות הפנימית (Internal validity), נעשה שימוש בכלי מחקר שונים אשר מאירים את התופעה הנחקרת מנקודת מבט שונות. טריאנגולציה בין כלי מחקר שונים מצמצמת את הסיכוי שהנתונים והקשר ביניהם התקבלו באופן מקרי וכן מצמצמת את הסכנה בהטיה של המסקנות כתוצאה מפרשנות מוטעית של החוקר.

המבחנים הסטטיסטיים בהם נעשה שימוש לצורך ניתוח הנתונים הם:

Matched-paired t-test, One-way independent measures ANOVA, One-way repeated measures ANOVA, Two-factor with repeated measure ANOVA, Duncan's Multiple Range Test.

במבחנים אשר בוחנים פער בין ממצאי pre ל-post נקבע שהמובהקות נקבעת לפי ערך- p (המצביע על רמת המובהקות) קטן מ-0.05.

החלק האיכותני במחקר- ניתוח איכותני נשען על היכולת של החוקר לשקף את המציאות באופן האמין ביותר, ומכאן חולשתו. על מנת להימנע מהטיות ודעות מוקדמות, נתונים מהמחקר הוצגו בפני עמיתים ועברו תיקוף עמיתים (Peer validation).

-קונטקסט למחקר-

1. עיצוב מודל משולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה

בספרות העוסקת בחשיבה מערכתית בהוראת המדעים קיימות שלוש מסגרות תיאורטיות מובילות לאפיון של חשיבה מערכתית (מתוארים בהרחבה ברקע הספרותי): (1) מודל- STH (Orion, 2005), המציע שלבים היררכיים בפיתוח הדרגתי של מיומנויות חשיבה מערכתית. מבין שמונת השלבים בחרתי להתמקד בארבעת השלבים הראשונים. שלבים אלו מתאימים לכל מערכת ביולוגית ותואמים את רמת החשיבה המערכתית הנדרשת בחט"ב. (2) תיאוריית- SBF (Hmelo-Silver et al., 2007), המציעה לערוך הבחנה בין: מבנה, תפקיד ומנגנון המתקיימים במערכת, לצורך ניתוח של מערכת נתונה. (3) תיאוריה המציגה מרכיבי חשיבה מערכתית בביולוגיה בהקשר להוראת נושא התא החי (Verhoeff et al., 2008), המחזקת את החשיבות של הבחנה בין רמות ארגון שונות במערכת ביולוגית וקישור ביניהן. כל אחת מהמסגרות מאירה היבטים שונים של חשיבה מערכתית (כפי שתואר ברקע התיאורטי). לצורך המחקר נבנה מודל הממזג בין שלושת המסגרות, ליצירת מודל משולב אחד של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה בחטיבת ביניים (טבלה 5). בשלב הראשון השילוב בין המסגרות התיאורטיות הקיימות ועיצוב המודל החדש נעשה באופן תיאורטי תוך ארגון מיומנויות החשיבה המערכתית באופן היררכי, על פי רמת המורכבות שלהן (טבלה 5). המיומנות הפשוטה ביותר נבחרה להיות "היכולת לזהות רכיבים במערכת ברמת ארגון אחת" (מיומנות הדורשת יכולות קוגניטיביות בסיסיות ביותר) ואילו "היכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג עשיר של יחסי גומלין" נבחרה להיות המיומנות המורכבת ביותר (הדורשת יכולות קוגניטיביות גבוהות יותר). מודל זה פורסם במאמר (Raved & Yarden, 2014) אשר תיאר את פיתוח דגם ההוראה והשפעתו על התלמידים. בשלב מתקדם במחקר נוצר הצורך לבחון את ההיררכיה לאור הממצאים בשטח, כפי שיתואר בפרק התוצאות (עמודים 48-56).

טבלה 5. מודל משולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה - אינטגרציה ואינטרפרטציה של 3 מסגרות תיאורטיות שונות.

רמה גבוהה	רמה בסיסית	שלבים בפיתוח חשיבה מערכתית
רמות ארגון שונות (בעקבות- Verhoeff et al., 2008)	רמת ארגון אחת (בעקבות- Verhoeff et al., 2008)	1. היכולת לזהות רכיבים במערכת (בעקבות- (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005)
לכידות אנכית (בעקבות- Verhoeff et al., 2008)	אותה רמת ארגון (בעקבות- Verhoeff et al., 2008)	2. היכולת לזהות קשרי מבנה בין רכיבי המערכת (בעקבות- Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Hmelo-Silver, 2007)
רמות ארגון שונות (בעקבות- Verhoeff et al., 2008)	אותה רמת ארגון (בעקבות- Verhoeff et al., 2008)	3. היכולת לזהות קשרי תהליך בין רכיבי המערכת (בעקבות- Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Hmelo-Silver, 2007)
מארג עשיר (בעקבות- Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005)	מארג דל (בעקבות- Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005)	4. היכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג של יחסי גומלין (בעקבות- Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005)

1.1 עיצוב חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית

עם פרסום תכנית לימודים חדשה במדע וטכנולוגיה לתלמידי חט"ב (משרד החינוך המנהל למדע וטכנולוגיה, 2014), עלה הצורך בפיתוח חומרי למידה והוראה (ספרי לימוד מלווים במדריכים למורה) התואמים את התוכנית החדשה. המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע לקחה על עצמה לפתח חומרים מתאימים עבור תלמידים ומורים, במסגרת תכנית מטמו"ן חדש. בין יתר הנושאים, נכתבה יחידת לימוד (הכוללת 5 פרקים) בנושא מערכות הובלה בעולם החי לתלמידי כיתות ז' (ראב"ד, ביאליק, השכל-איטח, & ירדן, 2013). היקף יחידת הלימוד הוא כ-30 שעות לימוד. במסגרת המחקר נכתבו שני פרקים (שני הפרקים מצורפים בנספח 5):

(1) מערכות הובלה בעולם החי. פרק 6 בספר הלימוד, עמודים 121-132 (ראב"ד וחוב', 2013). פרק זה משמש מבוא ומזמן דיון ראשוני בנושא מערכות הובלה ביצורים רב-תאיים. בפרק משולבות פעילויות המהוות בסיס לפיתוח מיומנויות חשיבה מערכתית בביולוגיה. הפרק דן במערכות הובלה בעולם החי ובחשיבות של מערכת ההובלה ביצורים רב-תאיים, בדגש על גוף האדם כמערכת על. **(2) מערכת ההובלה בגוף האדם.** פרק 7 בספר הלימוד, עמודים 133-179 (ראב"ד וחוב', 2013). פרק זה עוסק במערכת ההובלה בגוף האדם, בדגש על הרכיבים, התהליכים ומארג הקשרים בין הרכיבים והתהליכים במערכת. תוך התייחסות לכל אחד מרכיבי המערכת: רקמת הדם, תאי הדם, כלי הדם והלב כאל מערכת בפני עצמה. פיתוח חומרי ההוראה-למידה נשען על העקרונות המנחים הבאים בחשיבה מערכתית:

- הקניית מיומנויות חשיבה מערכתית באופן היררכי והדרגתי. בעקבות- System Thinking Hierarchical model (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005).
 - התייחסות מפורשת לרמות ארגון שונות ודגש על הקשר בין רמות הארגון. בעקבות- Systems thinking competence for cell biology education (Verhoeff et al., 2008).
 - הבחנה מפורשת בין מבנה, תפקיד ותפקוד בדגש על ייצוג קונספטואלי מבוסס תפקוד. בעקבות- Structure-Behavior-Function theory (Liu & Hmelo-Silver, 2009).
- עקרונות אלו מוצגים באופן מפורש במדריך למורה (המדריך מצורף בנספח 6) ובפעילויות השונות בספר הלימוד. ביחידת הלימוד שולב דגם הוראה לפיתוח הדרגתי של מיומנויות חשיבה מערכתית בביולוגיה (דגם ההוראה מופיע בנספח 7).

1.2 בניית דגם הוראה לפיתוח הדרגתי של חשיבה מערכתית בביולוגיה

דגם ההוראה שולב כחלק אינטגרלי בחומרי הלימוד ומציע רצף פעילויות לפיתוח הדרגתי של מיומנויות חשיבה מערכתית (ראו טבלה 6). רצף הפעילויות בדגם ההוראה מבוסס על המודל המשולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה בחטיבת ביניים (המתואר בטבלה 5). על פי מודל זה, תהליך הבניית החשיבה המערכתית כולל מספר שלבים היררכיים עוקבים, המיומנויות הקוגניטיביות המתפתחות בכל שלב מהוות

בסיס להתפתחות מיומנויות גבוהות יותר של חשיבה מערכתית. בטבלה 6 מוצג רצף הפעילויות והשלבים בפיתוח חשיבה מערכתית.

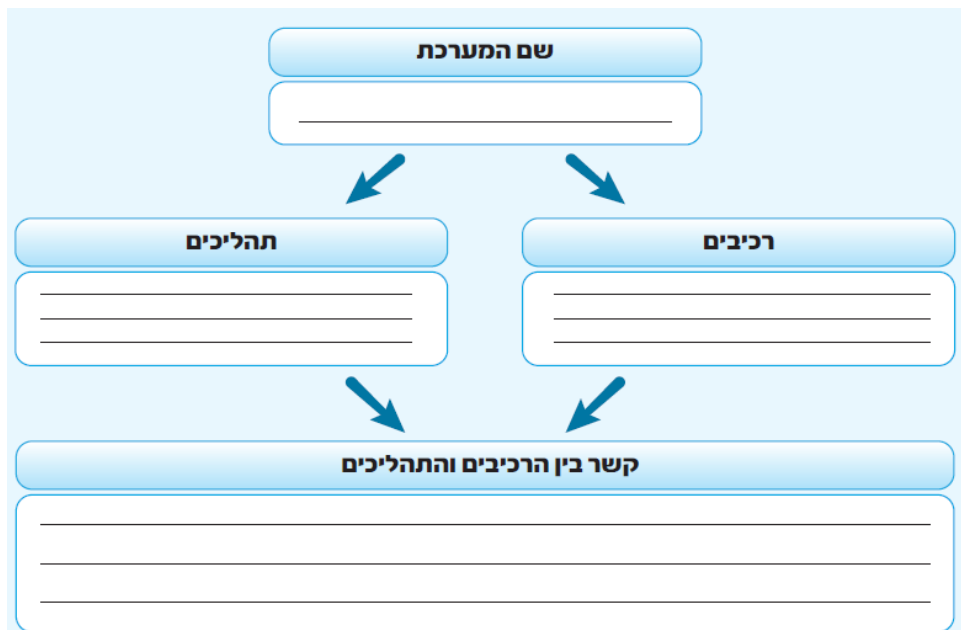
טבלה 6. רצף הפעילויות בדגם ההוראה

מספר פעילות בדגם ההוראה	עמוד בספר הלימוד	תיאור הפעילות	מטרת הפעילות	שלב בפיתוח מיומנות חשיבה מערכתית	הקנייה/ישום
1	מופיעה באתר המלווה את הספר	• בניית מפת מושגים לבחינת ידע מוקדם	חשיפת ידע מוקדם	-----	-----
2	122-123	• היכרות עם מערכת מחיי היום יום (גל אנושי כמערכת) • תיאור המערכת באמצעות תרשים	הכרות עם הגישה המערכתית שימוש בתרשים לארגון ידע	• היכולת לזהות רכיבים במערכת	הקנייה
3	124	• תכנון מערכת הובלה	הנעה ללמידה הכרות עם הגישה המערכתית שימוש בתרשים לארגון ידע	• היכולת לזהות רכיבים במערכת	יישום
5,7,10	146,161,176	• ניסוח משפטים המתארים קשרים בין רכיבים במערכת בנושאים שונים (תא דם, כלי דם, לב)	תיאור קשרים בין רכיבי המערכת	• היכולת לתאר קשרים במערכת בין רכיבי המערכת • פעילויות 4,6 (לכידות אופקית) • פעילויות 8,10 (לכידות אנכית)	הקנייה
4,6,8	145,159,174	• ארגון הרכיבים, התהליכים והקשר ביניהם בתרשים בנושאים השונים (תא דם, כלי דם, לב)	ארגון ותיאור הרכיבים, התהליכים והקשר ביניהם במערכות ביולוגיות שונות, ברמות ארגון שונות (תא דם, כלי דם, לב)	• היכולת לזהות רכיבים במערכת • היכולת לתאר קשרים בין רכיבי המערכת - פעילויות 5 (לכידות אופקית) - פעילויות 7,9 (לכידות אופקית ואנכית)	יישום
9	177	• בניית מפת מושגים בנושא הלב בגוף האדם	ארגון רכיבים במארג קשרים	• היכולת לארגון רכיבים במארג של יחסי גומלין	הקנייה
11,12	179	• תיאור מערכת ההובלה בגוף האדם באמצעות תרשים מסכם • בניית מפת מושגים מסכמת הערכה עצמית של ידע	פעילות המסכמת את יחידת הלימוד ארגון ותיאור הרכיבים, התהליכים והקשר ביניהם במערכת הערכה עצמית של ידע	• היכולת לזהות רכיבים במערכת • היכולת לתאר קשרים בין רכיבי המערכת • היכולת לארגון רכיבים במערכת במארג שליחסי גומלין	יישום

חלק מרכזי בדגם ההוראה מהוות פעילויות לארגון וסיכום ידע. פעילויות אלו מזמנות את התלמיד לארגון את הידע שלו תוך שילוב הידע החדש בידע הקיים. באיור 3 מופיע תרשים לארגון וסיכום ידע המלווה את יחידת הלימוד ומשולב כחלק אינטגרלי בדגם ההוראה. תרשים זה מזמן ארגון ידע וניתוח מערכת נתונה תוך הבחנה

מפורשת בין רכיבים, תהליכים והקשר ביניהם. בשלב ראשון התלמידים נדרשים לערוך רשימה של הרכיבים והתהליכים המתקיימים במערכת, ברמות הארגון השונות, ולאחר מכן לקשר בין המונחים הרשומים תחת הכותרת "רכיבים" לאלו הרשומים תחת הכותרת "תהליכים".

תרשים לארגון ידע (המופיע באיור 3) מוצג בפני התלמידים בספר הלימוד באופן הדרגתי תוך שימוש בפיגומים, כך למשל כאשר התרשים מופיע לראשונה הוא מלא בחלקו (עמוד 123, ראב"ד וחוב', 2013). לצורך השלמת התרשים, התלמידים נדרשים להתייחס אל רכיבי מערכת ההובלה, למשל תא דם אדום, כלי דם או לב, כאל מערכת בפני עצמה הכוללת רכיבים ותהליכים ומקיימת קשרים בין הרכיבים והתהליכים הללו. בהתאם להתקדמות בתהליך הלמידה, התלמידים נדרשים להתייחס באופן מפורש לרמות הארגון השונות ולקשר בין רמות הארגון.



איור 3. תרשים לארגון וסיכום ידע המלווה את יחידת הלימוד

את ספר הלימוד ואת דגם ההוראה מלווה מדריך למורה המציג את הרציונל, הצעות דידקטיות רלוונטיות והרחבות שונות (בתחום ידע תוכן וידע תוכן פדגוגי).

כבר בשנת 2011 יצאה מהדורת ניסוי ראשונה ובתי הספר אשר הביעו עניין בתוכנית התנסו בחומרי הלימוד, המורים והתלמידים שהשתתפו בניסוי נתנו משוב. לאור התצפיות בשיעורים ומשוב מהמורים ומהתלמידים, נערכו שינויים בספר הלימוד, בדגם ההוראה ובמדריך למורה כך שיתנו מענה לצרכי המורים והתלמידים בשטח. בהמשך, לאורך השנים 2015-2016 ספרי הלימוד עברו למתכונת דיגיטאלית, תוך ביצוע התאמות נדרשות. ההתאמות כללו המרת משימות "דף ועיפרון" אשר הופיעו בספר המודפס לפעילויות אינטראקטיביות באמצעות מחולל הלמידה "Articulate Storyline" המוטמע בסביבת מודל. פיתוח חומרי ההוראה והלמידה, שילוב דגם ההוראה וכתובת המדריך למורה, מהווים את הקונטקסט למחקר, ביסוס המודל התיאורטי לאור הממצאים מהשטח ובחינת יישום החומרים בכיתות הוא החלק האפליקטיבי במחקר (החלק האפליקטיבי מתואר בפרק התוצאות).

-תוצאות-

פרק התוצאות מחולק לשלושה חלקים: **חלק א'** - עיצוב מודל משולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה באמצעות אפיון החשיבה המערכתית של תלמידים. **חלק ב'** - בחינת השפעת חומרי הוראה-למידה חדשים על החשיבה המערכתית של תלמידים ומורים. **חלק ג'** - תיאור חקר מקרה - הוראה באמצעות חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית.

חלק א' - עיצוב מודל משולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה

שאלת מחקר 1 - באיזה אופן מאפייני החשיבה המערכתית באים לידי ביטוי במבנה הידע של תלמידי כיתה ז'?

בחלק זה מוצגים ממצאים שעלו מניתוח מפות המושגים של תלמידי כיתות ז' בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם (N=163). נושא זה מהווה חלק מתוכנית הלימודים בבית הספר היסודי כך שהידע של התלמידים מתבסס על הנלמד בעבר וכן על ידע כללי וניסיונם מחיי היום יום. תהליך עיצוב המודל ההיררכי של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה העלה את הצורך לבחון בשטח את מאפייני החשיבה המערכתית, המופיעים בספרות. כלומר לתת מענה לשאלת המחקר הראשונה באיזה אופן מאפייני החשיבה המערכתית באים לידי ביטוי במבנה הידע של תלמידי כיתה ז'? לצורך מתן מענה לשאלת מחקר זו בחרתי לבחון את מבנה הידע של התלמידים לפני תהליך הלמידה הפורמלי בכיתה ז', במטרה למנוע הטיה של הממצאים בהשפעת הדגשים שמצויים בחומרי ההוראה-למידה החדשים.

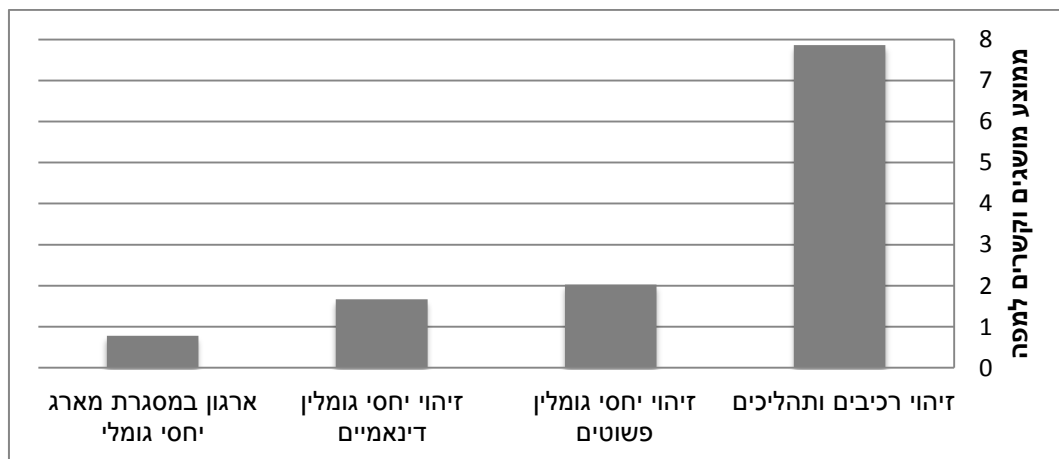
אפיון מבנה הידע של התלמידים מנקודת מבט מערכתית נעשה תוך שימוש בשלושה מודלים: שני מודלים המקובלים בספרות - (1) מודל החשיבה המערכתית ההיררכית - (STH) (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005), (2) מרכיבי חשיבה מערכתית בהוראת ביולוגיה תאית (Verhoeff et al., 2008) לבסוף נעשה שימוש במודל החדש (3) מודל משולב (תיאורטי) לאפיון חשיבה מערכתית בביולוגיה, אשר נבנה במסגרת המחקר.

לשם ניתוח המושגים והקשרים המופיעים במפות המושגים של התלמידים, ערכתי הבחנה בין מושגים וקשרים נכונים לאלו שאינם נכונים או לכאלו שאינם רלוונטיים, בהתאם לתכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה לחט"ב (משרד החינוך המזכירות הפדגוגית, 2014). הממצאים המופיעים בחלק זה מתייחסים אך ורק למושגים רלוונטיים (85% מכלל המושגים אותם רשמו התלמידים במפות המושגים) ולקשרים הנכונים (65% מכלל הקשרים אותם יצרו התלמידים במפות המושגים).

הצגת הממצאים לאור מודל החשיבה המערכתית ההיררכית (STH)

הצגת הממצאים לאור מודל STH (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005), הצריכה ניתוח של מפות התלמידים (N=163) תוך התייחסות לארבעת המיומנויות הבאות: (1) זיהוי רכיבים ותהליכים במערכת (מיומנות זו באה לידי ביטוי במספר ממוצע של המושגים במפות התלמידים) (2) זיהוי יחסי גומלין פשוטים

בין רכיבי המערכת (מיומנות זו התבטא במספר הממוצע של קשרי מבנה במפות התלמידים), (3) זיהוי יחסי גומלין דינאמיים בתוך המערכת (התבטאה במספר ממוצע של קשרי תהליך) ו- (4) יכולת ארגון הרכיבים התהליכיים במסגרת מארג של יחסי גומלין (חישוב היחס בין מספר ממוצע של מושגי צומת למספר הממוצע של מושגי קצה). הבחירה בארבעה שלבים מתוך השמונה מבוססת על ההנחה כי שלבים אלו תואמים את הדרישות בתכנית הלימודים בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם לכיתה ז' (משרד החינוך המזכירות הפדגוגית, 2014). ניתוח הממצאים (גרף 1) מצביע על מגמה התואמת את ההיררכיה המוצעת במודל ה-STH. כלומר, מיומנות זיהוי רכיבים ותהליכים במערכת (המספר הממוצע של המושגים במפות התלמידים) זכתה לערך הגבוה ביותר, מיומנות זיהוי יחסי גומלין פשוטים בין רכיבי המערכת (המספר הממוצע של קשרי מבנה) זכתה לערך נמוך יותר, אחריה זיהוי יחסי גומלין דינאמיים בתוך המערכת (המספר הממוצע של קשרי תהליך) ומיומנות ארגון הרכיבים והתהליכים במסגרת מארג של יחסי גומלין (היחס בין מספר ממוצע של מושגי צומת למספר הממוצע של מושגי קצה) זכתה לערך הנמוך ביותר. ההנחה הסמויה בניתוח זה היא שכלל שהמיומנות קשה יותר עבור התלמידים כך מספר המושגים/קשרים הממוצע בקטגוריה הרלוונטית צפוי להיות נמוך יותר.



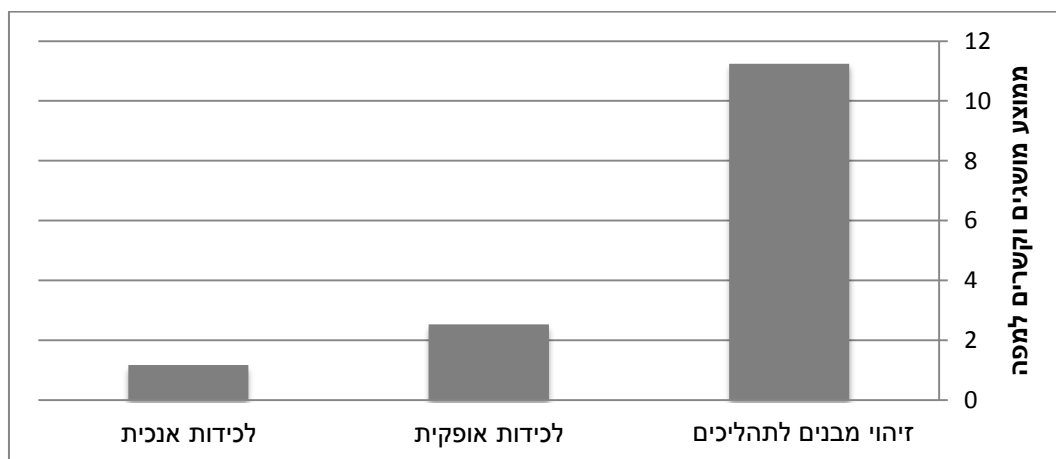
גרף 1: התפלגות המושגים והקשרים במפות מושגים של תלמידים בהתאם למודל החשיבה המערכתית ההיררכית (STH) (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005) (N=163).

הצגת הממצאים לאור מודל STH (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005) מלמד על הידע המצומצם של התלמידים ועל הקושי לזהות יחסי גומלין במערכת ולארגן את המושגים והקשרים במסגרת מארג יחסי גומלין.

הצגת הממצאים לאור מודל החשיבה מערכתית בהוראת ביולוגיה בהקשר לנושא התא החי

הצגת הממצאים לאור מודל החשיבה המערכתית בביולוגיה (Verhoeff et al., 2008), הצריכה ניתוח של מפות התלמידים (N=163) באמצעות שלושת המרכיבים הבאים: (1) זיהוי מבנים ותהליכים (מספר ממוצע של מושגים וקשרים במפות המושגים של התלמידים), (2) לכידות אופקית (מספר ממוצע של קשרים בין מושגים באותה רמת ארגון), (3) לכידות אנכית (מספר ממוצע של קשרים בין מושגים ברמות ארגון שונות). הממצאים המובאים בגרף 2. כפי שניתן לראות בגרף 2, הערך הגבוה ביותר מבין שלושת הקטגוריות

מתייחס להבחנה בין מבנים לתהליכים (מספר ממוצע של מושגים וקשרים במפות המושגים של התלמידים), הקטגוריה- לכידות אופקית (מספר ממוצע של קשרים בין מושגים באותה רמת ארגון) קיבלה ערך גבוה יותר ביחס לקטגוריה לכידות אנכית (מספר קשרים בין מושגים ברמות ארגון שונות). ממצאים אלו מרמזים על כך שהתלמידים מגלים קושי רב יותר בייצוג של לכידות אנכית בין מרכיבי המערכת ביחס לייצוג לכידות אופקית בין המרכיבים. כלומר, התלמידים מתקשים יותר לזהות ולייצג קשרים בין מושגים ברמות ארגון שונות ביחס לקשרים בין מושגים באותה רמת ארגון. חשוב לסייג ולומר שמפאת הידע המצומצם של התלמידים הערכים של שתי הקטגוריות (לכידות אופקית ולכידות אנכית) נמוכים מאוד.



גרף 2: התפלגות המושגים והקשרים במפות מושגים של תלמידים בהתאם למרכיבי חשיבה מערכתית בביולוגיה בהקשר להוראת התא החי (Verhoeff et al., 2008), (N=163).

השימוש במודל STH מאפשר לבחון את יכולת התלמידים לזהות מושגים וקשרים אך לא נותן מידע על רמות הארגון של המושגים ושל הקשרים אותם הציגו התלמידים. השימוש במודל החשיבה המערכתית בהוראת ביולוגיה בהקשר לנושא התא החי, מאפשר לבחון את יכולת התלמידים להבחין בלכידות אופקית ולכידות אנכית המתקיימת במערכת ביולוגית, אך לא נותנת מידע על סוגי הקשרים (קשרי מבנה/קשרי תהליך) ועל ארגונם במסגרת מארג יחסי גומלין. ממצאים אלו מצביעים על החזקות של כל אחת משני המודלים הקיימים ומבססים את הצורך בבניית מודל משולב של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה, שיחבר ביניהם.

הצגת הממצאים לאור מודל משולב (תיאורטי) של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה

המודל המשולב (טבלה 5 עמוד 44) מציע דרך תיאורטית למיזוג של שתי תיאוריות שתוארו לעיל (Ben-Hmelo & SBF, 2008, Verhoeff et al., 2005, Zvi Assaraf & Orion) וכן עם מודל הוראה-למידה (Silver et al., 2007). המיזוג נועד לשם יצירת מודל אחד שמאפשר לבחון ולהציג את כל ההיבטים של החשיבה המערכתית. לשם ביסוס המודל החדש מפות המושגים של התלמידים (N=163) נותחו לאור שמונה מיומנויות המתוארות במודל (טבלה 5 עמוד 44): (א.1) היכולת לזהות רכיבים במערכת ברמת ארגון אחת, (ב.1) היכולת לזהות רכיבים במערכת ברמות ארגון שונות, (א.2) היכולת לזהות קשרי מבנה בין רכיבים

באותה רמת ארגון, (ב.2) היכולת לזהות קשרי מבנה בין רכיבים ברמות ארגון שונות, (א.3) היכולת לזהות קשרי תהליך בין רכיבים באותה רמת ארגון, (ב.3) היכולת לזהות קשרי תהליך בין רכיבים ברמות ארגון שונות, (א.4) היכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג עשיר של יחסי גומלין, (ב.4) היכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג עשיר של יחסי גומלין.

בטבלה 7 מוצגות הקטגוריות ששימשו לניתוח מפות המושגים והערכים (ערכי ממוצע למפה) שהתקבלו מניתוח 163 מפות מושגים של תלמידים, לפני תהליך הלמידה. כפי שניתן לראות, הממצאים מצביעים על סדר היררכי בין הערכים, מה שתואם את ההיררכיה המוצעת במודל המשולב (טבלה 5, עמוד 44). הערך הגבוה ביותר הוא ממוצע המושגים ברמת מאקרו והנמוך ביותר הוא היחס בין ממוצע מספרי צומת לממוצע מושגי קצה. כלומר, ניתן לזהות היררכיה ברורה בין הערכים של: מספר ממוצע של מושגים ברמת מאקרו, מספר ממוצע של מושגים ברמת ארגון נמוכות יותר, ממוצע מספר הקשרים בין מושגים ברמת ארגון אחת, ממוצע מספר קשרי תהליך בין מושגים ברמות ארגון שונות וכן היחס בין מספר ממוצע של מושגי צומת לממוצע מושגי קצה במפות התלמידים. הסדר ההיררכי מתקיים בכל הקטגוריות פרט לשני ערכים: מספר ממוצע של קשרי מבנה בין רמות ארגון ומספר ממוצע של קשרי תהליך ברמת ארגון אחת (שלב: 2.2 ו-3.3. א בפיתוח חשיבה מערכתית, מסומנים בצהוב בטבלה 7). ערכים אלו מצביעים על מגמה הפוכה מבחינת הסדר ההיררכי ביניהם. כלומר, נראה שיש הצדקה לשנות את הסדר ההיררכי ולארגן מחדש את המודל המשולב התיאורטי של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה.

מה שמחזק מסקנה זו הם ממצאי מבחן Duncan's Multiple Range Test אשר בוחן דמיון ושוני מבחינה סטטיסטית בין קבוצות נתונים, במקרה זה נעשתה השוואה בין שש קטגוריות (1.א, 1.ב, 2.א, 2.ב, 3.א, 3.ב). עקב מגבלות המבחן הסטטיסטי אין אפשרות לערוך את המבחן עבור הערך המציג את היחס בין מספר מושגי צומת למספר מושגי קצה (קטגוריות 4.א ו-4.ב). תוצאות Duncan's Multiple Range Test מציגות ארבע קבוצות A-D (טבלה 7).

הממצאים מצביעים על דמיון בין שתי הקטגוריות: (א.2) היכולת לזהות קשרי מבנה באותה רמת ארגון ו-3.א) היכולת לזהות קשרי תהליך באותה רמת ארגון (קבוצה C) ובין שתי הקטגוריות: (ב.2) היכולת לזהות קשרי מבנה ברמות ארגון שונות ל-3.ב) היכולת לזהות קשרי תהליך ברמות ארגון שונות (קבוצה D).

השילוב בין: (1) ממצאים אשר עלו מניתוח הקשרים במפות המושגים אשר הצביעו על כך שמספר הממוצע של קשרי תהליך בין מושגים ברמת ארגון אחת (לכידות אופקית) גבוה ממספר הממוצע של קשרי מבנה בין מושגים ברמות ארגון שונות (לכידות אנכית), ו- (2) ממצאים אשר עלו מביצוע מבחן Duncan's Multiple Range Test, אשר הצביעו על דמיון בין שתי הקטגוריות: (ב.2) היכולת לזהות קשרי מבנה ברמות ארגון שונות ל-3.ב) היכולת לזהות קשרי תהליך ברמות ארגון שונות, מצביע על כך שהמעבר בין לכידות אופקית ללכידות אנכית היווה קושי גדול יותר עבור התלמידים שהשתתפו במחקר ביחס למעבר בין קשרי מבנה ולקשרי תהליך. מסקנה זו הובילה לצורך בשינוי ארגון המודל. בהתבסס על הממצאים הנ"ל, החלטתי לשנות את הסדר ההיררכי במודל ולהציע מודל מעודכן. המודל המעודכן- מודל היררכי של חשיבה מערכתית

בהוראת הביולוגיה - Systems Thinking Hierarchical, model for Biology Education (STH-BE) מוצג בטבלה 8. כפי שניתן לראות בהשוואה בין טבלה 7 לטבלה 8, השינוי המוצע בא לידי ביטוי בארגון מחודש של שלבים (2) ו-(3) בפיתוח חשיבה מערכתית. שינוי זה מחדד את ההיררכיה הקיימת בין לכידות אופקית (קשרי מבנה-רמה בסיסית וקשרי תהליך-רמה גבוהה) ללכידות אנכית (קשרי מבנה-רמה בסיסית וקשרי תהליך-רמה גבוהה). הצורך בשינוי מבנה המודל יכול להעיד על הייחוד הדיסציפלינארי של ביולוגיה.

שכן מעבר וקישור בין רמות ארגון מתואר בספרות כקושי מרכזי של התלמידים בהבנת תופעות ביולוגיות. (Hmelo et al., 2000; Lewis, Leach, & Wood-Robinson, 2000a; Marbach-Ad & Stavy, (2000; Songer & Mintzes, 1994; Verhoeff, 2003; Verhoeff, 2008).

טבלה 7. התפלגות מספר המושגים והקשרים לאור מודל משולב (תיאורטי) של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה (המודל מופיע בטבלה 5, עמוד 44).

שלבים בפיתוח חשיבה מערכתית	רמה בסיסית	רמה גבוהה
(1) היכולת לזהות רכיבים במערכת	(א.1) רמת ארגון אחת	(ב.1) רמות ארגון שונות
קטגוריות בניתוח מפות המושגים	ממוצע מספר המושגים ברמת מאקרו	ממוצע מספר המושגים ברמות מיקרו וסאב מיקרו
ממוצע Pr>F	*5.38 p<0.0036	*1.80 p<0.001
Duncan's Multiple Range	A	B
(2) היכולת לזהות קשרי מבנה בין רכיבי המערכת	(א.2) לכידות אופקית (אותה רמת ארגון)	(ב.2) לכידות אנכית (ברמות ארגון שונות)
קטגוריות בניתוח מפות המושגים	ממוצע מספר קשרי מבנה בין מושגים ברמת ארגון אחת	ממוצע מספר קשרי מבנה בין מושגים ברמות ארגון שונות
ממוצע Pr>F	1.30 p=0.153	*0.73 p=0.0300
Duncan's Multiple Range	C	D
(3) היכולת לזהות קשרי תהליך בין רכיבי המערכת	(א.3) לכידות אופקית (אותה רמת ארגון)	(ב.3) לכידות אנכית (ברמות ארגון שונות)
קטגוריות בניתוח מפות המושגים	ממוצע מספר קשרי תהליך בין מושגים ברמת ארגון אחת	ממוצע מספר קשרי תהליך בין מושגים ברמות ארגון שונות
ממוצע Pr>F	*1.23 p=0.0011	0.45 p=0.3179
Duncan's Multiple Range	C	D
(4) היכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג יחסי גומלין	(א.4) מארג דל	(ב.4) מארג עשיר
קטגוריות בניתוח מפות המושגים	יחס נמוך מ-1 בין ממוצע מספר מושגי צומת למושגי קצה	יחס גבוה מ-1 בין ממוצע מספר מושגי צומת למושגי קצה
יחס בין ממוצע מספר מושגי צומת לממוצע מושגי קצה	0.41	

מבחן סטטיסטי One-way repeated measures ANOVA, N=163*הבדל מובהק

בצהוב מסומנות הקטגוריות אשר קיבלו ערכי ממוצע שאינם תואמים את ההיררכיה המוצעת במודל

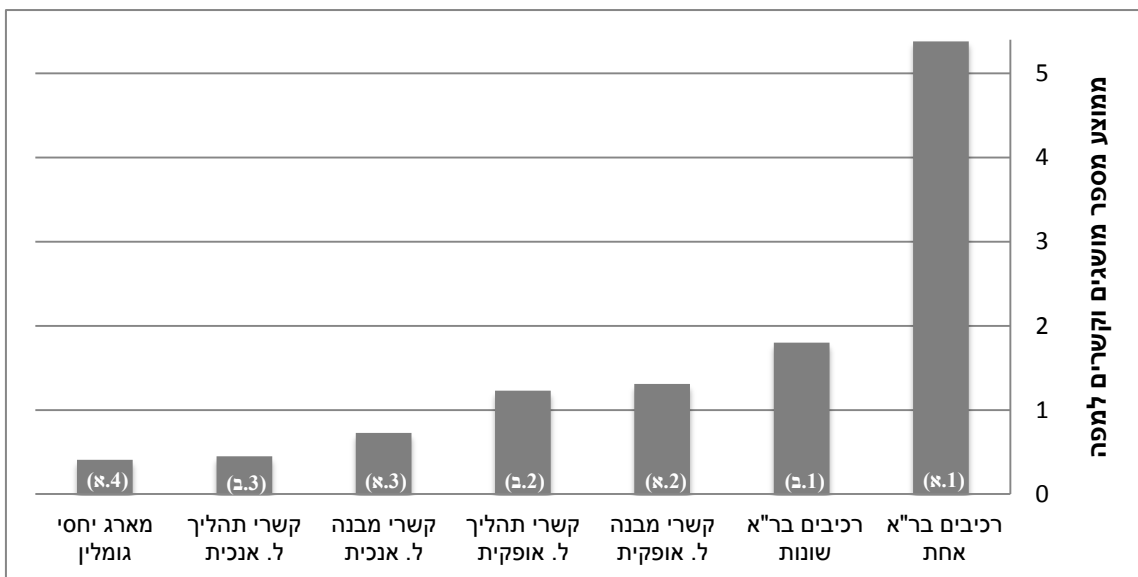
הערך המצביע על מורכבות מארג יחסי הגומלין הינו יחס בין שני ערכים, על כן לא ניתן לערוך מבחן Duncan's Multiple Range Test לערך זה.

בטבלה 8 מוצג הארגון החדש של ההיררכיה בין מיומנויות החשיבה המערכתית (בטבלה 5 בעמוד 44, מוצג המודל הראשוני). החידוש בא לידי ביטוי בשלבים 2 ו-3 של מיומנויות החשיבה המערכתית. השינוי הוצע בעקבות הממצאים שהתקבלו ממפות המושגים של התלמידים (N=163).

טבלה 8. מודל היררכי של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה - Systems Thinking Hierarchical model for Biology Education (STH-BE)

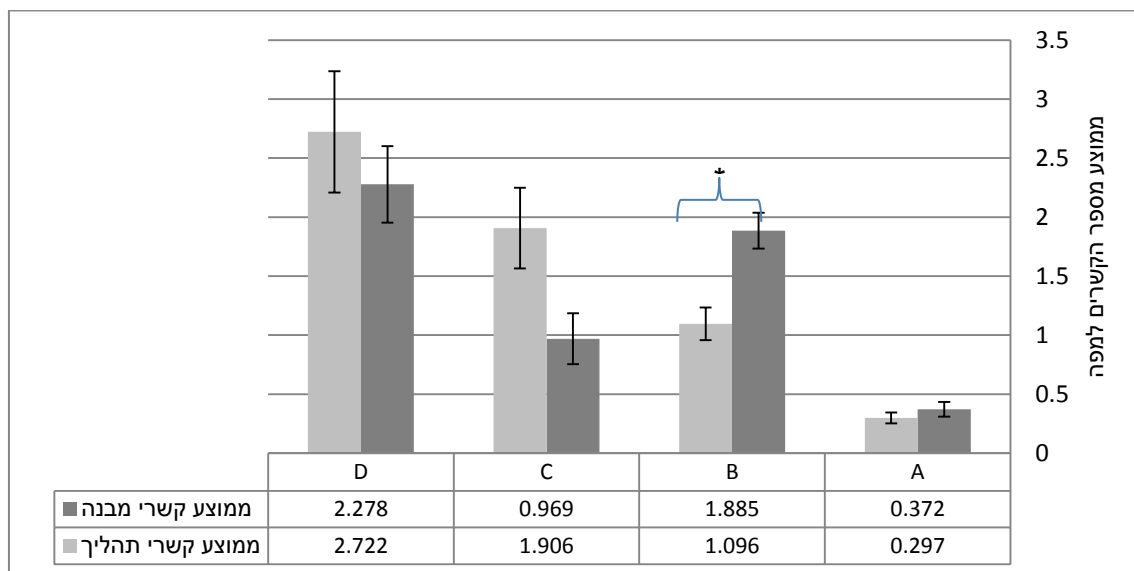
רמה בסיסית	רמה גבוהה	שלבים בפיתוח חשיבה מערכתית
(א.1) רמת ארגון אחת	(ב.1) רמות ארגון שונות	(1) היכולת לזהות רכיבים במערכת
מושגים ברמת ארגון אחת	מושגים ברמות ארגון שונות	קטגוריות בניתוח מפות המושגים
(א.2) קשרי מבנה	(ב.2) קשרי תהליך	(2) היכולת לזהות קשרים בין רכיבים - לכידות אופקית
מספר קשרי מבנה בין מושגים ברמת ארגון אחת	מספר קשרי תהליך בין מושגים ברמת ארגון אחת	קטגוריות בניתוח מפות המושגים
(א.3) קשרי מבנה	(ב.3) קשרי תהליך	(3) היכולת לזהות קשרים בין רכיבים - לכידות אנכית
מספר קשרי מבנה בין מושגים ברמות ארגון שונות	מספר קשרי תהליך בין מושגים ברמות ארגון שונות	קטגוריות בניתוח מפות המושגים
(א.4) מארג דל	(ב.4) מארג עשיר	(4) היכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג של יחסי גומלין
יחס נמוך מ-1 בין מושגי צומת למושגי קצה	יחס גבוה מ-1 בין מושגי צומת למושגי קצה	קטגוריות בניתוח מפות המושגים

בגרף 3 מוצגים ממצאי ניתוח מפות המושגים של התלמידים (N=163) בהתאם למודל STH-BE. מגמת הירידה בין ערכי הקטגוריות, כפי שמתואר בגרף 3, מעידה על ההיררכיה המצויה בין מיומנויות החשיבה המערכתית בביולוגיה ותומכת בהיררכיה בין המיומנויות שמוצעת במודל STH-BE. היררכיה זו מעידה על רמת קושי עולה של כל אחת מהמיומנויות העוקבות המוצגות מימין לשמאל, עבור התלמידים.



גרף 3: התפלגות המושגים והקשרים במפות המושגים של התלמידים בהתאם למודל STH-BE. ר"א = רמת ארגון. ל. אופקית = לכידות אופקית. ל. אנכית = לכידות אנכית. N=163

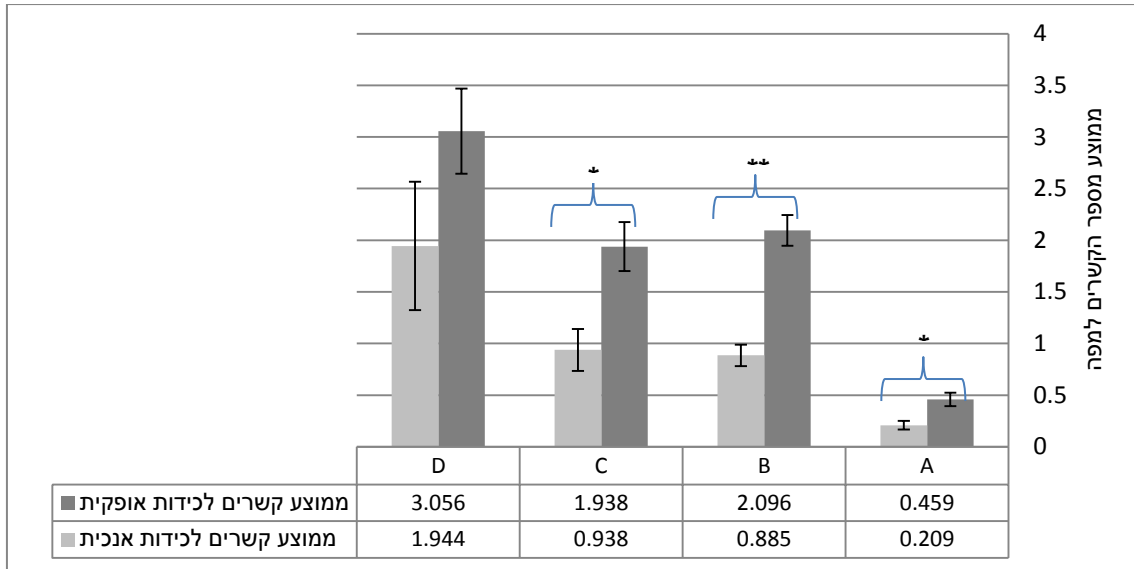
ממצאים מעניינים עולים מניתוח סוגי הקשרים: קשרי מבנה מול קשרי תהליך וקשרים באותה רמת ארגון מול קשרים בין רמות ארגון (גרף 4) האופייניים לדגמי מפות המושגים D-A (איור 1, עמוד 37). בגרף 4 ניתן לראות את התפלגות הקשרים, תוך הבחנה בין קשרי מבנה לקשרי תהליך, בכל אחד מדגמי מפות המושגים A-D (ממוצעי מספר הקשרים למפה). נמצא שהקשרים הדומיננטיים במפות מדגם A ו-B הם קשרי מבנה ואילו הקשרים הדומיננטיים במפות מדגם C ו-D הם קשרי תהליך (ראו גרף 4). אף על פי שהפער בין שני סוגי הקשרים אינו מובהק (בכל הדגמים פרט לדגם B), ניתוח סטטיסטי באמצעות מבחן Two-factors with repeated measures ANOVA, אשר בוחן קיום חוקיות בין ארבעת הדגמים (מבחנית היחס בין שני סוגי הקשרים), מצביע על אינטראקציה מובהקת בין ארבעת הדגמים ($F(3,159) = 8.51, p < 0.0001$). חוקיות זו מרמזת על קורלציה בין מורכבות מפת המושגים לסוג הקשרים השולט במפה. כלומר תלמידים אשר מציגים מפות דלות (דגמים A ו-B), המרמזות על הבנה שטחית של המערכת, נוטים לזהות יותר קשרי מבנה במערכת ביחס לקשרי תהליך ואילו תלמידים אשר מציגים מפות עשירות (דגמים C ו-D), המרמזות על הבנה מעמיקה יותר של המערכת, נוטים לזהות יותר קשרי תהליך ביחס לקשרי מבנה. תוצאות אלו עולות בקנה אחד עם הממצאים המוצגים במאמרה של Hmelo-Silver וחוב' (Hmelo-Silver et al., 2007) המצביעים על כך שטירונים מייצגים את הידע שלהם על מערכת נתונה על בסיס מבנים במערכת ואילו מומחים מייצגים את הידע שלהם על בסיס תהליכים ומנגנונים המתקיימים במערכת. יתר על כן, תוצאות אלו מחזקות את ההבחנה בין רמה בסיסית (קשרי מבנה) לרמה גבוהה (קשרי תהליך) כפי שהוגדר בהיררכיה שבמודל STH-BE.



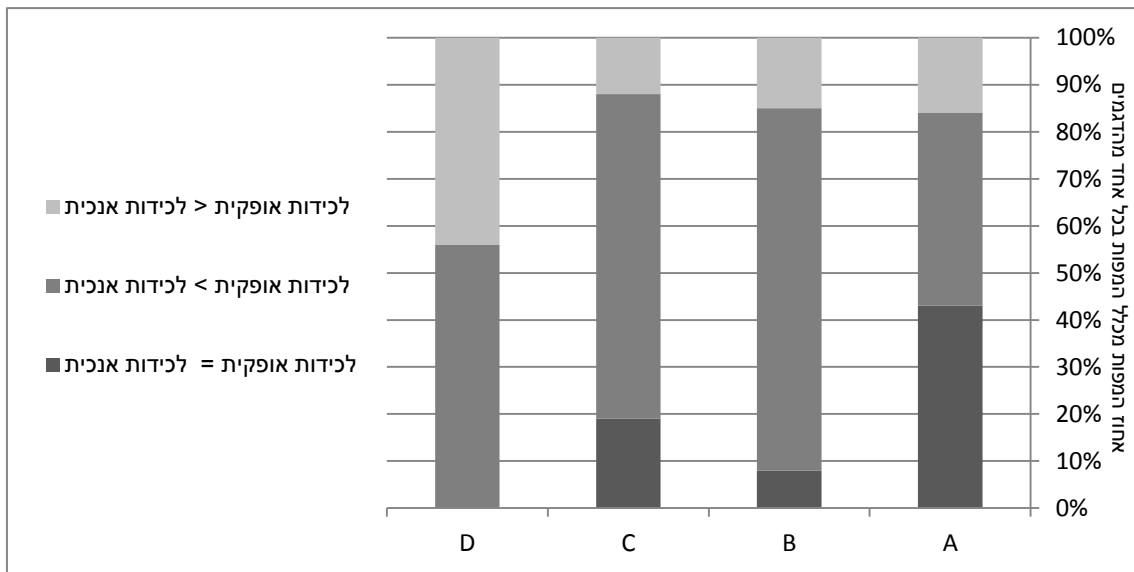
גרף 4: ממוצע מספר קשרי מבנה ומספר קשרי תהליך במפות מושגים של התלמידים, דגמים A-D. בגרף מוצגים ממוצעי מספר הקשרים למפה וסטיות טעות (SE) עבור כל אחד מדגמי מפות המושגים (A-D). מבחן סטטיסטי Two-factors with repeated measures ANOVA $F(3,159) = 8.51, p < 0.0001$. $N=163$. * הבדל מובהק $p < 0.0001$

התפלגות הקשרים בין מושגים ברמת ארגון אחת (לכידות אופקית) מול קשרים בין מושגים ברמות ארגון שונות (לכידות אנכית) מוצגת בגרף 5. בגרף זה מוצגים ממצאים המתארים את המספר הממוצע של קשרים ברמת ארגון אחת וקשרים בין רמות ארגון שונות (ממוצע למפה) בכל אחד מדגמי מפות המושגים A-D. ניתוח זה מצביע על כך שבכל דגמי מפות המושגים, המספר הממוצע של קשרים המציגים לכידות אופקית ביחס למספר הממוצע של קשרים המייצגים לכידות אנכית (גרף 5). כלומר בדומה לתלמידים המציגים מפות דלות (דגמים A ו-B), המרמזות על הבנה שטחית של המערכת, גם תלמידים המציגים מפות עשירות (דגמים C ו-D), המרמזות על הבנה מעמיקה יותר של המערכת, נוטים לייצג קשרים המייצגים לכידות אנכית ומתקשים ליצור קשרים המייצגים לכידות אנכית. יחד עם זאת, כפי שניתן לראות בגרף 5 רק במפות מדגם D הפער בין שני סוגי הקשרים אינו מובהק. ניתוח היחס בין המספר הממוצע של קשרים המייצגים לכידות אופקית למספר הממוצע של קשרים המייצגים לכידות אנכית, בדגמים A-C הוא 1:2 ומעלה (לטובת לכידות אופקית) ואילו במפות מושגים מדגם D, היחס נמוך יותר 1:1.57. מבחן סטטיסטי Two-factors with repeated measures ANOVA, אשר בוחן קיום חוקיות בין ארבעת הדגמים (מבחינת היחס בין שני סוגי הקשרים), מצביע על אינטראקציה מובהקת בין ארבעת הדגמים ($F_{(3,159)} = 8.44, p < 0.0001$). כלומר, נראה שתלמידים אשר יצרו מפות מושגים מסועפות יותר (דגם D) נוטים להציג יותר קשרים בין מושגים ברמות ארגון שונות (באופן יחסי) בהשוואה לתלמידים אשר יצרו מפות מושגים מורכבות פחות (דגמים A-C).

ממצאים המתוארים בגרף 6 מחזקים טענה זו. בגרף 6 מוצגת התפלגות היחס בין קשרים המתארים קישור בין מושגים ברמת ארגון אחת (לכידות אופקית) לקשרים המתארים קישור בין מושגים ברמות ארגון שונות (לכידות אנכית) בכל אחד מהדגמים A-D. כלומר בחנתי, בכל אחד מדגמי מפות המושגים A-D, מה אחוז המפות (בכל דגם בנפרד) בהן: (1) מספר קשרי לכידות אנכית גבוה ממספר קשרי לכידות אופקית, (2) מספר קשרי לכידות אנכית נמוך ממספר קשרי לכידות אופקית, (3) מספר קשרי לכידות אנכית שווה למספר קשרי לכידות אופקית. כפי שניתן לראות בגרף, בפחות מ-17% המפות מספר הקשרים בין מושגים ברמות ארגון שונות (לכידות אופקית) הוא קטן ביחס למספר הקשרים בין מושגים ברמת ארגון אחת (לכידות אנכית), בכל אחד מהדגמים פרט לדגם D. דגם D יוצא דופן כיוון שבדגם זה, אחוז המפות בהן מספר הקשרים המתארים לכידות אופקית קטן ביחס למספר הקשרים המתארים לכידות אנכית דומה לאחוז המפות בהן מספר הקשרים המתארים לכידות אופקית גדול ביחס למספר הקשרים המתארים לכידות אנכית (44%, 56% בהתאמה). ממצא זה מחזק את ההיררכיה המוצעת במודל STH-BE. כלומר מחזק את הטענה כי היכולת לזהות קשרים בין רכיבים ברמות ארגון שונות (לכידות אנכית) היא מיומנות מתקדמת יותר ביחס ליכולת לזהות קשרים בין רכיבים באותה רמת ארגון (לכידות אופקית).



גרף 5: ממוצע מספר קשרי לכידות אופקית ולכידות אנכית, במפות מושגים של התלמידים, דגמי מפות A-D. בגרף מוצגים ממוצעי מספר הקשרים למפה וסטיות טעות (SE).
 מבחן סטטיסטי $F(3,159) = 8.44$ Two-factor with repeated measure ANOVA $p < 0.0001$ $N=163$
 $p < 0.0001$ **, $p < 0.001$ *



גרף 6: התפלגות היחס בין לכידות אופקית ללכידות אנכית במפות מושגים של תלמידים דגמים A-D. $N=163$.

חלק ב' - בחינת השפעת חומרי הוראה-למידה חדשים על החשיבה המערכתית של תלמידים ומורים

שאלת מחקר 2- כיצד תהליך למידה באמצעות חומרי הוראה למידה לפיתוח חשיבה מערכתית משפיע על מבנה הידע של תלמידים, מנקודת מבט מערכתית.

לשם מתן מענה על שאלת המחקר השניה, אחלק את התשובה לשלושה חלקים, בהתאם למודל STH-BE (טבלה 8 עמוד 53): (1) היכולת לזהות רכיבים במערכת, (2) היכולת לזהות קשרים בין רכיבים באותה רמת ארגון ובין רכיבים ברמות ארגון שונות, (3) היכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג יחסי גומלין. הממצאים המוצגים בחלק זה מתייחסים ל-176 מפות מושגים אישיות מזווגות, אשר נבנו בידי 88 תלמידים לפני ולאחר תהליך הלמידה.

היכולת לזהות רכיבים במערכת

לצורך ניתוח המושגים אשר הופיעו במפות המושגים של התלמידים, הבחנתי בין מושגים רלוונטיים לנושא מערכת ההובלה בגוף האדם (למשל: דם, תאי דם) לאלו שאינם רלוונטיים (למשל: כבד, מוח) בהתאם לתכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה לחט"ב (משרד החינוך המזכירות הפדגוגית, 2014). הניתוח הסטטיסטי נעשה על המושגים הרלוונטיים בלבד, במפות 72% pre מהמושגים היו רלוונטיים ואילו במפות 98% post מהמושגים. כלל המושגים סווגו לשלוש קטגוריות בהתאם לרמת הארגון שלהם: רמת מאקרו (אורגניזם, מערכת, איבר, רקמה), רמת מיקרו (תא ואברון), רמת סאב-מיקרו (מולקולה ואטום) (טבלה 9). הממצאים המוצגים בטבלה 9 מצביעים על כך שמרבית המושגים, אותם הציפו התלמידים, הם ברמת מקרו גם לפני וגם לאחר תהליך הלמידה (זאת אף על פי שהנושא האחרון שנלמד בכל כיתות המחקר, לפני נושא מערכת ההובלה, הוא תאים ביצורים חיים). השוואה בין המושגים המופיעים במפות המושגים לפני ולאחר תהליך הלמידה, מלמדת כי בתום התהליך חלה עליה מובהקת במספר הממוצע של המושגים בכל אחת מהקטגוריות: מאקרו (Mean dif.=3.705, p<0.0001), מיקרו (Mean dif.=0.727, p<0.0001), סאב מיקרו (Mean 0, p<0.0001, dif.=1.42) (טבלה 9). השינוי הגדול ביותר חל בשיעור המושגים ברמת המאקרו והנמוך ביותר בשיעור המושגים ברמת המיקרו.

טבלה 9. התפלגות מספר המושגים במפות המושגים של התלמידים (ממוצע למפה) לפני ואחרי תהליך הלמידה

Pr > t	t Value	Mean dif. (SD)	Mean post (SD)	Mean pre (SD)	קטגוריה
<0.0001	12.85	* 3.705 (2.704)	9.000 (2.383)	5.295 (2.007)	מספר ממוצע של מושגים ברמת מאקרו
<0.0001	4.34	* 0.727 (1.574)	2.125 (1.153)	1.398 (1.034)	מספר ממוצע של מושגים ברמת מיקרו
<0.0001	7.31	* 1.420 (1.842)	1.920 (1.613)	0.500 (0.711)	מספר ממוצע של מושגים ברמת סאב-מיקרו
<0.0001	16.06	* 5.864 (3.425)	13.091 (3.157)	7.227 (2.490)	מספר ממוצע של סה"כ מושגים

* שינוי מובהק. מבחן סטטיסטי-t מזווג. N=176 (88 מפות מזווגות)

על מנת ללמוד על רכיבי המערכת אותם בחרו התלמידים להציף לפני ולאחר תהליך הלמידה, נעשה ניתוח שכיחויות של כל המושגים אשר הופיעו במפות המושגים של התלמידים (N=176). בטבלה 10 מוצגים המושגים השכיחים ביותר במפות post, מושגים אלו הופיעו ב-39% ומעלה מכלל מפות התלמידים בסוף תהליך הלמידה, וכן מוצגים הממצאים המתייחסים לאותם המושגים כפי שהופיעו במפות המושגים לפני תהליך הלמידה (עמודה אמצעית).

מהממצאים עולה כי המושג לב מופיע במפות המושגים של כל התלמידים. המושגים: ורידים, עורקים, תאי דם אדומים, דם ותאי דם, המופיעים ברשימת המושגים השכיחים ביותר במפות התלמידים בתום הלמידה, הם המושגים השכיחים ביותר גם במפות אותן בנו התלמידים לפני הלמידה. ניתוח המושגים החדשים אשר נכנסו לרשימת המושגים השכיחים ביותר (מודגשים באפור בטבלה 10) מרמז על התפתחות בהבנת המערכת בשלושה היבטים: ראשית, העלייה המשמעותית בשכיחות המושג ריאות (pre-2%, post-39% מכלל מפות המושגים), בשילוב עם המושגים: חמצן (pre-24%, post-78%), המוגלובין (pre-3%, post-49%), פחמן דו-חמצני (pre-0%, post-44%), מצביעה על הפנמת הקשר בין מערכת ההובלה למערכת הנשימה. קישור זה אינו טריוויאלי ומתואר בספרות כאחד הקשיים המרכזיים של התלמידים בהבנת מערכת ההובלה. שנית, העלייה בשכיחות המושגים: חמצן, המוגלובין ופחמן דו חמצני (שלושתם ברמת סאב מיקרו) מצביעה על שיפור ביכולת התלמידים לזהות רכיבים ברמות ארגון שונות במערכת. שלישית, העלייה בשכיחות המושג נימים (pre-23%, post-73%) יכולה להצביע על קישור בין ורידים לעורקים ליצירת מערכת מעגלית.

טבלה 10. התפלגות המושגים השכיחים ביותר במפות המושגים של התלמידים לאחר תהליך הלמידה

מושגים	שכיחות המושגים לפני תהליך הלמידה	שכיחות המושגים לאחר תהליך הלמידה
לב	100%	100%
ורידים	57%	85%
עורקים	56%	83%
תאי דם אדומים	53%	83%
חמצן	24%	78%
נימים	23%	73%
דם	79%	66%
תאי דם	36%	56%
המוגלובין	3%	49%
פחמן דו חמצני	0%	44%
ריאות	1.7%	39%

האחוזים המופיעים בטבלה מציינים את שיעור המפות בהן מופיע כל אחד מהמושגים מכלל מפות המושגים. (N=176 (88 מפות מזווגות)

באפור מודגשים המושגים אשר נכנסו לרשימת המושגים השכיחים ביותר במפות ה-post, אך הופיעו במספר מצומצם (או לא הופיעו כלל) במפות pre.

היכולת לזהות קשרים בין מושגים ברמת ארגון אחת ובין מושגים ברמות ארגון שונות

לצורך בחינת השינוי שחל ביכולת התלמידים לזהות קשרים בין רכיבים ברמת ארגון אחת ובין רכיבים ברמות ארגון שונות במערכת, נעשה ניתוח הקשרים אותם הציגו התלמידים במפות המושגים לפני ולאחר תהליך הלמידה (סה"כ N=176 מפות מושגים מזווגות). לשם ניתוח הקשרים התייחסתי לקשרים הנכונים בלבד. במפות המושגים אותן בנו התלמידים לפני תהליך הלמידה 53% מכלל הקשרים היו נכונים, ואילו במפות אשר נבנו בתום תהליך הלמידה 81% מכלל הקשרים היו נכונים.

כפי שניתן לראות בטבלה 11, ניכר כי בתום תהליך הלמידה חלה עליה מובהקת במספר הקשרים הממוצע למפה בכל הקטגוריות. העלייה במספר הממוצע של הקשרים באה לידי ביטוי הן בקשרים בין מושגים ברמת ארגון אחת והן בקשרים בין מושגים ברמות ארגון שונות, כאשר שינוי גדול יותר חל במספר הממוצע של קשרים בין מושגים ברמת ארגון אחת (עלייה של 4.648 קשרים בממוצע למפה) ביחס לקשרים בין מושגים ברמות ארגון שונות (עלייה של 2.989 קשרים בממוצע למפה). ניתוח השינוי במספר הממוצע של הקשרים השונים במערכת מציג תמונה היררכית בין שלושת הקטגוריות הראשונות (טבלה 11), מה שמעיד על כך שהשיפור הגדול ביותר חל ביכולת התלמידים לזהות ולהציג קשרי מבנה בין רכיבים באותה רמת ארגון (עלייה של 2.534 קשרים בממוצע למפה), אחריו השיפור ביכולת התלמידים לזהות ולהציג קשרי תהליך בין רכיבים באותה רמת ארגון (עלייה של 2.114 קשרים בממוצע למפה) והשיפור הקטן ביותר חל ביכולת התלמידים לזהות ולהציג קשרי מבנה בין רכיבים באותה רמת ארגון (עלייה של 0.648 קשרים בממוצע למפה). יוצאת דופן היא העלייה הגבוהה יחסית במספר הממוצע של קשרי תהליך ברמות ארגון שונות, המעיד על היכולת של התלמידים לזהות קשרים בין רכיבים ברמות ארגון שונות במערכת (עלייה של 2.341 קשרים בממוצע למפה). כלומר, אף על פי שלפי מודל STH-BE מיומנות זו היא המורכבת מבין הארבע (ובהתאם לכך במפות pre ממוצע הקשרים מסוג זה היה הקטן ביותר), השיפור אותו הציגו התלמידים הוא הגדול ביותר. ניתן לייחס ממצא זה לדגש שהושם לפיתוח מיומנות זו בחומרי ההוראה והלמידה (ראו ביסוס תיאורטי לפיתוח חומרי ההוראה-למידה בפרק "קונטקסט למחקר" בעמודים 44-47).

טבלה 11. התפלגות מספר הקשרים במפות המושגים של התלמידים (ממוצע למפה) לפני ואחרי תהליך הלמידה

קטגוריה	Mean pre (SD)	Mean post (SD)	Mean dif. (SD)	t Value	Pr > t
מספר ממוצע של קשרי מבנה באותה רמת ארגון	1.364 (1.717)	3.898 (3.241)	*2.534 (3.311)	7.18	<0.0001
מספר ממוצע של קשרי תהליך באותה רמת ארגון	1.523 (1.748)	3.636 (3.217)	*2.114 (2.114)	5.74	<0.0001
מספר ממוצע של קשרי מבנה ברמות ארגון שונות	0.705 (1.074)	1.352 (1.742)	*0.648 (2.068)	2.94	0.0042
מספר ממוצע של קשרי תהליך ברמות ארגון שונות	0.466 (1.072)	2.807 (3.043)	*2.341(2.341)	7.53	<0.0001

* שינוי מובהק. מבחן סטטיסטי-t מזווג. N=176 (88 מפות מזווגות)

היכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג יחסי גומלין

ניתוח מארג יחסי הגומלין נעשה תוך מניין מושגי הצומת (מושגים מהם יוצאים שלושה קשרים או יותר) ומושגי הקצה (מושגים מהם יוצא קשר אחד פרט לזוגות מושגים) וכן לאור ארבעת דגמי מפות מושגים A-D (איור 1, עמוד 37). כפי שניתן לראות בטבלה 12, בעקבות הלמידה חלה עליה מובהקת הן במספר הממוצע של מושגי הצומת והן במספר הממוצע של מושגי הקצה. יתר על כן, העלייה במספר הממוצע של מושגי הצומת גדולה מהעלייה במספר הממוצע של מושגי הקצה, ומכאן שהיחס בין המספר הממוצע של מושגי צומת לזה של מושגי הקצה גדל (טבלה 12). מה שמצביע על מפות מושגים מסועפות יותר בתום הלמידה. ממצא זה מרמז על הבנה מעמיקה יותר של יחסי הגומלין בין רכיבי המערכת.

טבלה 12. התפלגות מספר מושגי הצומת ומספר מושגי הקצה במפות המושגים של התלמידים (ממוצע למפה) לפני ואחרי תהליך הלמידה

קטגוריה	Mean pre (SD)	Mean post (SD)	Mean dif. (SD)	t Value	Pr > t
מספר ממוצע של מושגי צומת	0.886 (1.217)	2.602 (2.327)	*1.716 (1.716)	<0.0001	7.13
מספר ממוצע של מושגי קצה	2.045 (2.149)	3.307 (2.498)	*1.261 (1.261)	0.0002	3.82
היחס בין מספר ממוצע של מושגי צומת למספר ממוצע של מושגי קצה	0.433	0.786			

* שינוי מובהק. מבחן סטטיסטי-t מזווג. N=176 (88 מפות מזווגות)

הקשרים המרובים היוצאים ממושגי הצומת מצביעים על המרכזיות שלהם במבנה הידע של התלמידים. מכאן עלה הצורך לבחון אלו מושגי צומת באים לידי ביטוי במפות המושגים של התלמידים לפני ולאחר תהליך הלמידה. ניתוח כלל מפות המושגים מראה כי במפות אותן יצרו התלמידים לפני תהליך הלמידה מופיעים 17 מושגי צומת שונים, ואילו במפות אשר נוצרו בתום הלמידה מופיעים 32 מושגי צומת שונים. בטבלה 13 מופיעים מושגי הצומת השכיחים ביותר (המופיעים ב-5% ממפות המושגים ומעלה). ראשית, מעניין לראות את הדמיון בין המושגים השכיחים ביותר במפות ה-pre וה-post (טבלה 13). ארבעת מושגי הצומת השכיחים ביותר בשני סוגי המפות הם: לב, דם, עורקים, ורידים. ארבעתם ברמת מאקרו, ומופיעים בסדר זה מבחינת השכיחות במפות. השוני בא לידי ביטוי בממוצע מספר הקשרים היוצאים ממושגי הצומת, ערך זה גבוה בכל מושגי הצומת במפות post ביחס ל-pre וכן בשני המושגים החדשים המופיעים ב-5% ומעלה ממפות ה-post: תאי דם אדומים (רמת מיקרו) וחמצן (רמת סאב מיקרו). ממצא זה מרמז על כך שמבנה הידע החדש מעוגן סביב מבנה הידע הקודם (אתו נכנסו התלמידים לתהליך הלמידה). מסקנה זו עולה בקנה אחד עם הגישה הקונסטרוקטיביסטית הגורסת כי הלמידה היא תהליך הדרגתי של התפתחות מושגים המערב ארגון מחדש של הידע על ידי הלומד, כלומר הבניית הידע נעשית תוך קישור הידע החדש לידיע הקודם של הלומד.

טבלה 13. מושגי הצומת השכיחים ביותר במפות המושגים של התלמידים לפני ולאחר תהליך הלמידה

מושג צומת	אחוז המפות בהן מופיע המושג	ממוצע מספר הקשרים
pre		
לב	33%	3.69
דם	32%	4.12
עורקים	5%	3.00
ורידים	5%	3.50
post		
לב	27%	4.33
דם	15%	5.00
עורקים	7%	3.81
ורידים	6%	6.09
תאי דם אדומים	6%	3.46
חמצן	5%	3.82

האחוזים המופיעים בטבלה מציינים את שיעור המפות בהן מופיע כל אחד מהמושגים מכלל מפות המושגים N=176








מטרת ניתוח דגמי מפות המושגים לבחון את רמת מורכבות של המארג המוצג במפה, כאשר דגם A מייצג את הדגם הדל ביותר (מושגים בודדים, זוגות או שלשות מושגים), דגם B מייצג דגם מורכב יותר (דגם "שמש", מושג מרכזי אחד אליו קשורים מושגים שונים), דגם C מייצג דגם מורכב ביחס ל B (דגם "שרשרת", מושגים הקשורים אלו לאלו) ודגם D מייצג את הדגם המורכב ביותר (דגם "רשת" מארג מסועף של מושגים). בטבלה 14 ניתן לראות את התפלגות הדגמים (D-A) בקרב התלמידים לפני ואחרי תהליך הלמידה והשינוי שכל. שיום המפות על פי הדגמים נעשה תוך התייחסות לקשרים הנכונים בלבד ולדגם הדומיננטי במפה. האחוזים בטבלה מצביעים על החלק היחסי של כל אחד מהדגמים מכלל המפות של התלמידים. הממצאים מצביעים על היררכיה בין הדגמים. כך, לפני תהליך הלמידה הדגם השכיח ביותר הוא דגם A (דגם זה הופיע ב- 48.86% מכלל מפות המושגים), אחריו דגם B (33%), אחריו C (11%) והדגם שהופיע בקרב שישה תלמידים בלבד (6.82%) הוא דגם D. בתום תהליך הלמידה הדגמים מסודרים בסדר הפוך כתמונת ראי. הדגם השכיח ביותר הוא דגם D (דגם זה הופיע ב- 34% מכלל מפות המושגים), אחריו דגם C (30%), אחריו B (24%) והדגם שהופיע בקרב אחד עשר תלמידים בלבד (12%) הוא דגם A. הממצאים המראים עליה במורכבות דגמי מפות המושגים בעקבות תהליך הלמידה מודגשים באפור כהה (טבלה 14). סיכום הערכים המופיעים במשבצות אלו ממצביע על כך ש- 65% מהתלמידים הציגו מפות מורכבות יותר בתום תהליך הלמידה. באפור בהיר מסומנים הממצאים המראים על ירידה במורכבות דגמי המפות בעקבות תהליך הלמידה (טבלה 14), סיכום הערכים המופיעים במשבצות אלו מצביע על כך שרק 3% מהתלמידים הציגו מפות מורכבות פחות לאחר תהליך הלמידה. באפור מסומנים הממצאים המצביעים

על אחוז המפות שנותרו ללא שינוי בהיבט זה (טבלה 14). סיכום הערכים המופיעים במשבצות אלו מצביע על כך ש- 30% מכלל התלמידים הציגו דגם דומה לפני ולאחר תהליך הלמידה. בהקשר זה חשוב לציין כי אמנם תלמידים אלו לא הראו מעבר מדגם אחד לדגם מתקדם יותר, אולם במקרים רבים בעקבות תהליך הלמידה מספר המושגים והקשרים במפה עלה (אף על פי שדגם המפה נותר ללא שינוי).

טבלה 14 - שכיחות דגמי המפות המושגים של תלמידים A-D לפני ואחרי תהליך הלמידה

		דגמי המפות לאחר הלמידה				סה"כ
		אחוז	A	B	C	
דגמי המפות לפני הלמידה	A	11%	9%	17%	11%	48
	B	1%	14%	9%	9%	33
	C	0%	1%	1%	9%	11
	D	0%	0%	2%	5%	7
	סה"כ	12	24	29	34	100

האחוזים בטבלה מצביעים על החלק היחסי של כל אחד מהדגמים ממפות המושגים של כלל התלמידים. N=176 (88 מפות מזוגות)

A. מושגים בודדים, זוגות או שלשות מושגים	
B. דגם שמש	
C. דגם שרשרת	
D. דגם רשת	
שיפור במבנה דגם מפת המושגים	
ללא שינוי מבנה דגם מפת המושגים	
נסיגה במבנה דגם מפת המושגים	

לסיכום, לאור הממצאים ניתן לראות שיפור בכל אחת ממיומנויות החשיבה המערכתית, בהתאם למודל STH-BE: (1) התלמידים למדו לזהות רכיבים רבים יותר במערכת, בכל רמות הארגון. מושגים העומדים ביסוד הבנת מערכת ההובלה בגוף האדם (לפי תכנית הלימודים) כמו: חמצן, המוגלובין, פחמן דו חמצני וריאות תפסו מקום מרכזי יותר במפות התלמידים. יחד עם זאת, חשוב לציין כי העלייה הגדולה ביותר חלה במספר המושגים ברמת המאקרו והנמוכה ביותר במספר המושגים ברמת המיקרו. (2) יכולת הקישור בין המושגים, כלומר בין רכיבי המערכת השתפרה. ניתוח השינוי ביכולת התלמידים לזהות ולהציג קשרים במערכת מציג תמונה היררכית. כאשר, השיפור הגדול ביותר חל ביכולת התלמידים לזהות ולהציג קשרי

מבנה באותה רמת ארגון, אחריו השיפור ביכולת התלמידים לזהות ולהציג קשרי תהליך באותה רמת ארגון והשיפור הקטן ביותר חל ביכולת התלמידים לזהות ולהציג קשרי מבנה בין רמות ארגון. יוצא דופן הוא השינוי שחל במספר הממוצע של קשרי תהליך בין רמות ארגון. אף על פי שלפי המודל STH-BE מיומנות זו היא המורכבת מבין הארבע ובהתאם לכך במפות pre ממוצע הקשרים מסוג זה היה הקטן ביותר, אולם השיפור אותו הציגו התלמידים הוא הגדול ביותר. ניתן לייחס ממצא זה לדגש שהושם לפיתוח מיומנות זו בחומרי ההוראה והלמידה. (3) יכולת ארגון הרכיבים והקשרים במארג יחסי גומלין השתפרה. הממצאים מצביעים על שיפור רב חשיבות אשר בא לידי ביטוי הן בשיעור ובמגוון מושגי הצומת והן בעליה במורכבות דגמי מפות המושגים. בהקשר זה מעניין לציין את הדמיון בין מושגי הצומת השכיחים ביותר, לפני ולאחר תהליך הלמידה. דמיון זה מחזק את הטענה כי הבניית הידע נעשית תוך קישור הידע החדש לידע הקודם של הלומד. ממצא מעניין נוסף הוא הארגון ההיררכי של דגמי מפות המושגים המציג תמונת ראי בין מפות התלמידים לפני ולאחר הלמידה (לפני תהליך הלמידה הדגם השכיח ביותר הוא דגם A ושכיח פחות הוא דגם D ואילו לאחר תהליך הלמידה הדגם השכיח ביותר הוא דגם D והשכיח פחות הוא דגם A).

שאלת מחקר 3- כיצד תהליך הוראה באמצעות חומרי הוראה למידה לפיתוח חשיבה מערכתית משפיע על מבנה הידע של מורים, מנקודת מבט מערכתית?

לצורך בחינת התמורות בחשיבה המערכתית של המורים, נעשה ניתוח של תפיסות המורים באמצעות RGT, מלווים בראיונות. שאלון RG ניתן לשלוש מורות לפני ולאחר ההוראה באמצעות חומרי הוראה-למידה החדשים לפיתוח חשיבה מערכתית בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם. במסגרת השאלונים, המורים התבקשו להגדיר 12 אלמנטים, ולמיין אותם תוך יצירת מבנים דו-קוטביים. בשלב הבא המורים התבקשו לארגן את האלמנטים בין שני הקטבים (על סמך המבנים הדו קוטביים האישיים שלהם), באמצעות קביעת רייטינג בין 1-5, בדומה לשאלוני ליקרט. כלומר המורות נדרשו לסמן 1 במקרה והאלמנט קרוב ביותר לצד שמאל (מבחינת המשמעות של המבנה הדו קוטבי), 5 במקרה והאלמנט קרוב ביותר לצד ימין (מבחינת המשמעות של המבנה הדו קוטבי) וכל מספר אחר בין 1 ל-5 בהתאם למידת ההתאמה של האלמנט לאחד הקטבים במבנה הדו קוטבי.

הממצאים הונו לתוכנת RepGrid4 המאפשרת לכמת את הממצאים וליצור מארג (Grid). ה- Grid מציג את המבנים הדו-קוטביים, את מיקום האלמנטים על הרצפים הדו-קוטביים וכן את מידת הדמיון בין האלמנטים ובין המבנים הדו-קוטביים. מידת הדמיון מוצגת באחוזים, כאשר דמיון משמעותי נחשב דמיון של 80% ומעלה. המארגים האישיים מרמזים על התוכן המושגי ועל יחסי הגומלין בין המושגים במבנה הקוגניטיבי של המורות.

המורה עמליה

מורה זו היא המבוגרת מבין שלושת המורות, בת 55, בעלת הוותק הגבוה ביותר, 22 שנות הוראה בסך הכל. השכלתה היא תואר ראשון בביולוגיה ותואר שני בהוראת המדעים. המורה מלמדת מדעים בחט"ב בכיתות מצוינות בלבד. בשנת איסוף הנתונים המורה לימדה את נושא מערכת ההובלה בגוף האדם לאורך 12 שעות הוראה וקיבלה ליווי והכוונה ע"י החוקרת. הליווי כלל מפגש אחד לפני תחילת ההוראה בו הוצגו בפני המורה חומרי הלימוד ודגם ההוראה לפיתוח חשיבה מערכתית, כולל הרציונל העומד מאחוריהם. במקביל להוראה, המורה פנתה לחוקרת לצורך הבהרות בעניין פעילויות בדגם ההוראה והסברים במדריך למורה. מפאת ניסיונה הרב בהוראה היה חשוב למורה לספק משוב ענייני למפתחים על ספר הלימוד והמדריך למורה.

עמליה העידה על עצמה כי היא רואה בספרי לימוד: "איזושהי המלצה, לא משהו מחייב...אני צריכה שתהיה איזו לוגיקה שתתאים ללוגיקה שלי". כלומר היא מתייחסת באופן ביקורתי לספרי לימוד חדשים ומוכנה לאמץ אותם רק בתנאי שהם עולים בקנה אחד עם צורת החשיבה שלה. למרות הותק הרב שלה, עמליה רואה חשיבות רבה במדריך למורה, לדבריה: "כל פעם הלכתי וקראתי, אני כל הזמן בודקת את עצמי. אני לא בטוחה בעצמי בכלל. זאת אומרת, יש לי ניסיון, יש לי ותק, אני יודעת דברים. אבל אני כל הזמן צריכה ללמוד ולבדוק את עצמי". כלומר נראה שאף על פי שעמליה מציגה בטחון רב בניסיון שלה בהוראה, חשוב לה ללמוד ולהתפתח מקצועית. גישה זו באה לידי ביטוי בכך שעמליה הקפידה לבנות את כל השיעורים על פי רצף ההוראה של ספר הלימוד ויישמה המלצות דידקטיות ודגשים תוכניים אשר הופיעו במדריך למורה.

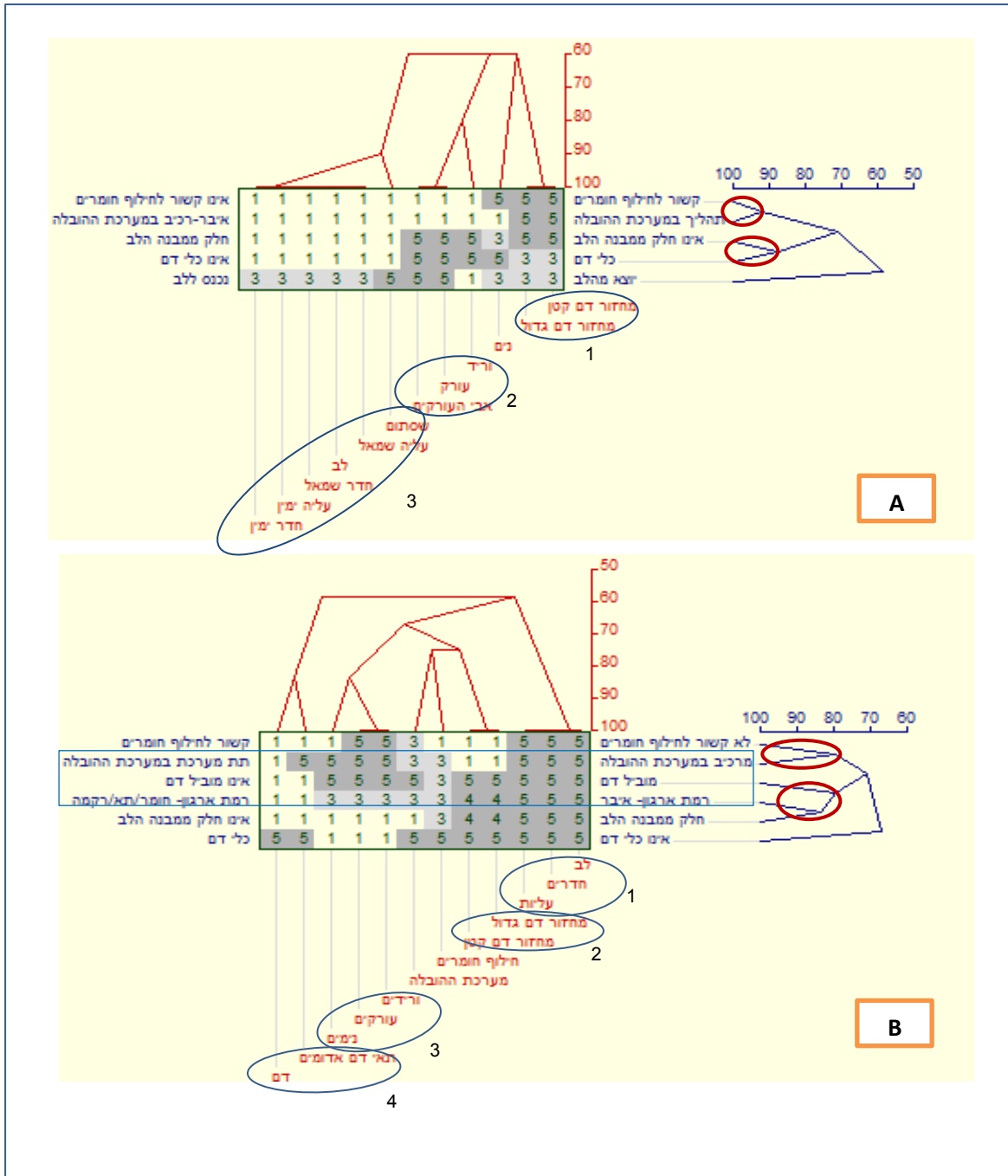
ממצאי שאלוני RG של עמליה מוצגים באיור 5 (B-A). המארג המוצג באיור 5 מלמד על המבנים האישיים במבנה הידע של המורה עמליה לפני (A) ולאחר (B) תהליך ההוראה. לפני תהליך ההוראה המורה הציפה 5 מבנים דו-קוטביים ולאחר תהליך ההוראה 6 מבנים. ניתן לראות דמיון רב בין המבנים לפני ואחרי תהליך ההוראה. שלושה (מתוך שישה) מבנים דו-קוטביים אשר מופיעים במארג ה-RG של המורה עמליה בתום תהליך ההוראה, מופיעים גם לפני התהליך. המבנים הם: "קשור לחילוף חומרים---אינו קשור לחילוף חומרים", "אינו חלק ממבנה הלב---חלק ממבנה הלב", "כלי דם---אינו כלי דם". על אף דמיון זה, יש לתת את הדעת להבדלים אשר באים לידי ביטוי בשלושת המבנים החדשים שהתווספו למארג הידע של המורה בעקבות תהליך ההוראה. המבנים החדשים הם "מרכיב במערכת ההובלה---תת מערכת במערכת ההובלה", "מוביל דם---אינו מוביל דם", "רמת ארגון איבר---רמת ארגון חומר/תא/איבר".

מנקודת מבט מערכתית, שניים מבין שלושת המבנים הדו-קוטביים החדשים, אשר מתייחסים לרמות ארגון במערכת, הם המפתח להבנת השינוי במבנה הידע של המורה עמליה (איור 5, B). מבנים אלו מלמדים על המקום המרכזי של רמות הארגון במערכת במבנה הידע שלה בתום תהליך ההוראה. מה שמחזק הנחה זו הם הדברים אותם אמרה המורה עמליה בראיון, כאשר נשאלה על הקשיים של התלמידים בחשיבה מערכתית: "זה למשל משהו שאני כל הזמן שמתני עליו דגש- המדרג הביולוגי, כי חייבים לבנות אצלם את החשיבה לקראת מגמת ביולוגיה".

ניתוח האלמנטים מראה כי 8 מתוך 12 האלמנטים בשני השאלונים דומים. האלמנטים החדשים הם: חילוף חומרים, מערכת ההובלה, תאי דם אדומים ודם. ניתוח האלמנטים מראה שכל האלמנטים במארגי- pre ו-post מתייחסים למבנים במערכת, ואילו שניים מבין המושגים החדשים במארג post: "חילוף חומרים" ו"מערכת ההובלה" מתייחסים לתהליכים. הוספת המושגים אלו יכולה להעיד על מגמת שינוי ועל המקום של התהליכים במבנה הידע של המורה.

ממצא בעל חשיבות עולה מניתוח הדמיון בין המבנים הדו-קוטביים לפני ולאחר תהליך ההוראה. במארג RG לפני תהליך ההוראה (איור 5, A) ניתן לראות דמיון רב (90% דמיון) בין שני מבנים דו-קוטביים: "קשור לחילוף חומרים---אינו קשור לחילוף חומרים" ו-"תהליך במערכת ההובלה---איבר/רכיב במערכת ההובלה". כלומר, נראה שלתפיסתה של המורה עמליה, לפני תהליך ההוראה, "חילוף חומרים" ו"תהליך במערכת ההובלה" הם בעלי קשר הדוק. במארג RG לאחר תהליך ההוראה (איור 5, B) המבנה הדו-קוטבי "לא קשור לחילוף חומרים---קשור לחילוף חומרים" נקשר (ב-80% דמיון) למבנה דו-קוטבי חדש "תת מערכת במערכת ההובלה---מרכיב במערכת ההובלה". נראה שלתפיסתה של המורה עמליה לאחר תהליך ההוראה, "חילוף חומרים" ו"תת מערכת במערכת ההובלה" הם קטבים דומים. מכאן שבעקבות ההוראה עמליה החלה לראות בחילוף חומרים תת מערכת ולא רק תהליך.

ממצא נוסף עולה מניתוח הדמיון (85% דמיון) בין שני המבנים הדו-קוטביים: "אינו חלק ממבנה הלב---חלק ממבנה הלב" ו"כלי דם---אינו כלי דם" (איור 5, A), נראה שתפיסתה של המורה עמליה לפני תהליך ההוראה מבוססת על המבנה ומציגה דיכוטומיה בין כלי דם ומבנה הלב (מושג השייך לכלי דם אינו שייך למבנה הלב). במארג RG לאחר תהליך ההוראה (איור 5, B) המבנה הדו-קוטבי "חלק ממבנה הלב---אינו חלק ממבנה הלב" נקשר לשני מבנים דו-קוטביים "רמת ארגון איבר---רמת ארגון חומר/תא/רקמה" ו"מוביל דם---אינו מוביל דם" (80% דמיון). נראה שלתפיסתה של עמליה לאחר תהליך ההוראה קיים דמיון בין: "מוביל דם", "רמת ארגון איבר" ו"חלק ממבנה הלב", מה שמרמז על קישור בין רכיבים, תהליכים ורמות ארגון לכדי מנגנון משותף.



איור 5- מארגי RG של המורה עמליה המציגים את ארגון הידע לפני (A) ולאחר (B) תהליך ההוראה. המעגלים הכחולים מציגים את קבוצות האלמנטים, המעגלים האדומים מציגים את קבוצות המבנים הדו-קוטביים הדומים, המרובע מציג את המבנים הדו-קוטביים החדשים. המספרים בחלק הימני של האיורים (בכחול) ובחלק העליון (באדום) מציגים את מידת הדמיון בין המבנים הדו קוטביים והאלמנטים (בהתאמה).

המורה טל

מורה זו היא הצעירה מבין שלושת המורות, בת 32, בעלת הוותק הנמוך ביותר, 7 שנות הוראה. השכלתה היא תואר ראשון משולב בגיאולוגיה וביולוגיה ותואר שני בחינוך. מלמדת מדעים בחט"ב וביולוגיה בתיכון (בכיתות י, אינה מגישה לבגרות בביולוגיה). בחרתי לעקוב אחרי טל במשך שנתיים. בשנת איסוף הנתונים הראשונה המורה טל לימדה את נושא מערכת ההובלה בגוף האדם במשך 12 שעות הוראה ובשנה השנייה 10 שעות. המורה קיבלה ליווי והכוונה ע"י החוקרת. ההכוונה כללה שני מפגשים לפני תחילת ההוראה בהם הוצגו חומרי הלימוד ודגם ההוראה לפיתוח חשיבה מערכתית, כולל הרציונל העומד מאחוריהם. במהלך שנת הלימודים, המורה פנתה לחוקרת לצורך הבהרות בעניין פעילויות בדגם ההוראה והסברים במדריך למורה. בניגוד לעמליה הוותיקה, אשר מתייחסת לספרי לימוד כהמלצה לרציונל כללי של רצף הוראה טל הצעירה רואה בספר לימוד מקור לידע ומיומנויות: "לדעתי ספר הלימוד צריך לאגד בתוכו את מכלול הידע, והמיומנויות הנדרשות לכל כיתה". גישה זו יכולה להסביר את הבחירה של המורה טל לשלב בהוראה שלה פעילויות ספציפיות מתוך דגם ההוראה בהוראה הרגילה שלה, ללא הצמדות לרצף המוצע בספר הלימוד. ממצאי שאלוני RG של טל מוצגים באיור 6. איור 6 (B-A) מלמד על המבנים האישיים במבנה הידע של המורה טל לפני (A) ולאחר (B) תהליך ההוראה. לפני תהליך ההוראה המורה הציפה 5 מבנים דו-קוטביים ולאחר תהליך ההוראה 6 מבנים. ניתוח המבנים הדו-קוטביים מצביע על דמיון בין המבנים לפני ולאחר תהליך ההוראה. שלושה (מתוך חמישה) מבנים דו-קוטביים אשר מופיעים במארג ה-RG של המורה טל לפני תהליך ההוראה, מופיעים גם בסוף התהליך. המבנים הם: (1) עקרון ביולוגי---דוגמא ספציפית ממערכת ההובלה, (2) מובל במערכת ההובלה---אינו מובל במערכת ההובלה, (3) קשור למבנה במערכת ההובלה---קשור לתפקיד מערכת ההובלה. גם האלמנטים, אותם העלתה המורה, נותרו ללא שינוי משמעותי (11 מתוך 12 זהים בשני השאלונים). בדומה לכך, הרייטינג של האלמנטים על גבי המבנים הדו-קוטביים לפני ולאחר תהליך לא עבר שינוי ניכר. בשני המארגים ניתן לזהות שלושה מקבצי אלמנטים דומים (איור 6). הכותרות אותן הציעה המורה בראיון לכל אחת מהקבוצות הן: קב' 1 "מושגים הקשורים להובלת הדם במערכת ההובלה", קב' 2 "מושגים המתארים את התהליכים המרכזיים במערכת ההובלה", קב' 3- "מושגים הקשורים להרכב הדם".

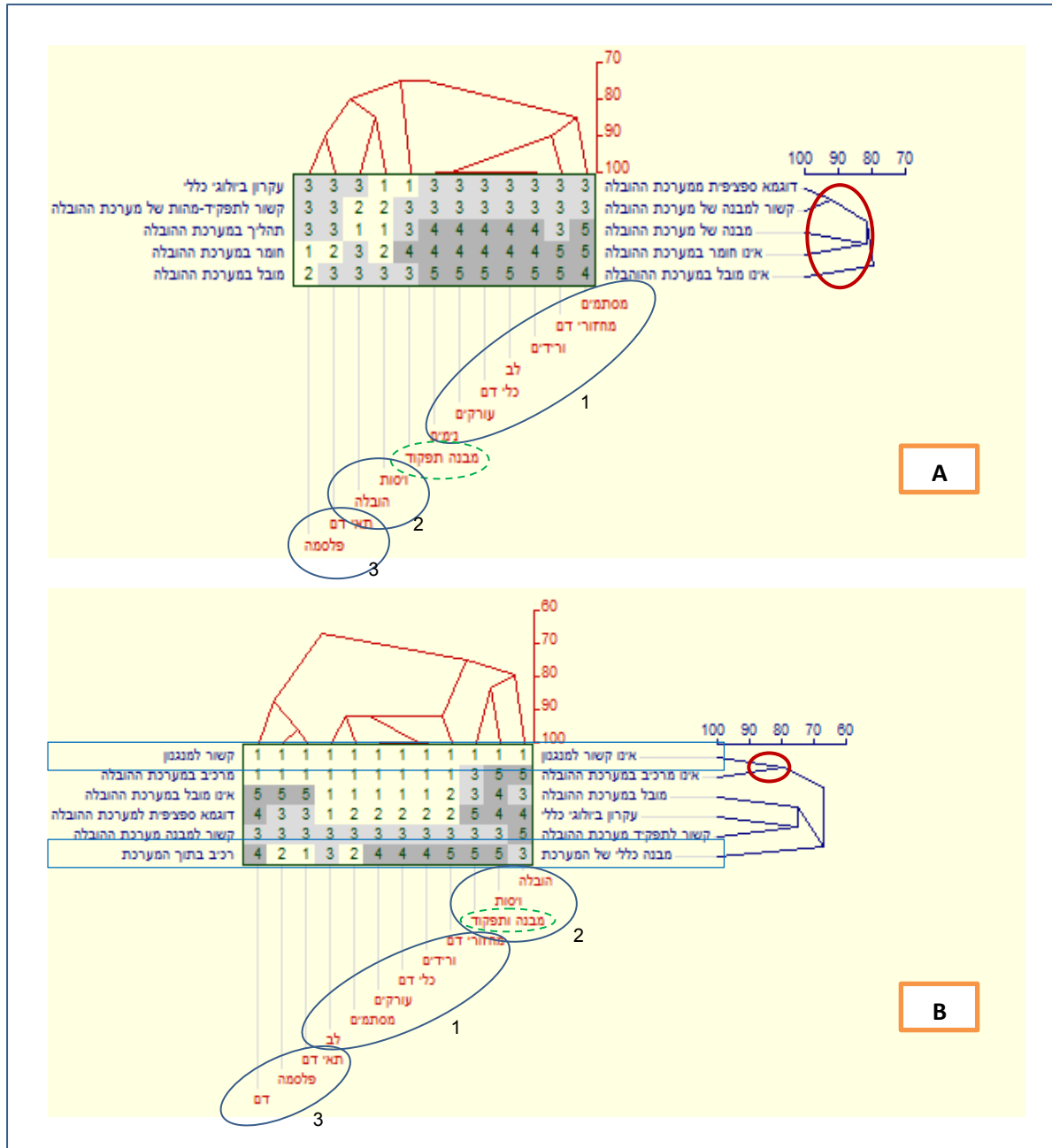
למרות שנראה שלא חלה התפתחות משמעותית במבנה הידע של המורה בעקבות תהליך ההוראה, יש לתת את הדעת להבדלים הקיימים בין מארגי RG לפני ולאחר תהליך ההוראה. אחד ההבדלים בא לידי ביטוי בשני המבנים החדשים שהתווספו למארג הידע של המורה בעקבות תהליך ההוראה וכן מבנה דו-קוטבי אחד שעבר שינוי ועידון. המבנים החדשים הם: (1) "מבנה כללי של המערכת---רכיב בתוך המערכת", (2) "קשור למנגנון---אינו קשור למנגנון" (איור 6, B). מבנים חדשים אלו בעלי חשיבות מנקודת מבט מערכתית שכן הראשון מרמז על כך שהמורה אימצה את הרעיון שמערכת מורכבת מרכיבים שונים והשני על כך שהיא למדה לייחס חשיבות למנגנון המתקיים במערכת, כלומר להבנה כי הרכיבים פועלים יחד. מה שמחזק הנחה זו הם הדברים אותם אמרה המורה טל בראיון, כאשר נשאלה על הקשיים של התלמידים

בחשיבה מערכתית: "היכולת לקשר בין המרכיבים השונים תלויה בהבנת התהליכים. כאשר מבינים תהליך לא צריך לזכור בעל פה את המבנה וכך קל להם יותר לזכור ולקשר".

המבנה שעבר שינוי הוא "חומר במערכת---אינו חומר במערכת", מבנה זה הפך ל"מרכיב במערכת---אינו מרכיב במערכת", גם שינוי זה מעיד על אימוץ נקודת מבט מערכתית הרואה במערכת מכלול הבנוי מרכיבים. ניתוח הרייטינג שהמורה נתנה לאלמנטים על גבי המבנה "קשור למנגנון---אינו קשור למנגנון" מלמד על כך שהמורה טל רואה את כל רכיבי מערכת ההובלה כקשורים למנגנון המערכת, כל האלמנטים זכו ברייטינג 1 (איור 6, B). שינויים אלו יכולים להעיד על כך שההיבט של מערכת ההובלה כמכלול הבנוי מרכיבים הפועלים בשיתוף פעולה קיבל משנה תוקף במבנה הידע של המורה.

השוואה בין שני המארגים מעלה ממצא מעניין הקשור לאלמנט "מבנה ותפקוד". במארג המציג את ארגון הידע לפני תהליך ההוראה (איור 6, A), אלמנט זה מנותק מכל האלמנטים האחרים (דמיון נמוך מ-80%), בעוד שבמארג המציג את ארגון הידע לאחר תהליך ההוראה (איור 6, B) הוא מקושר לאלמנטים "ויסות" ו"הובלה" (מעל 80% דמיון). מה שמרמז על יצירת קישור בין התהליכים המרכזיים במערכת (ויסות והובלה) למבנה והתפקוד של המערכת.

ממצא בעל חשיבות עולה מניתוח הדמיון בין המבנים הדו-קוטביים לפני ולאחר תהליך ההוראה. מארג RG לפני תהליך ההוראה מצביע על כך שמרבית המבנים קשורים זה לזה באופן הדוק (דמיון של 80% ומעלה בין ארבעה מתוך חמשת המבנים הדו-קוטביים), ואילו בסוף התהליך מרבית המבנים במארג קשורים באופן רופף (דמיון נמוך מ-80% בין ארבעה מתוך שישה המבנים הדו-קוטביים). ממצא זה מצביע על ערעור המבנה הראשוני ויכול לרמז על התפתחות מבנה הידע. ייתכן שהמורה נמצאת בתהליך התאמה (אקומודיציה). מעניין לציין כי בסוף התהליך, דמיון של 80% מתקיים רק בין שני מבנים דו-קוטביים: "אינו קשור למנגנון--קשור למנגנון ו-"אינו מרכיב במערכת ההובלה---מרכיב במערכת ההובלה", כלומר נראה שלתפיסתה של המורה טל מרכיב במערכת ההובלה קשור למנגנון.



איור 6- מארג RG של המורה טל המציג את מבנה הידע לפני (A) ולאחר (B) תהליך ההוראה.

המעגלים הכחולים מציגים את קבוצות האלמנטים הדומים, המעגלים האדומים מציגים את קבוצות המבנים הדו-קוטביים הדומים המרובעים מציגים את שני המבנים הדו-קוטביים החדשים, המעגל הירוק מציג את האלמנט שהיה מנותק מכל הקבוצות האחרות במארג pre (A). המספרים בחלק הימני של האיורים (בכחול) ובחלק העליון (באדום) מציינים את מידת הדמיון בין המבנים הדו קוטביים והאלמנטים (בהתאמה).

המורה רינה

המורה רינה בת 47, בעלת וותק של 20 שנות הוראה. השכלתה היא תואר ראשון בהוראת ביולוגיה וכימיה ותואר שני בהוראת המדעים בתחום הכימיה. כלומר, רינה היא היחידה מבין שלושת המורות המוצגות במחקר בעלת תואר בהוראת ביולוגיה וכימיה ולא תואר בתחום הדעת ביולוגיה. המורה מלמדת מדעים בחט"ב וכימיה בתיכון. בשנת איסוף הנתונים המורה לימדה את נושא מערכת ההובלה בגוף האדם במשך 14 שעות הוראה וקיבלה ליווי והכוונה ע"י החוקרת. הליווי כלל שני מפגשים לפני תחילת ההוראה בו הוצגו בפני המורה חומרי הלימוד ודגם ההוראה לפיתוח חשיבה מערכתית, כולל הרציונל העומד מאחוריהם. במקביל להוראה, המורה פנתה לחוקרת לצורך הבהרות בעניין פעילויות בדגם ההוראה והסברים במדריך למורה. המורה בנתה את השיעורים על פי רצף ההוראה של ספר הלימוד ואף עשתה שימוש בחלק מהפעילויות כשאלות במבחן.

רינה העידה על עצמה כי היא: "סומכת על הניסיון שלי והידע שלי... כל פעם יש איזה ספר חדש, יש ספרים שאני לא אוהבת אותם. נתנו לי אותם בכוח ואני בקושי מבינה את הסדר שלהם. מאוד קשה לי שבתור בן אדם אחראי, אני צריכה להשתמש בספר ולא הולך לי". על חומרי ההוראה-למידה החדשים העידה כי: "הספר הזה עזר לי כי יש פה הרבה דברים שמאוד קרובים לצורת המחשבה שלי. לפעמים אפילו סידרתי משהו שככה וככה אני אעשה בשיעור ופתאום מצאתי את זה כאן בספר ואז אמרתי לעצמי, למה אני עכשיו חיפשתי את האופניים, את הגלגל, כי יש את זה... זה עשה לי סדר". כלומר בדומה לעמליה, גם רינה מייחסת משקל רב לניסיון שלה בהוראה, ומציינת שעשתה שימוש בחומרי ההוראה-למידה החדשים כיוון שעלו בקנה אחד עם צורת החשיבה שלה.

ממצאי שאלוני RG של רינה מוצגים באיור 7. המארג המוצג באיור 7 מלמד על המבנים האישיים במבנה הידע של המורה רינה לפני (A) ואחרי (B) תהליך ההוראה. לפני תהליך ההוראה המורה הציפה 3 מבנים דו-קוטביים בלבד ואילו לאחר תהליך ההוראה 6 מבנים. חמישה מתוך ששת המבנים הדו-קוטביים במארג RG בסוף תהליך ההוראה הם מבנים חדשים (איור 7, B). ניתוח המבנים החדשים מנקודת מבט מערכתית מצריך התייחסות לשלושה מבין המבנים החדשים: (1) "קשור לתהליך--קשור למבנה", (2) "מערכת שלמה--חלק ממערכת", ו- (3) "רמת ארגון איבר---רמת ארגון רקמה" (איור 7, B). שלושת המבנים הללו מרמזים על התפתחות החשיבה המערכתית בשני היבטים: הבחנה בין מבנים ותהליכים במערכת (על כך מרמז המבנה הדו-קוטבי הראשון) וכן התייחסות לרמות הארגון השונות במערכת (על כך מרמזים המבנים הדו-קוטביים השני והשלישי).

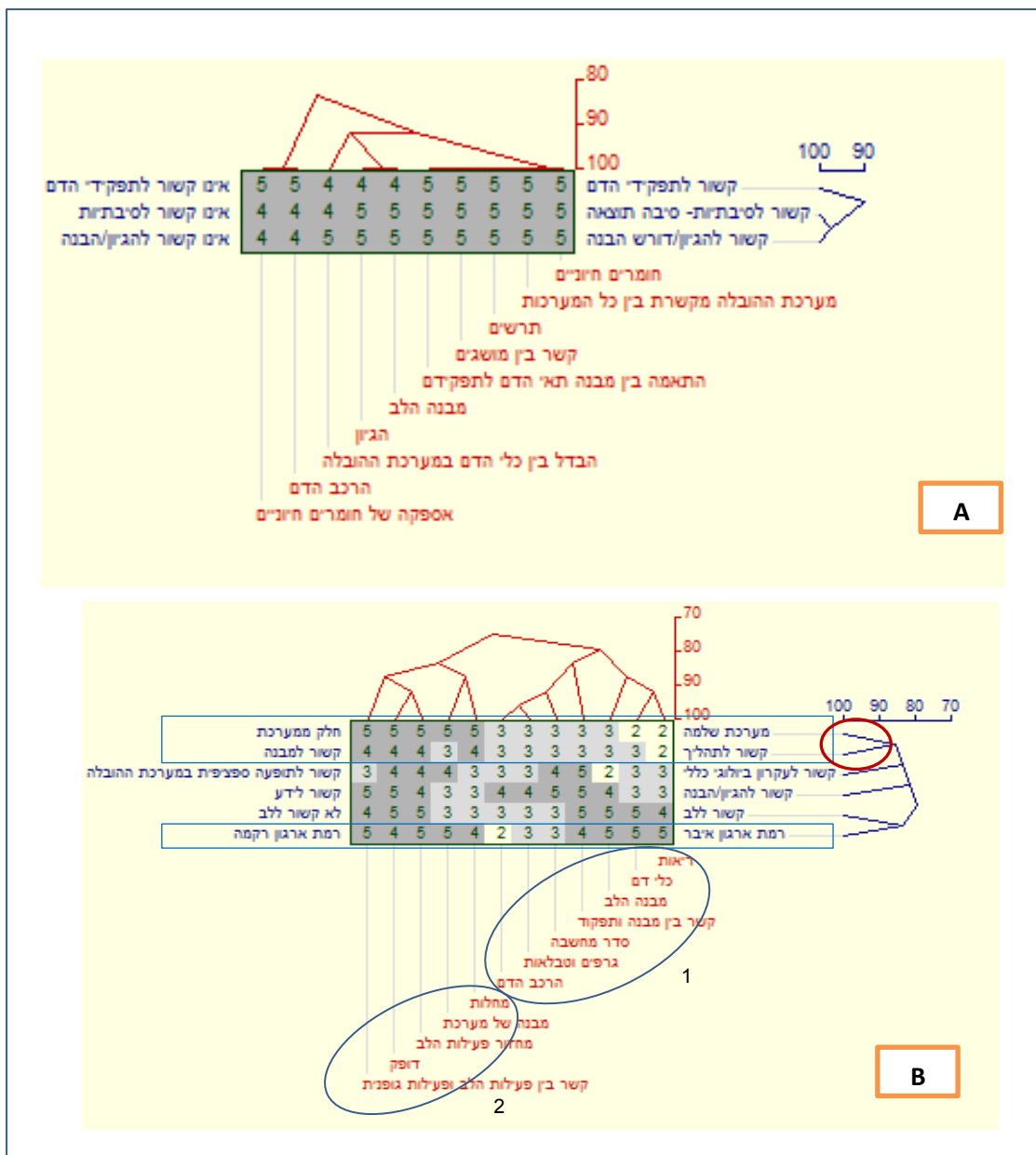
בדומה למבנים הדו-קוטביים גם רשימת האלמנטים עברה שינוי משמעותי, מרבית האלמנטים במארג RG לאחר תהליך ההוראה שונים מאלו שעלו לפני תהליך ההוראה. קיים דמיון בשני אלמנטים בלבד: "מבנה הלב" ו-"קשר/התאמה בין מבנה לתפקוד".

ניתוח הרייטינג במארג RG בסוף תהליך ההוראה (איור 7, B) מראה כי הרייטינג שניתן לאלמנטים על הרצף "קשור לתהליך--קשור למבנה" הוא 3 כלומר, נראה שהמורה רואה במרבית האלמנטים כקשורים

באותה מידה הן לתהליך והן למבנה (כך עולה מהריאיון המאזכר עם רינה). ממצא מעניין נוסף עולה מהדמיון (למעלה מ-80% דמיון) בין שני המבנים הדו-קוטביים: "מערכת שלמה---חלק ממערכת", "קשור לתהליך--קשור למבנה" וההקבלה שנוצרת עקב דמיון זה בין הקוטב: "מערכת שלמה" ו"קשור לתהליך", ובין הקוטב: "חלק ממערכת" ל"קשור למבנה" (איור 7, B). מה שמרמז על ההבנה שהמערכת בנויה ממכלול רכיבים המקיימים יחד תופעה מסוימת.

מארג המבנים והאלמנטים שנבנה לפני תהליך ההוראה לא מאפשר לזהות קבוצות של אלמנטים, זאת עקב מיעוט המבנים הדו-קוטביים, אותם הציפה המורה, והרייטינג הדומה בין האלמנטים. כתוצאה מכך נוצר דמיון של 80% ומעלה בין כל האלמנטים (איור 7, A). בעוד שבמארג שנבנה לאחר תהליך ההוראה ניתן לזהות שתי קבוצות גדולות בעלות דמיון של 80% כל אחת (איור 7, B).

לדברי המורה, המושגים השייכים לקבוצה הראשונה מתייחסים לרכיבי מערכת ההובלה אשר מהווים מערכת בפני עצמם, ואילו המושגים בקבוצה השנייה מתייחסים למאפיינים כלליים של מערכת ההובלה (איור 7, B) מה שמצביע על כך שהמורה אימצה את הרעיון שכל רכיב במערכת ביולוגית מהווה גם מערכת בפני עצמה. לסיכום, נראה כי מבנה הידע של המורה רינה אינו מגובש, מה שמסביר את התמורות הרבות שחלו בתוכן המושגי ובקשרים בין המושגים במערכת המנטאלית שלה. ניתוח הממצאים מנקודת מבט מערכתית מצביע על כך שבעקבות ההוראה חלה התפתחות בשני היבטים מרכזיים: הבחנה בין מבנים ותהליכים במערכת וכן זיהוי רמות ארגון במערכת.



איור 7- מארגי RG של המורה רינה המציגים את ארגון הידע לפני (A) ולאחר (B) תהליך ההוראה. המעגלים מציגים את קבוצות האלמנטים, המרובעים מציגים את שלושת המבנים הדו-קוטביים החדשים, המעגל האדום מצביע על הדמיון בין שני מבנים דו-קוטביים. המספרים בחלק הימני של האיורים (בכחול) ובחלק העליון (באדום) מציינים את מידת הדמיון בין המבנים הדו קוטביים והאלמנטים (בהתאמה).

הדמיון והשוני בין ממצאי RG של המורות במחקר

עד כה תוארו ממצאי ה-RG של כל אחת משלושת המורות בנפרד. בחלק זה נבחן את הדמיון והשוני במבנה הידע שלהן. כפי שניתן לראות בטבלה 15, ניתוח האלמנטים (מושגים) אותם הציפו המורות לפני תהליך ההוראה, מצביע על שוני רב בין המושגים אותם בחרה כל אחת מהמורות בהקשר לנושא מערכת ההובלה בגוף האדם. כל אחת מהמורות רשמה 12 מושגים, סה"כ התקבלו 27 מושגים שונים. מבין 27 מושגים, רק בשישה נמצא דמיון בין המורות (מושג אחד - "לב" הופיע אצל שלושת המורות וחמישה נוספים הופיעו אצל שתי מורות מתוך השלוש). בחינת המבנים הדו-קוטביים מראה כי לכל אחת מהמורות מבנים שונים בתכלית. מכאן שמארג הידע שהתקבל מניתוח ה-RG של כל אחת משלושת המורות הוא ייחודי ושונה. מה שמרמז על שוני בארגון הידע או מבנה קוגניטיבי שונה.

טבלה 15- רשימת אלמנטים אותם הציפו שלושת המורות ב-RG לפני תהליך ההוראה

אלמנטים	עמליה	טל	רינה
1 לב	+	+	+
2 וריד	+	+	
3 מסתם	+	+	
4 נים	+	+	
5 עורק	+	+	
6 מבנה ותפקוד		+	+
7 אבי העורקים	+		
8 חדר ימין	+		
9 חדר שמאל	+		
10 מחזור דם גדול	+		
11 מחזור דם קטן	+		
12 עלייה ימין	+		
13 עלייה שמאל	+		
14 הובלה		+	
15 וויסות		+	
16 כלי דם		+	
17 מחזורי דם		+	
18 פלסמה		+	
19 תאי דם		+	
20 אספקה של חומרים חיוניים			+
21 הבדל בין כלי דם המערכת ההובלה			+
22 הגיון			+
23 הרכב הדם			+
24 חומרים חיוניים			+
25 מערכת ההובלה מקשרת בין כל המערכות			+
26 קשר בין מושגים			+
27 תרשים			+

ניתוח הדמיון והשוני במבנים הדו-קוטביים מצביע על כך שלכל אחת מהמורות מערכת מבנים דו-קוטביים שונה בתכלית (איורים 5-7), כל המבנים הדו-קוטביים שונים אלו מאלו.

השוני הרב בין מארגי ה-RG, מקשה על יצירת השוואה ביניהם. לכן לצורך אפיון מבנה הידע הייחודי של המורות השונות שתיים מבין שלושת המורות התבקשו לבצע משימה נוספת. שתי המורות שנבחרו הן המורה עמליה והמורה טל, שתיהן עומדות במרכזו של חקר המקרה (המתואר בחלק ג' של פרק התוצאות, עמודים 75-91). בנוסף ל-RG האישי אותו ביצעו המורות, הן התבקשו לסווג שלשות של מושגים אותם בחרה המורה השנייה במסגרת RG שלה. כלומר, הצגתי בפני המורה טל שלשות של מושגים אותם בחרה המורה עמליה ובקשתי ממנה למיין את המושגים על פי ראות עיניה ולנמק את דרך המיון בהתאם לתפיסתה. באופן דומה, הצגתי בפני המורה עמליה שלשות של מושגים של המורה טל ובקשתי ממנה למיין ולנמק. בטבלה 16 מופיעות דוגמאות לדרך בה שתי המורות בחרו למיין את אותם המושגים. הדרך הייחודית בה כל אחת משתי המורות בחרה למיין את שלשות המושגים מאפשרת לזהות את המבנה הדומיננטי הייחודי של כל אחת מהמורות. כפי שניתן לראות בטבלה 16, המורה עמליה נוטה למיין את המושגים על בסיס רמות הארגון במערכת ואילו המורה טל נוטה לארגן את אותם המושגים תוך ההבחנה בין תהליכים במערכת.

טבלה 16- דוגמאות לנימוקים של שתי המורות למיון שלשות של מושגים המציגים מבנים דו-קוטביים אופייניים

מורה	שלשות מושגים			מושג יוצא דופן	נימוק (מדוע המושג יוצא דופן?)	מבנה דו-קוטבי
עמליה				תאי דם	לב ומסתמים הם ברמת איבר ואילו תא ברמת תא, מבחינת המדרג הביולוגי	איבר---תא (רמות ארגון)
טל	מסתמים	לב	תאי דם	תאי דם	לב ומסתמים הם חלק ממבנה מערכת ההובלה ותאי הדם מובלים בתוך המערכת	מובל---מוביל (תהליכים במערכת)
עמליה				תאי דם	עורקים וכלי דם הם ברמת ארגון איבר ואילו תאי דם ברמת תא	איבר---תא (רמות ארגון)
טל	עורקים	כלי דם	תאי דם	תאי דם	עורקים וכלי הדם הם מבנים אשר מובילים את הדם במערכת ההובלה ותאי הדם מובלים בתוך המערכת	מובל---מוביל (תהליכים במערכת)
עמליה				מערכת הובלה	דם ותאי הדם הם רכיבים במערכת ואילו מערכת ההובלה היא המערכת עצמה- אוסף של רכיבים בעלי תפקיד משותף	מערכת---רכיב (רמות ארגון)
טל	מערכת הובלה	תאי דם אדומים	דם	מערכת הובלה	דם/תאי הדם האדומים מובלים במערכת ההובלה, מערכת ההובלה היא הצנרת, המובילה את הדם/תאי הדם האדומים	מובל---מוביל (תהליכים במערכת)

בטבלה מתוארת הדרך בה כל אחת מהמורות בחרה למיין את שלשות המושגים של המורה השנייה והנימוקים למיון.

לסיכום, הממצאים אשר עולים מניתוח ה-RG של שלושת המורות, אינם מצביעים על שינוי דרמטי במבנה הידע שלהן לפני ולאחר תהליך ההוראה באמצעות חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם. יחד עם זאת ההבדלים שנמצאו בין מארגי RG לפני ולאחר תהליך ההוראה בעלי חשיבות רבה. השוואה בין מארגי ה-RG לפני ולאחר תהליך ההוראה מרמזת על ערעור מבנים דו-קוטביים ראשוניים והוספה של מבנים חדשים. שינויים אלו הובילו לארגון מחדש של מבנה מארג הידע. השינויים במבנה מארג הידע של שלושת המורות, מרמזים על התפתחות המבנה הקוגניטיבי שלהן בעקבות השימוש בדגם ההוראה לפיתוח חשיבה מערכתית.

מנקודת מבט מערכתית ניתן לזהות התפתחות בשלושה היבטים של המערכת (בדומה למיומנויות שבמודל STH-BE): (1) הבחנה בין מבנים (רכיבים וקשרי מבנה) לתהליכים (קשרי תהליך), (2) קישור בין רכיבים ותהליכים לכדי מנגנון (מארג יחסי הגומלין), (3) הבחנה בין רמות ארגון במערכת. כל אחת משלושת המורות הציגה התפתחות בהיבטים אחרים.

הממצאים אשר עלו מניתוח RG של המורה עמליה מצביעים על התפתחות בשלושה היבטים, השינוי המהותי במבנה מארג ה-RG בתום תהליך ההוראה של המורה עמליה בא לידי ביטוי במקום המרכזי של המבנים העוסקים ברמות ארגון במערכת.

ניתוח והשוואה בין מארגי ה-RG של המורה טל מרמז על כך שמבנה הידע שלה עבר ארגון מחדש ונמצא בשלב התאמה לידע הקיים. ההתפתחות המרכזית באה לידי ביטוי בקישור בין רכיבי המערכת לכדי מנגנון המתקיים במערכת ודגש על תהליכים במערכת.

המורה שעברה את התפתחות הגדולה ביותר במבנה הידע שלה, על פי ממצאי ה-RGT היא המורה רינה. ההתפתחות המשמעותית במבנה הידע שלה מרמז על כך שהידע שלה בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם אינו מגובש. מנקודת מבט מערכתית, נראה שבעקבות ההוראה חלה התפתחות בשני היבטים: הבחנה בין מבנים לתהליכים, תוך מתן דגש על תהליכים המתקיימים במערכת, וקישור בין רכיבים ותהליכים לכדי מנגנון.

חלק ג': תיאור חקר מקרה

שאלת מחקר 4- באיזה אופן רמת החשיבה המערכתית באה לידי ביטוי בשיח הכיתתי?

בחלק זה מתוארים שני חקרי מקרה (case studies). במרכזו של כל אחד מהם עומדת מורה המלמדת את נושא מערכת ההובלה בגוף האדם באמצעות אותם חומרי הוראה-למידה המשלבים דגם הוראה לפיתוח חשיבה מערכתית בביולוגיה. שתי מורות (המורה טל והמורה עמליה) בעלות מאפיינים שונים מבחינת גיל, ותק ורקע אקדמי (מאפייני המורות מופיעים בטבלה 6 עמוד 46), מלמדות ביולוגיה בכיתות מדעיות בשני בתי ספר שונים. לצורך בחינת השאלה באיזה אופן רמת החשיבה המערכתית באה לידי ביטוי בשיח הכיתתי, נותחו 6 שיעורים (3 שיעורים לכל מורה). שניים מביין שלושת השיעורים מייצגים נקודות זמן שונות בתהליך ההוראה-למידה: התחלת התהליך- שיעור 1 ולקראת סוף התהליך- שיעור 10. ושיעור נוסף (לכל

מורה) המייצג שימוש בפעילות מדגם ההוראה (שיעור 5 של המורה עמליה ושיעור 9 של המורה טל). השיקולים בבחירת השיעורים מפורטים בפרק מתודולוגיה (עמודים 39-40).

מכלל הרבדים של השיח הכיתתי בחרתי להתמקד בתוכן השיח הביולוגי מנקודת מבט מערכתית. לצורך ניתוח השיח בכיתה גובש מחוון לניתוח שיח כיתתי מנקודת מבט מערכתית (טבלה 17), מחוון זה מבוסס על המודל STH-BE המעודכן (טבלה 8 בעמוד 53).

כל תור דיבור סווג בהתאם לרמת החשיבה המערכתית על סמך הקטגוריות המופיעות במחוון (טבלה 17). כלומר קיבל ערך בין 1-8. תורי דיבור בהם אין התייחסות לחשיבה מערכתית קיבלו ציון 0. כך למשל, שני תורי הדיבור הבאים קיבלו ציון 0: "אז בואו נתחיל עם אלון, בבקשה" (המורה טל, הקלטה 0059VN, תור מספר 5) ו"אני לא רוצה להתעכב על זה, אם אתם אומרים שאתם זוכרים זה מספיק טוב בשבילי" (המורה עמליה, הקלטה 550077, תור 35).

על מנת לתאר את מהלך השיעור מנקודת מבט מערכתית, תורי הדיבור של המורה והתלמידים הוצגו באמצעות גרף לאורך ציר זמן (ציר X מתאר את רצף תורי הדיבור בסדר עוקב לארוך השיעור), ערכי רמת החשיבה המערכתית של תורי הדיבור (בהתאם לרמות המתוארות בטבלה 17) מוצגים על ציר Y. בגרף קיימת הבחנה בין תלמידים (המסומנים בריבוע כחול) לבין המורה (המסומנת במשולש אדום), אין הבחנה בין תלמידים שונים בגלל קושי טכני להבחין בין קולות התלמידים בהקלטת השיעורים. על פי רוב, בדיונים בשתי בכיתות השתתפו תלמידים שונים. גרפים 7-13 מציגים את קטעי השיעורים הנבחרים.

טבלה 17- מחוון לניתוח שיח כיתתי מנקודת מבט מערכתית על פי מודל STH-BE

רמה גבוהה	רמה בסיסית	ניתוח שיח	שלבים בפיתוח חשיבה מערכתית
(2) רמות ארגון שונות	(1) רמת ארגון אחת	אמירה הכוללת מושג בודד או מושגים ללא תיאור הקשר ביניהם	היכולת לזהות רכיבים במערכת
(4) קשרי תהליך	(3) קשרי מבנה	אמירה הכוללת זוג או זוגות של מושגים ומתארת קשר בין מושגים באותה רמת ארגון	היכולת לזהות קשרים בין רכיבים- לכידות אופקית
(6) קשרי תהליך	(5) קשרי מבנה	אמירה הכוללת זוג או זוגות של מושגים ומתארת קשר בין מושגים ברמות ארגון שונות	היכולת לזהות קשרים בין רכיבים- לכידות אנכית
(8) רמות ארגון שונות	(7) רמת ארגון אחת	אמירה הכוללת שלושה מושגים או יותר ומתארת יחסי גומלין ביניהם (מנגנון)	היכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג של יחסי גומלין

המספרים 1-8 המופיעים בטבלה, מייצגים את הרמה ההיררכית של חשיבה מערכתית, כאשר 1 זו הרמה הנמוכה ביותר ו-8 זו הרמה הגבוהה ביותר.

ניתוח השיעורים של המורה עמליה

בשיעורים של עמליה נעשה שימוש בכלים מתודיים שונים: מצגות, ניסויים, משימות מספר הלימוד (אותן מבצעים התלמידים בזמן השיעור, בזוגות וביחידים), הזמנה של תלמידים ללוח (לצורך ציור, השלמת טבלה, כתיבת תשובה).

ראשית אנתח את שני השיעורים המייצגים נקודות זמן שונות בתהליך הלמידה- שיעור 1 ושיעור 10 (גרפים 7-8) תוך התייחסות לדמיון ולשוני ביניהם. קטע משיעור 1 (גרף 7, עמוד 81) מייצג את התחלת התהליך. קטע זה עוסק בנושא חשיבות מערכת ההובלה ביצורים רב תאיים ואילו קטע משיעור 10 (גרף 8, עמוד 81) מייצג את סוף התהליך ועוסק בכלי דם. מספר תורי הדיבור בשני קטעי השיעור דומה: בשיעור הראשון, 109 תורי דיבור (גרף 7, עמוד 81), ובשיעור העשירי 121 תורי דיבור (גרף 8, עמוד 81). היחס בין מספר תורי הדיבור של המורה לזה של התלמידים דומה גם כן: בשיעור הראשון, 50 תורי דיבור של התלמידים ו-59 תורי דיבור של המורה, ובשיעור העשירי, 54 תורי דיבור של התלמידים ו-67 תורי דיבור של המורה. מעניין לציין כי מספר המילים הממוצע, אותן אומרת המורה בשני קטעים אלו הוא 1114 ואילו מספר המילים הממוצע אותן אומרים התלמידים הוא 219. כלומר 84% מהשיח בקטעים אלו מובל ע"י המורה. מכאן שעל אף הדמיון במספר תורי הדיבור נראה שהמורה דומיננטית ביחס לתלמידים במהלך השיח הכיתתי והתלמידים אומרים משפטים קצרים.

בשיעור הראשון והעשירי ניתן לזהות רוטינה אופיינית: המורה מפנה שאלה אל תלמידיה, תלמיד עונה (לפעמים התלמידים עונים במקלה), המורה שואלת שאלה נוספת או אמירה מכוונת במטרה להעמיק ולמקד את הדיון, בסוף היא מסכמת את הנאמר ומרחיבה. רוטינה זו תוארה בספרות כשיח במבנה טריאדי- (Scott, Mortimer, & Aguiar, 2006) IRF/IRE.

דוגמא (שיעור 1, גרף 7 עמוד 81, המספרים מייצגים את תור הדיבור).

- 225 מורה: האם יצור זה [יצור חד תאי] יכול להיחשב למערכת? (רמת חשיבה מערכתית 7)
- 226 תלמיד: כן, הוא מתאים להגדרה של מערכת (רמת חשיבה מערכתית 7)
- 227 מורה: נכון, אמרנו שניתן להתייחס ליצור חד תאי כאל מערכת. אך האם יש לו מערכת הובלה? (רמת חשיבה מערכתית 5)
- 228 תלמיד: כן (רמת חשיבה מערכתית 0)
- 229 מורה: אתה חושב שכן, אני רוצה להחזיר אתכם למדרג הביולוגי. זוכרים שדיברנו עליו? (רמת חשיבה מערכתית 0)
- 230 תלמידים: כן (רמת חשיבה מערכתית 0)
- 231 מורה: אמרנו שגוף האדם מורכב ממערכות, המערכות מורכבות מ? (רמת חשיבה מערכתית 5)
- 232 תלמיד: איברים (רמת חשיבה מערכתית 5)
- 233 מורה: איברים, יפה. איברים בנויים מ? (רמת חשיבה מערכתית 5)

- 234 מורה: ללא מחברת, תענו לי על פי חשיבה, לא לפתוח מחברת (רמת חשיבה מערכתית 0)
- 235 תלמיד: האברים מורכבים מרקמות (רמת חשיבה מערכתית 5)
- 236 מורה: יפה, רקמות מ...? (רמת חשיבה מערכתית 5)
- 237 תלמיד: תאים (רמת חשיבה מערכתית 5)
- 238 מורה: יפה, תאים. תאים מכילים...? (רמת חשיבה מערכתית 5)
- 239 תלמיד: אברונים (רמת חשיבה מערכתית 5)
- 240 מורה: יפה מאוד! מאברונים. האם יש לנו רקמות בתוך התא? (רמת חשיבה מערכתית 5)
- 241 תלמיד: לא (רמת חשיבה מערכתית 5)
- 242 מורה: יפה, האם יש לנו מערכת בתוך התא? לא. כפי שהגדרנו אותה במדרג הביולוגי, לא. אבל מה כן יש לנו בייצור החד תאי? יש לנו מנגנונים המעבירים חומרים ממקום אחד לשני, בתוך התא אך לא מדובר במערכת כפי שהגדרנו אותה במדרג הביולוגי. (רמת חשיבה מערכתית 8)

ככלל, בשני השיעורים המורה היא זו ששואלת את השאלות בשיעור, אף על פי שניתן להבחין במקרים בודדים בהם השאלות נשאלות על ידי תלמידים. במקרים אלו לרוב המורה מחזירה את השאלה לכיתה.

דוגמא (שיעור 10, גרף 8, עמוד 81).

67 תלמיד: רגע, נכון אמרנו שאל הנימים, דרך הדופן נכנסת פסולת מהתאים וכלי הדם

מובילים את הפסולת... מה הלב עושה עם הפסולת? (רמת חשיבה מערכתית 7)

68 מורה: הלב לא עושה עם הפסולת שום דבר... (רמת חשיבה מערכתית 6)

69 תלמיד: אז מה קורה עם הפסולת? (רמת חשיבה מערכתית 6)

70 מורה: תגיד לי אתה [מה קורה עם הפסולת] (רמת חשיבה מערכתית 6)

מנקודת מבט מערכתית, ההשוואה בין שני השיעורים מרמזת על התפתחות שעברו התלמידים. כך ניכר שבשיעור הראשון מספר תורי הדיבור הגבוה ביותר של התלמידים מצוי על הציר המייצג את רמת החשיבה המערכתית הנמוכה ביותר (16 תורי דיבור ברמת חשיבה מערכתית 1, בעוד שברמות החשיבה הגבוהות יותר המספר המקסימלי של תורי הדיבור הוא 7). לעומת זאת, בשיעור העשירי מספר תורי הדיבור הגבוה ביותר של התלמידים מצוי על הציר המייצג את רמת חשיבה מערכתית 3 (23 תורי דיבור ברמת חשיבה מערכתית 3 בעוד שברמות הנמוכות יותר מצויים 8 תורי דיבור בלבד). כלומר, נראה שהחלק המרכזי בשיח של התלמידים עבר מביטוי של היכולת הבסיסית לזהות רכיבים במערכת ברמת ארגון אחת לביטוי היכולת לזהות קשרי מבנה בין רכיבי המערכת ברמת ארגון אחת.

התפתחות נוספת באה לידי ביטוי בשוני בהיקף תורי הדיבור ברמת חשיבה מערכתית 0. אם בשיעור השני (מתוך 50) תורי דיבור של תלמידים מתארים אמירות ברמת חשיבה מערכתית 0, בשיעור העשירי ניתן

לזהות 2 (מתוך 54) אמירות בלבד. מעניין לראות שאמירות ברמת חשיבה מערכית 0 באו על פי רוב בעקבות שאלה או אמירה של המורה ברמת חשיבה מערכית גבוהה.

דוגמא (שיעור 1, גרף 7 עמוד 81).

255 מורה: לכל היצורים הרב תאיים יש מערכת הובלה שתפקידה לאפשר תיאום בין כל המערכות בגופנו. אנחנו נתעסק במערכת ההובלה בגוף האדם. אך מערכות הובלה קיימות בכל היצורים הרב תאיים המפותחים. בצמחים למשל ובחוקים המערכות הללו שונות. ביונקים ובבעלי החוליות יש לנו התקדמות גדולה במערכת ההובלה מבחינת המבנה והתפקוד של הלב. הלב של הדגים למשל שונה מהלב של היונקים. פעם אם יהיה לכם חשק וזמן תוכלו לחקור את הנושא, כי הנושא הוא מרתק. לחקור את התפתחות הלב כתהליך אבולוציוני. אפשר לדמיין שאולי הייצור הבא, יותר מתקדם מבחינה אבולוציונית, יהיה עם לב יותר מפותח משלנו. (רמת חשיבה מערכית 8)

256 תלמיד: שהיינו בכיתה ו ניתחנו לב של חזיר... (רמת חשיבה מערכית 0)

ממצא מעניין נוסף הוא דיונים המתפתחים הודות לרצף שאלות המורה בהם נשמרת רמת חשיבה מערכית אחידה (קטעי דיון אלו מסומנים במעגלים אדומים בגרפים 7-8). כלומר, בקטעי הדיון המענה שהתלמידים נותנים לשאלות המורה הוא ברמת חשיבה מערכית זהה לרמת השאלות.

דוגמא (שיעור 1, גרף 7 עמוד 81)

287 מורה: מה מאפיין את העורקים? הרכב של הדם בתוכם או כיווניות? (רמת חשיבה מערכית 3)

288 תלמיד: הכיווניות (רמת חשיבה מערכית 3)

289 מורה: יפה הכיווניות! עורקים תמיד יוצאים מ...? (רמת חשיבה מערכית 3)

290 תלמידים: יוצאים מהלב (רמת חשיבה מערכית 3)

291 מורה: עורקים יוצאים מהלב, וורידים תמיד באים...? (רמת חשיבה מערכית 3)

292 תלמידים: אל הלב (רמת חשיבה מערכית 3)

293 מורה: ורידים נכנסים אל הלב (רמת חשיבה מערכית 3)

במהלך כל אחד משני השיעורים רמת החשיבה המערכית של הדיונים, בהם המורה שואלת את השאלות והתלמידים עונים, משתנה. כלומר, נראה שהמורה מובילה את הדיונים בשיעור כך שיתנו מענה לתלמידים ברמות חשיבה מערכית שונות.

בשיעור הראשון ניתן לזהות שלושה רצפי שיה מרכזיים (המסומנים בגרף 7, עמוד 81) המתקיימים ברמות חשיבה מערכית 1,3,5 (בהתאם לרמות המתוארות בטבלה 17, עמוד 76) בעוד שבשיעור העשירי מופיעים

שבעה דיונים (מסומנים בגרף 8, עמוד 81) ברמות חשיבה מערכתית 1,3,6,7,8 (בהתאם לרמות המתוארות בטבלה 17, עמוד 76). ממצא זה מרמז על התפתחות היכולת של התלמידים לענות על שאלות המורה ברמת חשיבה מערכתית מתאימה וכן על התקדמות של חלק מתלמידי הכיתה לרמות חשיבה מערכתית גבוהות יותר, כלומר היכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג יחסי גומלין (ברמת ארגון אחת ובין רמות ארגון). גם רמת שאלות התלמידים מרמזת על התקדמות ברמת החשיבה המערכתית. אם בשיעור הראשון התלמידים ממעטים בשאלת שאלות המצביעות על חשיבה מערכתית (סה"כ נשאלו 5 שאלות, מתוכן 4 ברמת חשיבה מערכתית 1 ושאלה אחת ברמת חשיבה מערכתית 3), בשיעור העשירי התלמידים שואלים יותר שאלות, ברמות חשיבה מערכתית שונות (שאלה אחת ברמת חשיבה מערכתית 2, שתי שאלות ברמת חשיבה מערכתית 3, שלוש שאלות ברמת חשיבה מערכתית 6 ואף שתי שאלות ברמת חשיבה מערכתית 7).

דוגמא (שיעור 1, גרף 7 עמוד 81)

306 תלמיד: ורידים הם בדרך כלל כחולים? (רמת חשיבה מערכתית 1)

דוגמא (שיעור 10, גרף 8, עמוד 81)

67 תלמיד: רגע, נכון אמרנו שאל הנימים, דרך הדופן נכנסת פסולת מהתאים וכלי הדם

מובילים את הפסולת... מה הלב עושה עם הפסולת? (רמת חשיבה מערכתית 7)

ממצא בולט נוסף הוא שבשיעור הראשון שאלות או אמירות של המורה ברמת חשיבה מערכתית 7 ו-8 זוכות לרוב להתייחסות של התלמידים ברמת חשיבה מערכתית נמוכה יותר או אינן זוכות להתייחסות רלוונטית כלל, בעוד שבשיעור העשירי אמירות המורה זוכות למענה הולם.

דוגמא (שיעור 1, גרף 7 עמוד 81)

305 מורה: יש לנו תרשים, שמראה לנו את הורידים, העורקים והנימים. כשעורק נהיה קטן יותר

בקוטר שלו הוא נקרא עורקיק, הוא נהיה קטן עוד יותר ונקרא נימ. כשהנימים מתחילים

להתנקז לצינורות רחבים יותר נקרא להם ורידונים והם מתנקזים לורידים. אסמן באדום וכחול

לצורך המחשה בלבד אבל אני לא רוצה שתתקבעו על הצבעים. כי יש עורק שיוצא מהלב,

מחדר ימין והולך לריאות הוא עורק אבל הדם עני בחמצן, לעומת זאת יש את וריד הריאה

305 (המשך) שחוזר אל הלב והוא עשיר בחמצן ולכן עניין הצבעים עלול לבלבל ואנחנו נתייחס

לכיווניות (רמת חשיבה מערכתית 8)

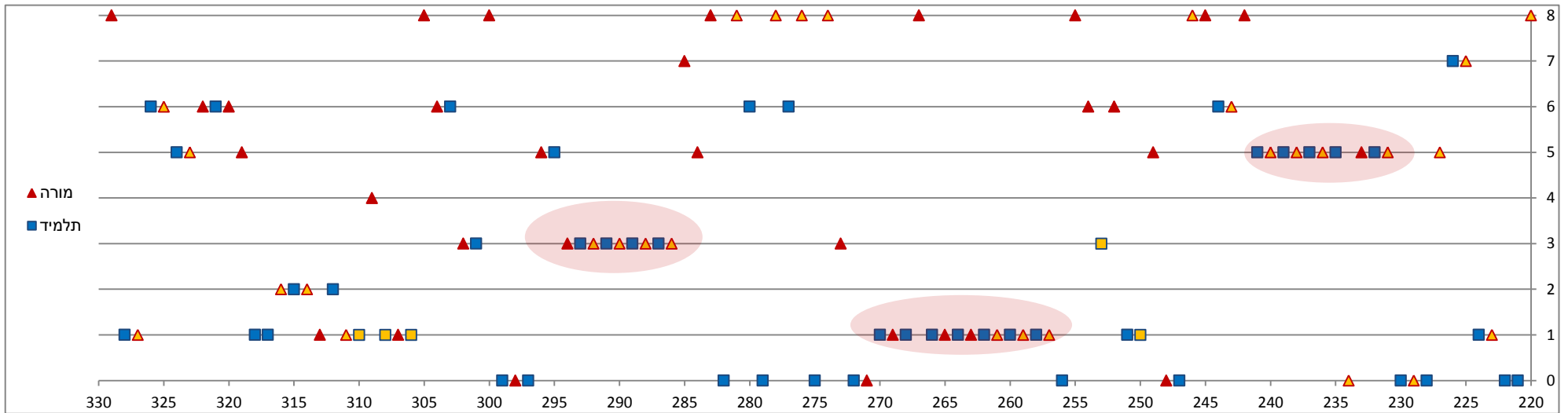
306 תלמיד: ורידים הם בדרך כלל כחולים? (רמת חשיבה מערכתית 1)

דוגמא (שיעור 10, גרף 8, עמוד 81)

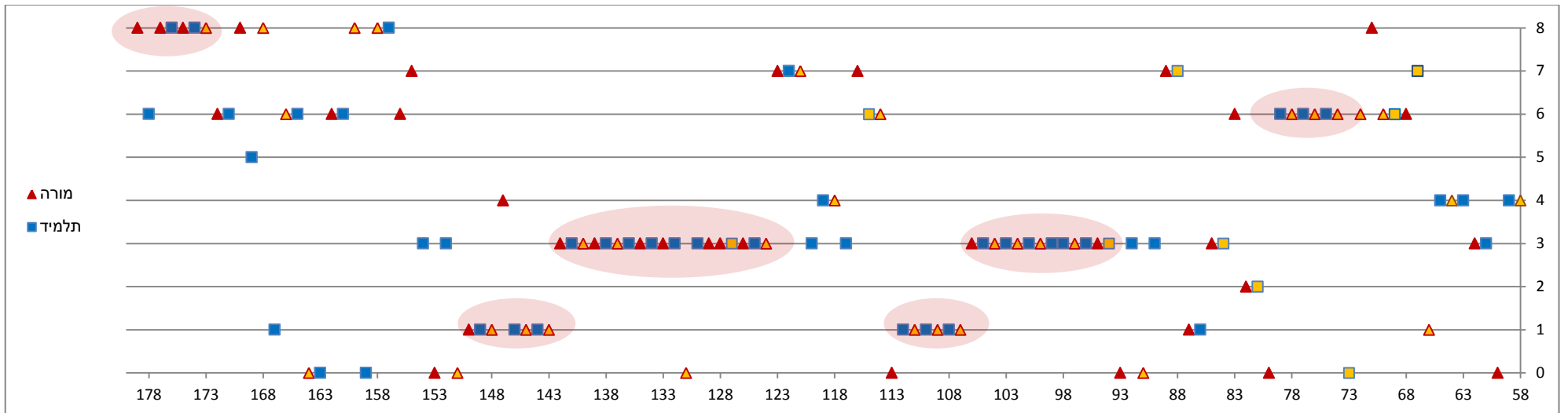
175 מורה: נכון, כאשר אוכלים תפוח אדמה העלייה בכמות הגלוקוז בדם מתונה יותר... דרך

אגב, ההמלצה לאכול שוקולד במבחן היא לא בהכרח טובה, כיוון ש...? (רמת חשיבה מערכתית 8)

176 תלמידים: כן, אם אוכלים שוקולד אז במהלך המבחן כמות הגלוקוז יורדת (רמת חשיבה מערכתית 8)



גרף 7: שיעור 1 של המורה עמליה (הקלטה VN550052). בנושא חשיבות מערכת ההובלה ביצורים רב תאיים. בצהוב מסומנות שאלות. במעגלים האדומים מסומנים קטעי דיון ברמת חשיבה מערכתית אחידה, העוסקים בנושא אחד. בציר X- תורי דיבור 109 תורי דיבור סה"כ (50 תלמידים, 59 מורים). בציר Y רמת חשיבה מערכתית לפי טבלה 17 (עמוד 76).



גרף 8: שיעור 10 של המורה עמליה (הקלטה VN550065). בנושא כלי דם בגוף האדם. בצהוב מסומנות שאלות. במעגלים האדומים מסומנים קטעי דיון ברמת חשיבה מערכתית אחידה, העוסקים בנושא אחד. בציר X- תורי דיבור 121 תורי דיבור סה"כ (54 תלמידים, 67 מורים). בציר Y רמת חשיבה מערכתית לפי טבלה 17 (עמוד 76).

קטע מהשיעור החמישי (גרף 9, עמוד 84) מבוסס כולו על פעילות מספר הלימוד (פעילות המופיעה בעמוד 132 בספר). קטע זה עוסק בנושא חשיבות מערכת ההובלה בגוף האדם. קטע שיעור זה כולל 99 תורי דיבור, מתוכם 49 תורי דיבור של התלמידים ו-50 תורי דיבור של המורה. שיעור זה עשיר בשאלות, כמחצית תורי הדיבור הם למעשה שאלות (40 מתוך 103 תורי דיבור הן שאלות). השאלות נשאלות הן על ידי התלמידים (19 שאלות) והן על ידי המורה (21 שאלות). כאשר התלמידים הם אלו ששואלים את השאלות, הרוטינה האופיינית היא שאותו התלמיד או תלמיד אחר עונה על השאלה ותפקיד המורה הוא לחדד את השאלה ו/או התשובה ולשאל שאלות הבהרה על מנת למקד את הדיון ולסכם את הנאמר.

דוגמא (שיעור 5, גרף 9, עמוד 84)

40 תלמיד: סכמו במילים שלכם מהי חשיבותה של מערכת ההובלה בגוף האדם [מקריא מהספר]

בלי מערכת ההובלה לא יכולנו לתפקד כי לא היו מגיעים חומרים לתאים.

(רמת חשיבה מערכתית 8)

41 מורה: האם זה מספיק להגיד שחומרים לא היו מגיעים לתאים? (רמת חשיבה מערכתית 6)

42 תלמידים: לא (רמת חשיבה מערכתית 0)

43 מורה: אביטל, האם זה מספיק להגיד שחומרים לא היו מגיעים לתאים?

(רמת חשיבה מערכתית 6)

44 תלמידה: לא, כיוון שבלי מערכת ההובלה לא היינו יכולים לחיות (רמת חשיבה מערכתית 6)

45 מורה: אשאל שוב ותקשיבו טוב לשאלה. האם מספיק לציין שחומרים חיוניים לא היו מגיעים

לתאים? (רמת חשיבה מערכתית 6)

46 תלמיד: צריך להתייחס גם לסילוק פסולת מהתאים (רמת חשיבה מערכתית 6)

47 מורה: פסולת מסולקת מהתאים. אני חוזרת שוב, מערכת ההובלה מספקת חומרים חיוניים לתאים

וגם מסלקת פסולת מהתאים (רמת חשיבה מערכתית 8)

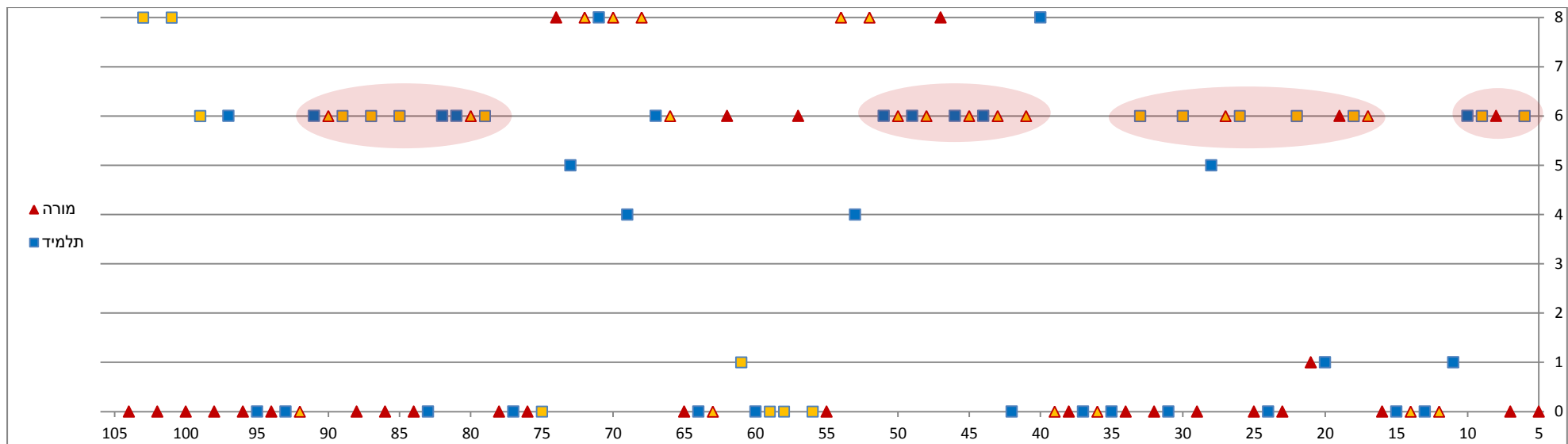
שוני נוסף במבנה מהלך השיעור הוא המשקל שתופסים תורי דיבור (45% מכלל תורי הדיבור) שאינם עוסקים בתוכן המבטא חשיבה מערכתית (ערך 0 מבחינת החשיבה המערכתית). תורי דיבור אלו עוסקים, רובם ככולם בפרוצדורות הקשורות לניהול כיתה בהקשר לשימוש בספר הלימוד וביצוע המטלות.

דוגמא (שיעור 5, גרף 9, עמוד 84)

12 מורה: מה זה אולי, לא עשית את זה בבית? (חשיבה מערכתית 0)

13 תלמיד: עשיתי אבל אני לא בטוח. (חשיבה מערכתית 0)

מנקודת מבט מערכתית, הממצא המרכזי העולה מניתוח השיח הוא שמרבית השיח המערכתי של התלמידים (22 תורי דיבור מתוך 33) מתקיים ברמת חשיבה מערכתית 6. כלומר שיח המבטא את היכולת לזהות קשרי תהליך בין רכיבים ברמות ארגון שונות. למעשה כל הדיונים בהם נשמרת רמת חשיבה מערכתית אחידה מתקיימים ברמת חשיבה מערכתית 6, כלומר דנים על קשרי תהליך בין רכיבים ברמות ארגון שונות. מכאן נראה שהשאלות המופיעות בספר הלימוד מכוונות לדיון על קשרי תהליך בין רמות ארגון. חשוב לסייג ולומר שספר הלימוד לא נותח במסגרת המחקר, אך אחת מהמטרות המוצהרות שלו הייתה- דגש על ייצוג קונספטואלי מבוסס תפקוד (עקרונות עיצוב חומרי הוראה-למידה, עמוד 45).



גרף 9:- שיעור 5 של המורה עמליה (קלטת VN0059). קטע המבוסס על פעילות מספר הלימוד (עמוד 132), בנושא חשיבות מערכת ההובלה בגוף האדם. בצהוב מסומנות שאלות. במעגלים האדומים מסומנים קטעי דיון ברמת חשיבה מערכתית אחידה, העוסקים בנושא אחד. בציר X – תורי דיבור 99 תורי דיבור סה"כ (49 תלמידים, 50 מורים). בציר Y רמת חשיבה מערכתית לפי טבלה 17 עמוד 76).

ניתוח השיעורים של המורה טל

טל היא מורה צעירה, לכן בנוסף לשימוש בחומרי הלימוד החדשים בלט בשיעוריה האתגר שבניהול כיתה. בדומה לעמליה, גם טל מקפידה לשלב מצגות, ניסויים והזמנה של תלמידים ללוח (לצורך ציור וכתובת תשובות).

ראשית אנתח את שני השיעורים המייצגים נקודות זמן שונות בתהליך הלמידה- שיעור 1 (גרף 10, עמוד 88) ושיעור 10 (גרף 11, עמוד 88) תוך התייחסות לדמיון ולשוני ביניהם. קטע משיעור 1 (גרף 10, עמוד 88) מייצג את תחילת תהליך ההוראה-למידה. קטע זה עוסק בנושא חשיבות מערכת ההובלה ביצורים רב תאיים ואילו קטע משיעור 10 (גרף 11, עמוד 88) מייצג את סוף התהליך ועוסק בכלי הדם בגוף האדם. מספר תורי דיבור בשני קטעי השיעור דומה: בשיעור הראשון- 97 תורי דיבור (גרף 10, עמוד 88), ובשיעור העשירי- 70 תורי דיבור (גרף 11, עמוד 88). כך גם היחס בין מספר תורי הדיבור של המורה לזה של התלמידים: בשיעור הראשון- 46 תורי דיבור של התלמידים ו-51 תורי דיבור של המורה ובשיעור העשירי- 34 תורי דיבור של התלמידים ו-36 תורי דיבור של המורה. מעניין לציין כי מספר המילים הממוצע, אותן אומרת המורה בשני קטעים אלו הוא 824 ואילו מספר המילים הממוצע אותן אומרים התלמידים הוא 140. כלומר 85% מהשיח בקטעים אלו מובל ע"י המורה. מכאן שעל אף הדמיון במספר תורי הדיבור נראה שהמורה דומיננטית ביחס לתלמידים במהלך השיח הכיתתי והתלמידים אומרים משפטים קצרים.

הבחנה בין תורי הדיבור של המורה לאלו של תלמידיה מלמדת על רוטינה אופיינית. המורה מפנה שאלה אל תלמידיה, התלמידים מגיבים לשאלה (בתשובה או שאלה משלהם), המורה חוזרת על התשובה, נותנת משוב ושואלת שאלה נוספת. רוטינה זו תוארה בספרות כשיח במבנה טריאדי- IRF/IRE (Scott et al., 2006). ניכר שהתלמידים ממעטים לשאול שאלות במהלך השיעורים. רצף השיח נקטע פעמים רבות כתוצאה מהפרעות משמעת.

דוגמא (שיעור 1 גרף 10, עמוד 88)

36 מורה: התא הזה [מצביעה על איור שעל הלוח] בשביל להתקיים, זקוק לחומרים שונים

מהסביבה. מה הוא עושה? הוא מקבל חומרים כמו... (חשיבה מערכתית 6)

37 תלמיד: מזון (חשיבה מערכתית 1)

38 תלמיד: חמצן (חשיבה מערכתית 1)

39 מורה: מזון וחמצן... מה עוד? (חשיבה מערכתית 2)

41 תלמיד: מים, מים (חשיבה מערכתית 1)

42 מורה: מים (חשיבה מערכתית 1)

43 מורה: מה עוד הוא צריך? אמרנו שחד תא זקוק לחמצן לקיום שלו (חשיבה מערכתית 6)

44 מורה: איפה את לבונה? את לא כאן היום... (חשיבה מערכתית 0)

45 מורה: חד תא הוא יצור הבנוי מתא אחד. דרך אגב יש לכם את ההגדרה הזו במחברות

מתחילת השנה. לדוגמה סנדלית. סנדלית זה חד תא שדומה לסנדל. (חשיבה מערכתית 3)

מנקודת מבט מערכתית, הממצא הבולט אשר עולה מניתוח השיעור הראשון הוא חוסר ההתאמה בין רמת החשיבה המערכתית של המורה לבין זו של תלמידיה (גרף 10, עמוד 88). כלומר המורה נוטה לשאול שאלות ולתאר תופעות ברמת חשיבה מערכתית גבוהה מזו של התלמידים.

כך למשל, מספר תורי הדיבור בהם המורה מדברת ברמה חשיבה מערכתית גבוהה (רמות 5-8) הוא 17 (מתוך 52 תורי דיבור של המורה) ואילו מספר תורי הדיבור של התלמידים ברמות אלו הוא 2 (מתוך 46 תורי דיבור של התלמידים) (גרף 10, עמוד 88). גם בשיעור העשירי (גרף 11, עמוד 88) ניכר פער בין רמת החשיבה המערכתית אשר באה לידי ביטוי בתורי הדיבור של המורה לאלו של תלמידיה, אף על פי שניתן לזהות התפתחות מסוימת בכך שהפער הצטמצם מעט, כך בשיעור העשירי מספר תורי הדיבור בהם המורה מדברת ברמת חשיבה מערכתית גבוהה (רמות 5-8) הוא 11 (מתוך 36) ואילו מספר תורי הדיבור של התלמידים ברמות אלו הוא 3 (מתוך 34) (גרף 11, עמוד 88).

בדומה לשיעור הראשון של המורה עמליה, גם בשיעוריה של המורה טל ניכר ששאלות או אמירות המזמנות מענה ברמת חשיבה מערכתית גבוהה (רמה 5 ומעלה) זוכות לרוב לתשובות ברמת חשיבה מערכתית נמוכה יותר. חוסר התאמה זה פוגע בהתפתחות דיונים פוריים ברמת חשיבה מערכתית אחידה. בניגוד למורה עמליה, אצל המורה טל גם בשיעור העשירי ניתן להבחין בחוסר התאמה זה.

דוגמא (שיעור 10, גרף 11, עמוד 88)

- 45 מורה: ...יש מקרים קיצוניים שבהם הסתיימה היא מוחלטת, וכמו שאמרתם, לא יגיע לתאים חמצן ומזון, ואז תאים יכולים למות ואפילו לגרום לנמק. אפשר לראות כאן תמונה של עורק [מצביעה על האיור המצגת], תסתכלו איך הוא [מראה סרטון, בו ניתן לראות היווצרות משקע בעורקים] גדל, זאת המסגרת שלו, הוא כמעט לגמרי נסתם. כמה מסוכן זה יכול להיות? אם אותו עורק מוביל את הדם אל הלב, אז מה זה אומר? (רמת חשיבה מערכתית 8)
- 46 תלמיד: לא יהיה חמצן בלב? (רמת חשיבה מערכתית 4)
- 47 תלמיד: זה אומר שיש לך עורקים... (רמת חשיבה מערכתית 1)
- 48 תלמיד: אז ... כאילו החמצן בלב...? (רמת חשיבה מערכתית 2)
- 49 מורה: יפה, אם הסתיימה הזאת תהיה בעורק שמגיע אל הלב, אז בעצם הלב לא יקבל חמצן. הלב הוא שריר שלא מקבל חמצן, מה יקרה ללב? (רמת חשיבה מערכתית 8)
- 50 תלמיד: מת (רמת חשיבה מערכתית 1)

ככלל ניתוח שני השיעורים הנ"ל אינו מצביע על התפתחות משמעותית בחשיבה המערכתית של התלמידים. יחד עם זאת ניתן לזהות התפתחות מסוימת שבאה לידי ביטוי בדיונים הנוצרים בכיתה בהם נשמרת רמת חשיבה מערכתית אחידה (מסומן בגרף 10, עמוד 88). בשיעור הראשון דיונים מסוג זה מתפתחים רק ברמת חשיבה מערכתית 1. כלומר, שאלות המורה מצריכות יכולת זיהוי רכיבים במערכת ברמת ארגון אחת, על פי רוב רמת מאקרו, ואילו בשיעור העשירי ניתן לזהות דיונים ברמת חשיבה מערכתית אחידה (מסומן בגרף

11, עמוד 88) ברמות 3 ו-4. כלומר, שאלות המורה מצריכות יכולת זיהוי קשרי מבנה וקשרי תהליך ברמת ארגון אחת. בהקשר זה חשוב לסייג ולומר שגם בשיעור העשירי מתקיימים רק שני דיונים מסוג זה.

דוגמא (שיעור 1, גרף 10, עמוד 88)

62 מורה: תסתכלו מה קורה ביצור רב תאי. לפני זה, מה זה יצור רב תאי? [מציירת מספר

תאים על הלוח] (רמת חשיבה מערכתית 1)

63 תלמיד: יש לו הרבה תאים (רמת חשיבה מערכתית 1)

64 תלמיד: כמה תאים (רמת חשיבה מערכתית 1)

65 מורה: יצור הבנוי ממספר תאים (רמת חשיבה מערכתית 1)

66 תלמיד: אנחנו רב תאי? (רמת חשיבה מערכתית 1)

67 מורה: שאלה טובה, מה אנחנו? (רמת חשיבה מערכתית 1)

68 תלמיד: אנחנו רב תאי (רמת חשיבה מערכתית 1)

דוגמא (שיעור 10, גרף 11, עמוד 88)

26 מורה: תסתכלו למטה, כאן אפשר לראות את הרעיון של עבודת המסתמים. רואים את

זרימת הדם שעולה למעלה, זרימת הדם שעולה למעלה, אבל כשהוא מנסה לזרום למטה מה

קורה למסתם? [מראה סרטון] (רמת חשיבה מערכתית 4)

27 תלמיד: הוא [המסתם] חוסם אותו [את הדם] [מצביעה על האיור שבמצגת]

(רמת חשיבה מערכתית 4)

28 מורה: הוא נסגר. ואז בעצם הדם לא יכול לזרום למטה, מצוין.

(רמת חשיבה מערכתית 4)

29 תלמיד: והמסתם עובד לבד כאילו? (רמת חשיבה מערכתית 4)

30 מורה: המסתמים עובדים כמו דלת שיכולה להיפתח רק לצד אחד, אז הדם ייכנס מכאן

[מצביעה על איור שבמצגת] ומכאן אי אפשר יהיה לפתוח, אוקי? (רמת חשיבה מערכתית 4)

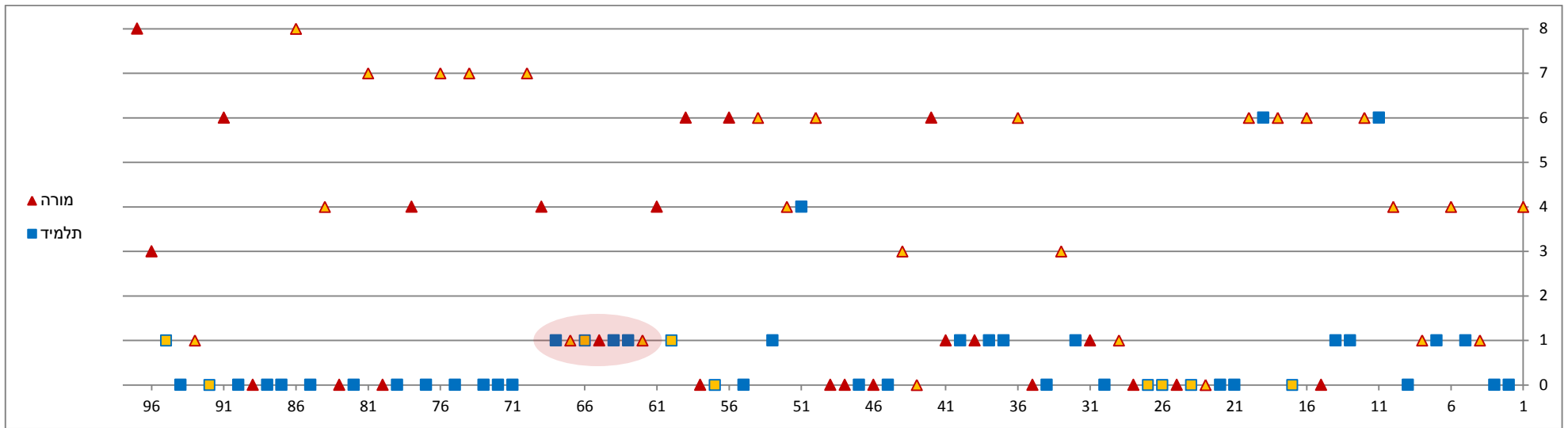
ממצא נוסף אשר יכול להעיד על התפתחות קלה בחשיבה המערכתית של התלמידים הוא ההשוואה בין רמת השאלות אותן מעלים התלמידים, מנקודת מבט מערכתית. בשיעור הראשון התלמידים שואלים 2 שאלות בלבד ברמת חשיבה מערכתית 1 ואילו בשיעור העשירי התלמידים שואלים שאלות רבות יותר ברמות חשיבה מערכתית מגוונות (3 שאלות ברמת חשיבה מערכתית 1 ו- 2 שאלות ברמת חשיבה מערכתית 4).

דוגמא (שיעור 1, גרף 10, עמוד 88)

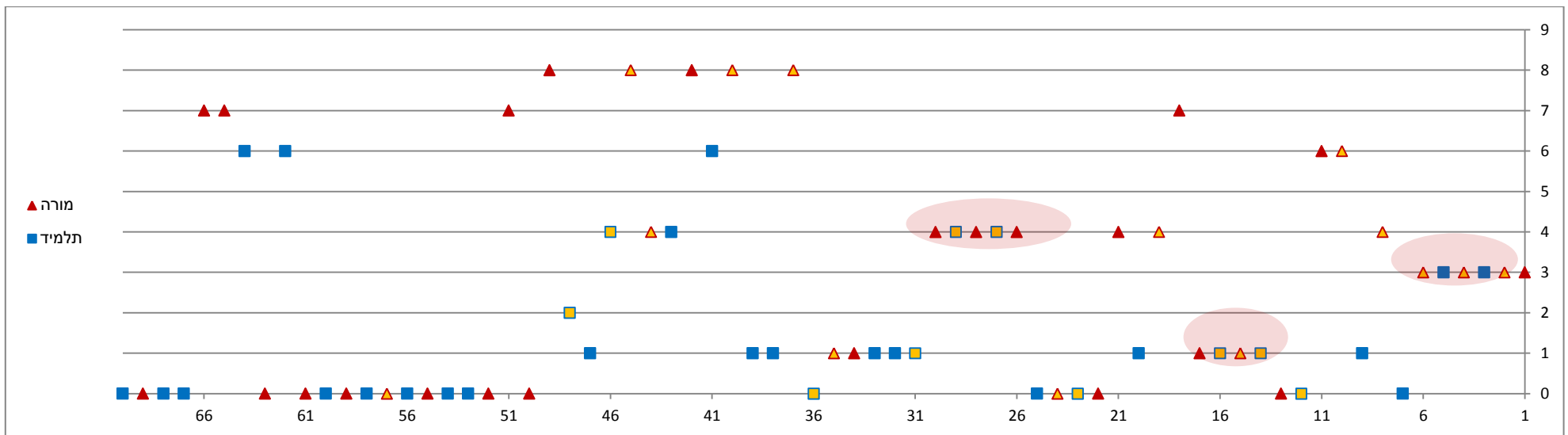
61 תלמיד: מה זאת אומרת? מה זה פסולת? (רמת חשיבה מערכתית 1)

דוגמא (שיעור 10, הקלטה VN550100)

27 תלמיד: המסתם חוסם אותו [את הדם]? (רמת חשיבה מערכתית 4)



גרף 10: שיעור 1 של המורה טל (הקלטה 550077). בנושא חשיבות מערכת ההובלה ליצורים רב תאיים. בצהוב מסומנות שאלות. במעגלים האדומים מסומנים קטעי דיון ברמת חשיבה מערכתית אחידה, העוסקים בנושא אחד. בציר X – תורי דיבור 97 תורי דיבור סה"כ (46 תלמידים, 51 מורים). בציר Y רמת חשיבה מערכתית לפי טבלה 17 עמוד 76.

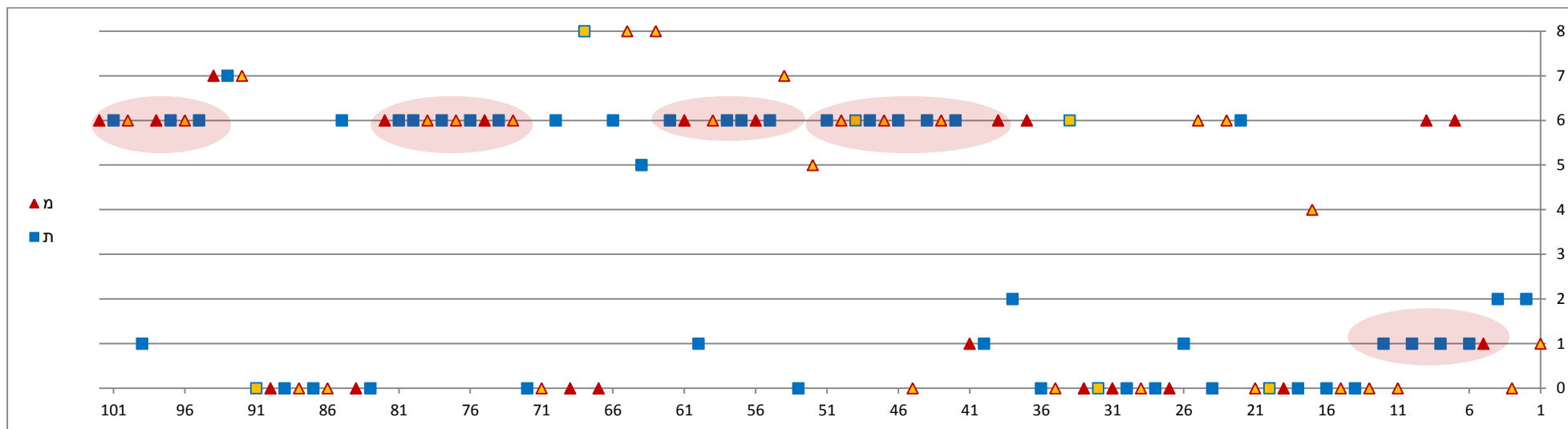


גרף 11: שיעור 10 של המורה טל (הקלטה VN550100). בנושא כלי הדם בגוף האדם. במעגלים האדומים מסומנים קטעי דיון ברמת חשיבה מערכתית אחידה, העוסקים בנושא אחד. בציר X – תורי דיבור 70 תורי דיבור סה"כ (35 תלמידים, 35 מורים). בציר Y רמת חשיבה מערכתית לפי טבלה 17 עמוד 76.

קטע השיעור התשיעי (גרף 12) מבוסס כולו על פעילות מספר הלימוד (פעילות המופיעה בעמוד 159 בספר). קטע זה עוסק בנושא כלי דם בגוף האדם. קטע שיעור זה כולל 102 תורי דיבור, מתוכם 50 תורי דיבור של התלמידים ו-52 תורי דיבור של המורה. בשונה מהשיעור החמישי של עמליה, שיעור זה דל יחסית בשאלות, אך בדומה לשיעורה של עמליה גם שיעור זה מתאפיין במעורבות רבה של התלמידים בשיח המבטא חשיבה מערכתית.

מנקודת מבט מערכתית, רצף שיעור זה מציג תמונה שונה בתכלית משיעוריה הטיפוסיים של המורה טל, כפי שתוארו לעיל (השיעור הראשון והשיעור העשירי). הממצא המרכזי העולה מניתוח השיח הוא שמרבית השיח המערכתי (44 תורי דיבור, מתוכם 21 שייכים לתלמידים ו-23 למורה) מתקיים ברמת חשיבה מערכתית 6. כלומר תורי דיבור המבטאים את היכולת לזהות קשרי תהליך בין רכיבים ברמות ארגון שונות. יתר על כן, בניגוד לשני השיעורים שתוארו לעיל המתאפיינים בדיונים ברמות חשיבה מערכתית נמוכות, בשיעור התשיעי מרבית הדיונים (4 מתוך 5) בהם נשמרת רמת חשיבה מערכתית אחידה מתקיימים ברמת חשיבה מערכתית 6. מכאן נראה שהשאלות המופיעות בספר הלימוד מכוונות את השיח בכיתה ומעודדות דיונים העוסקים בקשרי תהליך בין רכיבים במערכת ברמות ארגון שונות. כמו כן, נראה שההצמדות לפעילויות שבספר הלימוד מסייעת למורה ולתלמידיה לשמור על שיח ברמת חשיבה אחידה, מה שיוצר שיח פורה (בשיעור זה מתקיימים 5 דיונים, בעוד שבשיעור הראשון מתקיים דיון אחד בלבד ובשיעור העשירי שלושה דיונים).

מעניין לציין את הדמיון הקיים בין השיעור החמישי של עמליה לשיעור התשיעי של טל, שני השיעורים מבוססים על פעילות מספר הלימוד ובשניהם הממצא הבולט הוא קיום דיונים ברמת חשיבה מערכתית 6 והמקום המרכזי של התלמידים בשיעור. דמיון זה מחזק את הטענה שהשאלות המופיעות בספר הלימוד מכוונות לדיון על קשרי תהליך בין רמות ארגון. כאמור, ספר הלימוד לא נותח במסגרת המחקר, אך אחת מהמטרות המוצהרות שלו הייתה דגש על ייצוג קונספטואלי מבוסס תפקוד עקרונות עיצוב חומרי הוראה-למידה, עמוד 45).



גרף 12: שיעור 9 של המורה טל (הקלטה VN550094). קטע המבוסס על פעילות מספר הלימוד (עמוד 159), בנושא כלי דם בגוף האדם. במעגלים האדומים מסומנים קטעי דיון ברמת חשיבה מערכתית אחידה, העוסקים בנושא אחד. בציר X – תורי דיבור 102 תורי דיבור סה"כ (50 תלמידים, 52 מורים). בציר Y רמת חשיבה מערכתית לפי טבלה 17 עמוד 76

לסיכום, ההבחנה בין תורי הדיבור של המורות לאלו של תלמידיהן מראה על דמיון ברוטינה האופיינית בשתי הכיתות. המורות פותחות כל קטע תוכן חדש בשאלה המופנית אל התלמידים, תפקיד התלמידים הוא לענות על השאלות, המורה חוזרת על התשובה ובעקבות המענה מגיעה שאלה נוספת של המורה. כלומר בשתייהן מתקיים שיח במבנה טריאדי- IRF/IRE (Scott et al., 2006). יחד עם זאת, מנקודת מבט מערכתית נראה שלכל מורה סגנון שונה של ניהול השיח בשיעור. בעוד שעמליה מקפידה לפתח דיונים, בהם נשמרת רמת חשיבה מערכתית אחידה (כלומר התלמידים והמורה מדברים ברמת חשיבה מערכתית אחידה), טל מדברת על פי רוב ברמת חשיבה מערכתית גבוהה מזו של תלמידיה ובחלקים נרחבים בשיעור התלמידים נותרים ברמת חשיבה הנמוכה ביותר (רמת חשיבה מערכתית 1, כלומר אמירות המתארות רכיבים במערכת ברמת ארגון אחת). ככלל, מניתוח השיעורים נראה ששאלה המזמנת דיון ברמת חשיבה מערכתית אשר תואמת את רמת החשיבה המערכתית של התלמידים, מקדמות רב שיח פורה בין המורה לתלמידיה. כלומר, התלמידים עונים על השאלה ושומרים על רמת שיח מערכתי קבוע. לעומת זאת, שאלות המזמנות דיון ברמת חשיבה מערכתית גבוהה מזו של התלמידים אינן מקדמות דיון ומובילות למענה ברמת ארגון נמוכה יותר או זכות לחוסר תגובה של התלמידים.

נקודה מעניינת נוספת עולה מניתוח השיעורים המבוססים על פעילויות מספר הלימוד. ניתוח השיח המערכתי בשני השיעורים (המורה עמליה, שיעור 5, גרף 9, עמוד 84; המורה טל, שיעור 9 עמוד 81) מצביעה על דמיון רב במהלך השיח בשני השיעורים, זאת על אף השוני בין שתי המורות. נראה שהשאלות המופיעות בספר הלימוד מכוונות את השיח בכיתה כך שהשוני בין שתי המורות מטשטש. ייתכן כי הפעילות מתוך ספר הלימוד מסייעת הן למורה והן לתלמידיה לשמור על שיח ברמת חשיבה מערכתית אחידה. יתר על כן, בשתי הכיתות רמת השיח המערכתי המרכזי בשיעורים אלו היא 6. כלומר שיח המבטא את היכולת לזהות קשרי תהליך בין רכיבים ברמות ארגון שונות. מכאן נראה שהשאלות המופיעות בספר הלימוד מכוונות לדיון על קשרי תהליך בין רכיבים ברמות ארגון שונות. ממצאים אלו עולים בקנה אחד עם עקרונות העיצוב המרכזיים של חומרי ההוראה-למידה, המבוססים על הספרות: (1) התייחסות לרמות ארגון שונות וקישור בין רמות ארגון שונות (Verhoeff et al., 2008), וכן (2) הבחנה מפורשת בין מבנה, תפקיד ותפקוד בדגש על ייצוג קונספטואלי מבוסס תפקוד (Liu & Hmelo-Silver, 2009). השילוב בין שני עקרונות אלו הוביל לעיסוק רב בקשרי תהליך בין מרכיבים ברמות ארגון שונות. חשוב לסייג ולומר שעקרונות העיצוב הנחו את כתיבת יחידות הלימוד אך יחידות הלימוד לא נותחו במסגרת המחקר.

שאלת מחקר 5- האם קיימים קשרים בין מאפייני החשיבה המערכתית של המורים לתמורות שחלו בחשיבה המערכתית של תלמידיהם ומה טיבם של קשרים אלו?

על מנת לתת מענה לשאלת המחקר החמשית, בחנתי את התמורות בחשיבה המערכתית של התלמידים בשתי הכיתות (כפי שהן באות לידי ביטוי במפות המושגים, לפני ולאחר תהליך הלמידה) לאור המאפיינים הייחודיים של כל אחת משתי המורות המלמדות אותם (כפי שהם באים לידי ביטוי בשאלוני RG ובראיונות). בחלק ב' של פרק התוצאות, כמענה לשאלת מחקר 3 (עמודים 63-75), תוארו ממצאי RG של המורה טל והמורה עמליה, לפני ולאחר תהליך ההוראה באמצעות חומרי ההוראה-למידה החדשים. הממצאים אשר עלו מניתוח שאלוני RG של המורה עמליה מצביעים המרכזיות שתופסים המבנים הדו-קוטביים העוסקים ברמות ארגון במערכת במבנה הידע שלה. בראיון עמליה ציינה כי הקושי המרכזי של התלמידים הוא הקישור בין רמות ארגון שונות: "אני חושבת שהבעיה הכי גדולה של התלמידים זה המדרג הביולוגי, המדרג בכלל. תראי בכימיה למשל, לימדנו את התלמידים המצטיינים על מבנה האטום. תיארנו להם את המודל האטומי של בור, אז יש את הענן השלילי ובמרכז החלקים החיוביים, אז שאלנו את התלמידים איך נקרא החלק זה והם אמרו גרעין התא וזה תלמידים מצטיינים!!". כלומר, נראה שאף על פי שעמליה מייחסת חשיבות מרכזית לרמות ארגון כמארגן ידע בביולוגיה היא רואה את הקושי של התלמידים בחיבור בין רמות ארגון ומודעת לצורך של התלמידים ביצירת קשרים בין רכיבים ברמת ארגון אחת. אספקט זה בא לידי ביטוי גם בשיעורים של המורה עמליה, אשר הוצגו בחלק ג' בעבודה (עמודים 84-75). בשיעורים אלו ניכר שעמליה מרבה לשאול שאלות ולזמן דיונים המביאים לידי ביטוי את הקישור בין רכיבי המערכת ברמת ארגון אחת וכן את הקישור בין רכיבי המערכת ברמות ארגון שונות.

ניתוח והשוואה בין מארגי ה-RG של המורה טל מצביע על כך שהשינוי המרכזי במבנה הידע שלה בא לידי ביטוי בקישור בין רכיבי המערכת לכדי מנגנון המתקיים במערכת ודגש על תהליכים במערכת. בראיון טל ציינה כי הקושי המרכזי של התלמידים הוא הבנת תפקיד המערכת ברמת מאקרו: "... הרבה פעמים [המורים] נכנסים לפרטים ולמבנה ברמת המיקרו לפני שהתלמידים מבינים את תפקידי מערכת ההובלה במאקרו... [עבור התלמידים] חשוב להבין קודם את המקרו את מהותו של תהליך בכדי להיכנס למיקרו ולהבין כמה מדובר...". כלומר, נראה שטל שמה דגש על קשרי תהליך במערכת ובהקשר להוראה רואה חשיבות בתיאור המערכת ברמת ארגון מאקרו.

באופן טבעי נקודת המוצא, בתחילת תהליך הלמידה, של תלמידי שתי המורות היא שונה. תלמידיה של המורה טל הגיעו לתהליך הלמידה עם ידע דל בנושא מערכת ההובלה בהשוואה לתלמידיה של המורה עמליה. ממצא זה בא לידי ביטוי הן במספר הממוצע של המושגים (בכל הקטגוריות) והן במספר הממוצע של הקשרים מכל הסוגים (גרפים 13-16).

יחד עם זאת, מעניין לראות כי ההתפלגות היחסית בין המושגים בשלושת הקטגוריות (מושגים ברמת מאקרו, מיקרו וסאבמיקרו) מציגה תמונה זהה (גרפים 13-14). כלומר, לפני תהליך הלמידה הייצוג של המושגים ברמת מאקרו הוא הגבוה ביותר ואילו הייצוג של המושגים ברמת סאבמיקרו הוא הנמוך ביותר.

תלמידיה של המורה עמליה רשמו במוצע 5.88 מושגים ברמת מאקרו ורק- 0.41 מושגים במוצע ברמת סאבמיקרו (גרף 13). בדומה לכך, תלמידיה של המורה טל רשמו במוצע 3.87 מושגים ברמת מאקרו ורק- 0.07 מושגים במוצע ברמת סאבמיקרו (גרף 14).

בעקבות הלמידה, חלה עלייה במספר המושגים בשלושת הקטגוריות (גרפים 13-14 וטבלה 18). בגרפים 13-14 ניתן לראות את הדמיון הרב בין הכיתות של המורה עמליה והמורה טל מבחינת ההתפלגות היחסית של המושגים בשלושת הקטגוריות (מושגים ברמת מאקרו, מיקרו וסאבמיקרו) (גרפים 13-14). בדומה להתפלגות היחסית של המושגים לפני תהליך הלמידה, גם בתום הלמידה, מרבית המושגים הם ברמת מאקרו ומיעוט המושגים ברמת סאבמיקרו. בסיום תהליך הלמידה תלמידיה של המורה עמליה רשמו במוצע 9.02 מושגים למפה ברמת מאקרו ורק- 2.48 מושגים במוצע ברמת סאבמיקרו (גרף 13). בדומה לכך, תלמידיה של המורה טל רשמו במוצע 7.87 מושגים למפה ברמת מאקרו ורק- 1.40 מושגים במוצע ברמת סאבמיקרו (גרף 14). ניתוח השינוי שחל בייצוג רמות הארגון השונות במפות המושגים של התלמידים מראה כי תלמידיה של המורה עמליה הראו עליה של 3.14 מושגים במוצע למפה ברמת מאקרו (טבלה 18) ועלייה של 2.07 מושגים במוצע ברמת סאבמיקרו (טבלה 18). בעוד שתלמידיה של המורה טל הראו עליה של 4 מושגים במוצע למפה ברמת מאקרו ועליה של 1.33 מושגים במוצע למפה ברמת סאבמיקרו (טבלה 18). מכאן שאומנם העלייה במספר המושגים ברמת מאקרו היא הגבוהה ביותר, השיפור היחסי הגדול ביותר חל במספר המושגים ברמת סאבמיקרו, בקרב התלמידים של שתי המורות.

בדומה לניתוח ההתפלגות היחסית בין המושגים, גם ניתוח ההתפלגות היחסית של הקשרים בארבעת הקטגוריות (לכידות אופקית-קשרי מבנה, לכידות אופקית-קשרי תהליך, לכידות אנכית קשרי מבנה, לכידות אנכית-קשרי תהליך) מציגה תמונה דומה (גרפים 15-16) בקרב תלמידי שתי המורות, לפני תהליך הלמידה. כפי שניתן לראות בגרפים 15-16, לפני תהליך הלמידה הייצוג של קשרי תהליך באותה רמת ארגון (לכידות אופקית-קשרי תהליך) הוא הגבוהה ביותר ואילו הייצוג של קשרי תהליך בין רמות ארגון שונות (לכידות אנכית-קשרי תהליך) הוא הנמוך ביותר. תלמידיה של המורה עמליה רשמו במוצע 2.14 קשרים למפה מסוג לכידות אופקית-קשרי תהליך ורק- 0.50 קשרים למפה מסוג לכידות אנכית-קשרי תהליך (גרף 15). בדומה לכך, תלמידיה של המורה טל רשמו במוצע 0.87 קשרים למפה מסוג לכידות אופקית-קשרי תהליך ו- 0.270 קשרים למפה מסוג לכידות אנכית-קשרי תהליך (גרף 16).

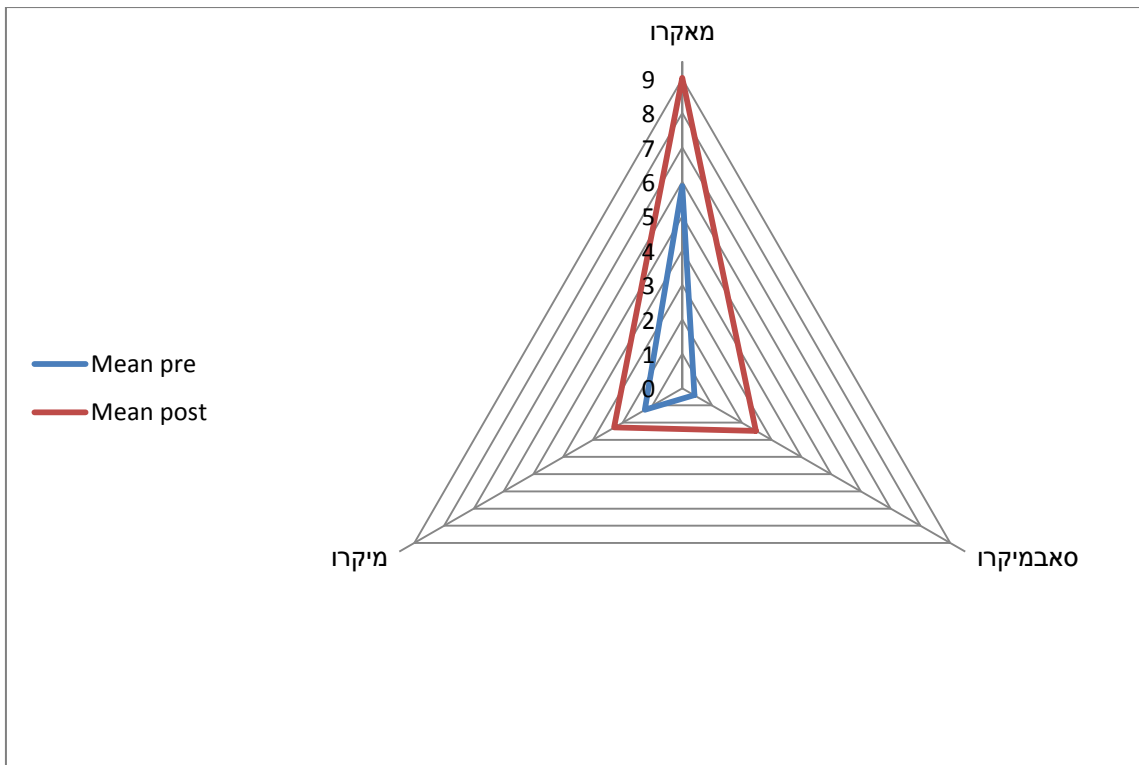
השוני המשמעותי בין הכיתות בא לידי ביטוי בתמורות שחלו בהתפלגות היחסית של ייצוג הקשרים השונים במפות המושגים של התלמידים (גרפים 15-16, טבלה 19). תלמידיה של המורה עמליה הציגו שיפור ניכר בכל סוגי הקשרים (גרף 15, טבלה 19), כאשר השיפור הגדול ביותר, עלייה של 2.79 קשרים במוצע למפה, חל בלכידות אנכית-קשרי תהליך (טבלה 19). ממצאים אלו עולים בקנה אחד עם מאפייני החשיבה המערכתית של המורה עמליה, אשר רואה את החשיבות המרכזית בקישור בין רכיבים ברמות ארגון שונות במערכת ההובלה בגוף האדם, אך גם מקפידה לשאול שאלות הנוגעות לקשרי מבנה בין רכיבים באותה רמת ארגון וברמות ארגון שונות וכן קשרי תהליך ברמת ארגון אחת (ראו תיאור שיעוריה של עמליה במענה לשאלת מחקר 4, עמודים 75-91).

בשונה מתלמידיה של המורה עמליה, תלמידיה של המורה טל הציגו שיפור משמעותי במספר הממוצע של קשרי תהליך בין מושגים באותה רמת ארגון (לכידות אופקית-קשרי תהליך), עליה של-3.13 קשרים בממוצע למפה, ושיפור מצומצם יותר בקשרים האחרים (טבלה 19). ממצאים אלו עולים בקנה אחד עם מאפייני החשיבה המערכתית של המורה טל אשר רואה חשיבות מרכזית בהוראה של נושא מערכת ההובלה בגוף האדם בדגש על קשרי תהליך בין רכיבים ברמת ארגון מאקרו.

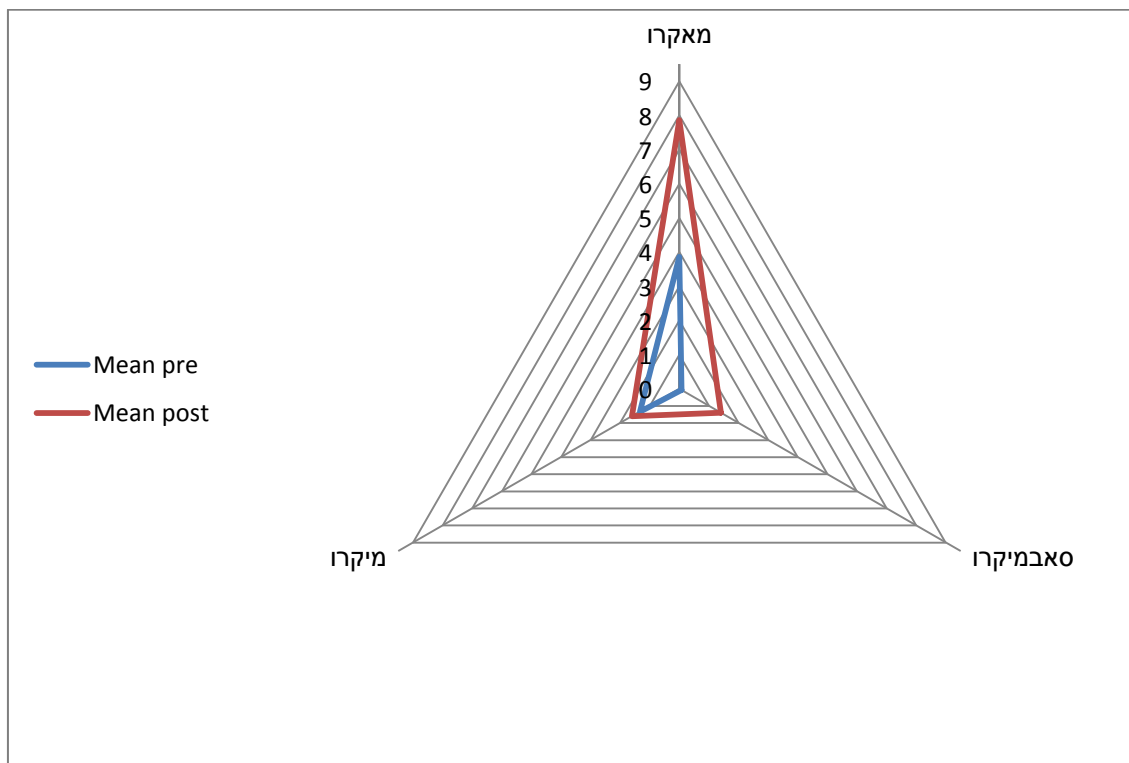
מעניין לבחון את הדמיון בין שתי הכיתות בנוגע לשיפור במספר הממוצע של קשרי תהליך ביחס לשיפור במספר הממוצע של קשרי מבנה במפות המושגים של התלמידים בסוף תהליך הלמידה (טבלה 19). בשתי הכיתות חל שיפור גדול יותר במספר הממוצע של קשרי תהליך ביחס לקשרי מבנה. כך בקרב תלמידיה של המורה עמליה ניתן לראות עלייה של 3.24 קשרי מבנה מול עלייה של 4.31 קשרי תהליך בממוצע, ואילו בקרב תלמידיה של המורה טל עלייה של 1.62 קשרי מבנה בממוצע ועלייה של 5.00 קשרי תהליך בממוצע (טבלה 19). תוצאות אלו נמצאות בהלימה עם אחת מהמטרות המוצהרות של ספר הלימוד: דגש על ייצוג קונספטואלי מבוסס תפקוד (עקרונות עיצוב חומרי הוראה-למידה, עמוד 45). כמו כן, הממצאים עולים בקנה אחד עם ממצאי ניתוח השיעורים אשר התבססו על ספר הלימוד, השיח המערכתי בשתי הכיתות התקיים סביב ביטוי היכולת לזהות קשרי תהליך (גרף 9 עמוד 84, גרף 12 עמוד 90).

לסיכום, ניתוח שינויים אלו לאור הממצאים אשר עלו משאלוני ה-RG, מפות המושגים והראיונות עם המורות, מעלה שני היבטים מרכזיים: הראשון מתייחס לרמות ארגון של רכיבי המערכת והשני מתייחס לסוג הקשרים (קשרי מבנה וקשרי תהליך) ומאיר את הקשר בין מאפייני החשיבה המערכתית של המורות לאלו של תלמידיהן. השוואה בין מאפייני החשיבה המערכתית של המורות לשינוי שחל במבנה הידע של תלמידיהן מצביעה על קשר אפשרי בין החשיבות שמורות מייחסות לקישור בין רמות הארגון במערכת, לבין הייצוג של קשרים במפות המושגים של תלמידי כיתתן. כך בקרב תלמידיה של המורה עמליה, אשר רואה חשיבות מרכזית בקישור בין רמות ארגון שונות במערכת אך גם מודעת לחשיבות של קישור בין רכיבים ברמת ארגון אחת, השיפור בחשיבה המערכתית של תלמידיה בא לידי ביטוי הן בזיהוי לכידות אופקית והן בזיהוי לכידות אנכית במערכת. בעוד שבקרב תלמידיה של המורה טל, אשר באופן ברור ועקבי מייחסת חשיבות לקשרי תהליך בין מושגים ברמת ארגון אחת (רמת מאקרו), ניכר שיפור משמעותי ביכולת שלהם לזהות קשרי תהליך לכידות אופקית ושיפור מצומצם ביכולת שלהם לזהות קשרים מסוגים אחרים במערכת. השיפור ביכולת זו הוא גבוה מזה של תלמידיה של המורה עמליה, אף על פי שהתלמידים של המורה טל התחילו מנקודת פתיחה נמוכה יותר מבחינת רמת החשיבה המערכתית.

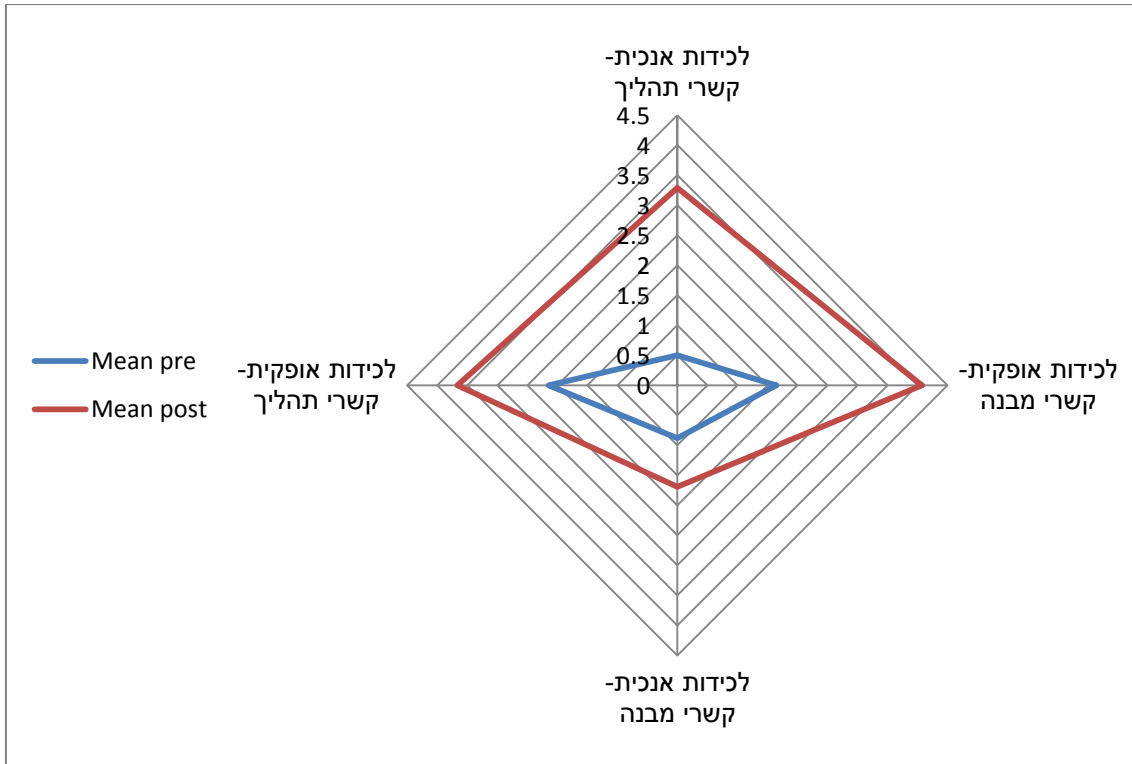
ככלל, הממצאים מצביעים על כך שתלמידיה של המורה עמליה הגיעו לרמת חשיבה מערכתית גבוהה יותר ביחס לתלמידיה של המורה טל. ניתן לייחס זאת למשתנים השונים המשפיעים על הכיתה כמערכת כמו אופי הכיתה, ידע פדגוגי שונה של המורות ונקודת הפתיחה השונה של התלמידים. ניתוח הממצאים המובאים בעבודה זו מבסס את ההשפעה של המורה על החשיבה המערכתית של תלמידיה ומצביע על כך שהמורה עמליה הצליחה יותר מהמורה טל ביצירת שיח מערכתי משמעותי ופורה בכיתה בכל רמות החשיבה המערכתית (ראו ממצאים העולים מניתוח השיעורים כמענה לשאלת מחקר 4, עמודים 91-75).



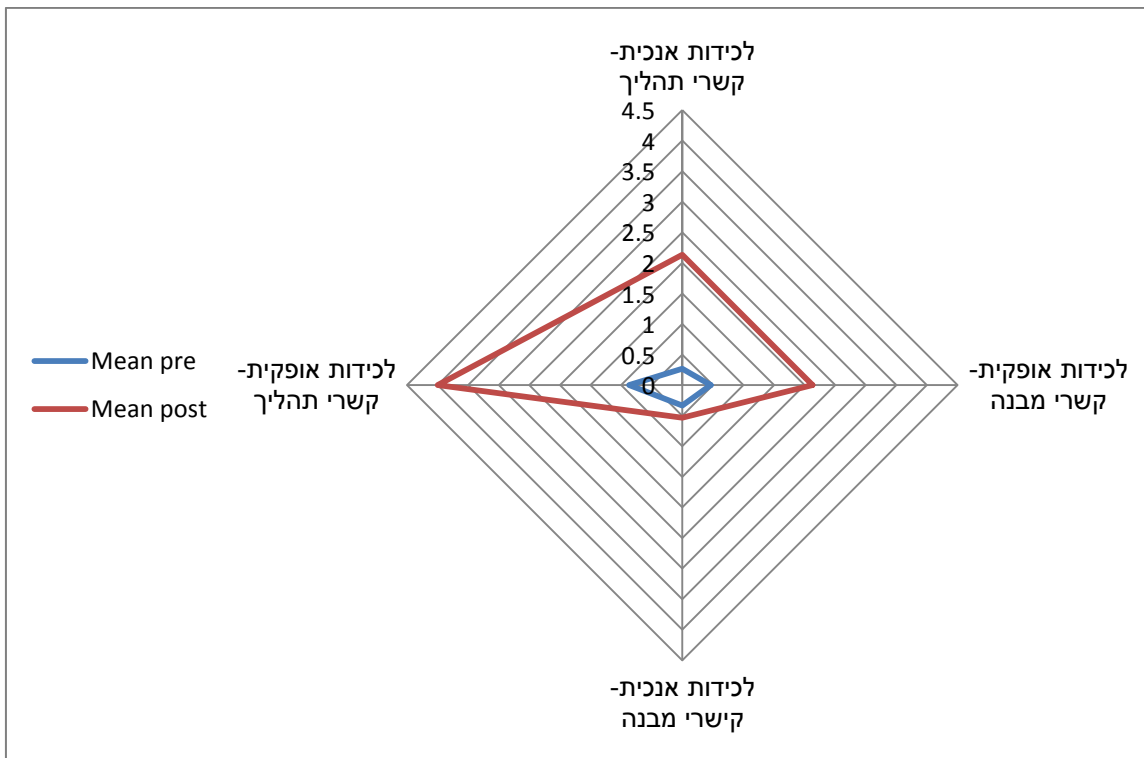
גרף 13: התפלגות המושגים לפי רמת ארגון במפות המושגים של תלמידי המורה עמליה לפני ואחרי תהליך הלמידה. בגרף מוצגים ממוצעי מספר המושגים למפה. $42=N$ (כיתות 2).



גרף 14: התפלגות המושגים לפי רמת ארגון במפות המושגים של תלמידי המורה טל לפני ואחרי תהליך הלמידה. בגרף מוצגים ממוצעי מספר המושגים למפה. $15=N$ (כיתה אחת).



גרף 15: התפלגות הקשרים במפות המושגים של תלמידי המורה עמליה לפני ואחרי תהליך הלמידה. בגרף מוצגים ממוצעי מספר הקשרים למפה. (N=42 (2 כיתות).



גרף 16: התפלגות הקשרים במפות המושגים של תלמידי המורה טל לפני ואחרי תהליך הלמידה. בגרף מוצגים ממוצעי מספר הקשרים למפה. (N=15 (כיתה אחת).

טבלה 18- השינוי בממוצע מספר המושגים במפות המושגים של תלמידי המורה עמליה ותלמידי המורה טל, בעקבות הלמידה

תלמידי המורה טל		תלמידי המורה עמליה		קטגוריות
Pr> t	Mean dif. (SD)	Pr> t	Mean dif. (SD)	
<0.0001	*4.000 (2.138)	<0.0001	*3.143 (2.951)	מאקרו
0.4519	0.267 (1.335)	<0.0001	* 1.024 (1.334)	מיקרו
0.0109	*1.333 (1.759)	<0.0001	*2.071(1.731)	סאבמיקרו

טבלה מוצגים השינויים בממוצע המושגים למפה, תוך הבחנה בין מושגים ברמות ארגון שונות. מבחן סטטיסטי- t מזווג.

טבלה 19- השינוי בממוצע מספר הקשרים במפות המושגים של תלמידי המורה עמליה ותלמידי המורה טל, בעקבות הלמידה

תלמידי המורה טל		תלמידי המורה עמליה		קטגוריות
Pr> t	Mean dif. (SD)	Pr> t	Mean dif. (SD)	
0.0107	*1.667 (2.193)	<0.0001	*2.429 (3.307)	לכידות אופקית- קשרי מבנה
0.0005	*3.133 (2.696)	0.0094	*1.524 (3.624)	לכידות אופקית- קשרי תהליך
0.4860	0.200 (1.082)	0.0311	*0.810 (2.350)	לכידות אנכית- קשרי מבנה
0.0382	*1.867 (3.159)	<0.0001	*2.786 (3.361)	לכידות אנכית- קשרי תהליך

טבלה מוצגים השינויים בממוצע הקשרים למפה, תוך הבחנה בין קשרים מסוגים שונים מבחן סטטיסטי- t מזווג.

-דיון-

במחקר זה עוצב מודל לאפיון חשיבה מערכתית בביולוגיה, **Systems Thinking Hierarchical model for Biology Education (STH-BE)**. על בסיס מודל זה נכתבו חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית בנושא מערכות הוכלה ביצורים חיים. יישום חומרי הוראה-למידה אלו בשטח עורר את הצורך לבחון את השפעתם על החשיבה המערכתית של תלמידים ומורים ולאפיין את תהליכי ההוראה והלמידה בכיתה מנקודת מבט מערכתית.

ממצאי המחקר הצביעו על כך שהמעבר בין יכולת קישור בין רכיבים ברמת ארגון אחת (לכידות אופקית) ליכולת קישור בין רכיבים ברמות ארגון שונות (לכידות אנכית), מהווה קושי גדול יותר עבור תלמידי כיתה ז' מאשר המעבר בין היכולת ליצור קשרי מבנה ליכולת ליצור קשרי תהליך בין רכיבים במערכת ביולוגית. ממצא זה הוביל לשינוי הארגון ההיררכי במודל STH-BE התיאורטי והצעת מודל מעודכן (בטבלה 8, עמוד 53). השינוי המוצע בא לידי ביטוי בארגון מחודש של שלבים (2) ו-(3) בפיתוח חשיבה מערכתית (טבלאות 7, 8 בעמודים 52, 53 בהתאמה). שינוי זה מחדד את ההיררכיה הקיימת בין לכידות אופקית ללכידות אנכית. הצורך בשינוי מבנה המודל יכול להעיד על הייחוד הדיסציפלינארי של חשיבה מערכתית בביולוגיה.

כמו כן, בעבודה זו נמצא כי למידה באמצעות חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית קידמה את יכולות התלמידים בכל מיומנויות החשיבה המערכתית, בהתאם להיררכיה שבמודל STH-BE המעודכן. השיפור הגדול ביותר חל ביכולת התלמידים לזהות רכיבים במערכת ברמת ארגון אחת (רמת מאקרו) והשיפור הנמוך ביותר חל ביכולת התלמידים לארגן את רכיבי המערכת במארג עשיר של יחסי גומלין. השיפור בא לידי ביטוי בכך ש: (1) התלמידים למדו לזהות רכיבים רבים יותר במערכת, בכל רמות הארגון. מושגים העומדים ביסוד הבנת מערכת ההוכלה בגוף האדם (לפי תכנית הלימודים) כמו: חמצן, המוגלובין, פחמן דו חמצני וריאות תפסו מקום מרכזי יותר במפות התלמידים. יחד עם זאת, חשוב לציין כי העלייה הגדולה ביותר חלה במספר המושגים ברמת המאקרו והנמוכה ביותר במספר המושגים ברמת המיקרו. (2) יכולת הקישור בין המושגים, כלומר יכולת הקישור בין רכיבי המערכת השתפרה. ניתוח השינוי מציג תמונה היררכית. כאשר, השיפור הגדול ביותר חל ביכולת התלמידים לזהות ולהציג קשרי מבנה באותה רמת ארגון, אחריו השיפור ביכולת התלמידים לזהות ולהציג קשרי תהליך באותה רמת ארגון והשיפור הקטן ביותר חל ביכולת התלמידים לזהות ולהציג קשרי מבנה בין רמות ארגון. נמצא כי השיפור ביכולת התלמידים לזהות קשרי תהליך בין רכיבים ברמות ארגון שונות היה גבוה ביחס לשיפור ההיררכי במיומנויות האחרות. (3) יכולת ארגון הרכיבים והקשרים במארג יחסי גומלין השתפרה. השיפור בא לידי ביטוי הן בשיעור ובמגוון מושגי הצומת והן בעליה במורכבות דגמי מפות המושגים. בנוסף לכך, הממצאים במחקר זה הראו שהוראה באמצעות חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית הביאה להתפתחות החשיבה המערכתית של המורות. השוואה בין מארגי ה-RG לפני ולאחר תהליך ההוראה מרמזת על ערעור מבנים דו-קוטביים ראשוניים והוספה של מבנים חדשים במבנה הידע של המורות. שינויים אלו הובילו לארגון מחדש של מבנה מארג הידע. השינויים במבנה מארג הידע, של שלושת המורות שהשתתפו במחקר, מרמזים על התפתחות

המבנה הקוגניטיבי שלהן בהיבטים הבאים: (1) הבחנה בין מבנים לתהליכים, (2) קישור בין רכיבים ותהליכים לכדי מנגנון, ו (3) הבחנה בין רמות ארגון במערכת.

ניתוח השיח בשיעורים בהם נעשה שימוש בחומרי ההוראה-למידה החדשים הצביע על כך ששאלות המזמנות דיון ברמות חשיבה מערכתית אשר תואמות את רמת החשיבה המערכתית של התלמידים, מקדמות רב-שיח פורה בין המורה לתלמידה ואילו שאלות המזמנות דיון ברמות חשיבה מערכתית גבוהות מזו של התלמידים אינן מקדמות דיון ומובילות למענה ברמת חשיבה מערכתית נמוכה יותר. ניתוח שיח הכיתי אשר התבסס על שאלות מספר לימוד, הצביע על דמיון רב במהלך שיעורים של שתי המורות (המורה טל והמורה עמליה), זאת על אף השוני ביניהן. נראה ששימוש בשאלות המספר הלימוד הובילו את השיח המערכתי באופן הדרגתי ועודדו יצירת שיח פורה ברמת חשיבה מערכתית אחידה בשתי הכיתות.

לבסוף, השוואה בין מאפייני החשיבה המערכתית של המורות לשינוי שחל במבנה הידע של תלמידיהן מצביעה על קשר אפשרי בין החשיבות שמורות מייחסות לקישור בין רמות הארגון לבין הייצוג של קשרים אלו במפות המושגים של תלמידי כיתתן. כך בקרב תלמידיה של אחת המורות (עמליה), אשר רואה חשיבות מרכזית בקישור בין רמות ארגון שונות במערכת אך גם מודעת לחשיבות של קישור בין רכיבים ברמת ארגון אחת, בא לידי ביטוי השיפור ביכולת התלמידים לקשר בין רכיבים באותה רמת ארגון ובין רכיבים ברמות ארגון שונות. ואילו בקרב תלמידיה של המורה השנייה (טל), אשר באופן ברור ועקבי מייחסת חשיבות לקשרי תהליך בין מושגים ברמת ארגון אחת (רמת מאקרו), ניכר שיפור משמעותי ביכולת התלמידים שלה לזהות קשרי תהליך בין רכיבים ברמת ארגון אחת ושיפור מצומצם ביכולת שלהם לזהות קשרים מסוגים אחרים במערכת.

פרק הדיון מחולק לשני חלקים: החלק הראשון דן בעיצוב מודל ה-STH-BE והחלק השני דן בכיתה כמערכת ומארגן בדומה להיררכיה המוצעת במודל ה-STH-BE. בחלק זה הדיון מתחיל בתיאור רכיבי המערכת, לאחר מכן נערך דיון על הקשרים בין הרכיבים ולסיכום דיון על מארג יחסי הגומלין בין המורה, התלמידים וחומרי ההוראה-למידה החדשים.

1. עיצוב מודל STH-BE ויישומיו

מודל STH-BE מציע דרך למיזוג בין שלוש מסגרות תיאורטיות מרכזיות המקובלות בתחום החשיבה המערכתית בהוראת המדעים: (1) System Thinking Hierarchical model (Ben-Zvi Assaraf & Verhoeff), (2) Systems Thinking Competence for Cell Biology Education (Orion, 2005), (3) Structure-Behavior-Function theory (Liu & Hmelo-Silver, 2009), (et al., 2008). כל אחת מהמסגרות התיאורטיות הללו מאירה היבטים אחרים של חשיבה מערכתית ואילו מודל ה-STH-BE נותן פרשנות ושואף למזג בין ההיבטים השונים לכדי מודל אחד (המודל התיאורטי מופיע בטבלה 5 בעמוד 44). לשם ביסוס מודל ה-STH-BE, ביקשתי לבחון כיצד מיומנויות החשיבה המערכתית המופיעים במודלים התיאורטיים באות לידי ביטוי במבנה הידע של תלמידים. כלומר, לתת מענה לשאלת המחקר הראשונה- באיזה אופן מאפייני החשיבה המערכתית באים לידי ביטוי במבנה הידע של תלמידי כיתה ז'?

מבנה הידע של התלמידים הוערך תוך שימוש במפות מושגים ונמצא שיש צורך לערוך שינויים בארגון המודל התיאורטי.

נמצא כי ניתוח מפות התלמידים באמצעות מודל STH (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005) מציג תמונה היררכית בין מיומנויות החשיבה המערכתית, בהתאם להנחות היסוד של המודל (גרף 1, עמוד 48). ניתוח הממצאים הצביע על הידע המצומצם של התלמידים ועל הקושי שלהם לזהות יחסי גומלין במערכת ולארגן את המושגים במסגרת מארג יחסי גומלין. ממצאים אלו עולים בקנה אחד עם מסקנות מחקריהם של Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005, 2010) ו-Ben-Zvi Assaraf וחוב' (2013). ניתוח מפות התלמידים באמצעות מודל החשיבה המערכתית בהוראת ביולוגיה (Verhoeff, 2003), הצביע על כך שהתלמידים מתקשים לייצג הן לכידות אופקית (קשרים באותה רמת ארגון) והן לכידות אנכית (קשרים בין רמות ארגון) במערכת, אם כי הקושי לקשר בין רמות ארגון גדול יותר (גרף 2, עמוד 50). ממצאים אלו עולים בקנה אחד עם מסקנות מחקרם של Verhoeff (2003) ו-Verhoeff וחוב' (2008).

למעשה, השימוש במודל STH (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005) סיפק מידע אודות יכולת התלמידים לזהות מושגים ויחסי גומלין במערכת, אך לא נתן מידע על רמות הארגון ואילו הניתוח לאור מודל החשיבה המערכתית בהוראת ביולוגיה (Verhoeff et al., 2008) לימד על רמות הארגון (לכידות אופקית ולכידות אנכית) אך לא נתן מידע על יחסי הגומלין במערכת. ניתוח מפות המושגים באמצעות מודל STH-BE אפשר להציג תמונה הכוללת את כל ההיבטים הבאים: (1) יכולת לזהות רכיבים במערכת- תוך הבחנה בין מושגים ברמת ארגון אחת למושגים ברמות ארגון שונות, (2) יכולת לזהות קשרים בין רכיבים באותה רמת ארגון (לכידות אופקית)- תוך הבחנה בין קשרי מבנה וקשרי תהליך, (3) יכולת לזהות קשרים בין רכיבים ברמות ארגון שונות (לכידות אופקית)- תוך הבחנה בין קשרי מבנה וקשרי תהליך, ו-(4) יכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג של יחסי גומלין- תוך הבחנה בין מארג דל למארג עשיר.

הטענה, המוצגת במאמרם של Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005), כי קיימת קורלציה בין מספר התלמידים אשר מייצגים מיומנות ספציפית של חשיבה מערכתית לבין רמת הקושי או המורכבות של המיומנות, הובילה לבחינת ההיררכיה בין המיומנויות במודל STH-BE התיאורטי בשטח. ההנחה עליה התבסס ארגון המודל המשולב הראשוני- התיאורטי (טבלה 5, עמוד 44), היא שהמעבר מהיכולת לזהות קשרי מבנה במערכת ליכולת לזהות קשרי תהליך במערכת (מעבר משלב-2 לשלב-3 בפיתוח חשיבה מערכתית בטבלה 5, עמוד 44) קשה יותר עבור התלמידים ביחס למעבר מהיכולת לזהות לכידות אופקית ליכולת לזהות לכידות אנכית. זאת בהתאם לגישה המובאת במודל STH (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005), העוסק בחשיבה מערכתית בתחום מדעי כדור הארץ. הממצאים אשר עלו מניתוח מפות המושגים הציגו תמונה שונה. השילוב בין הממצאים אשר עלו מניתוח: (1) קשרים במפות המושגים אשר הצביעו על כך שמספר הממוצע של קשרי תהליך בין מושגים ברמת ארגון אחת (לכידות אופקית) גבוה ממספר הממוצע של קשרי מבנה בין מושגים ברמות ארגון שונות (לכידות אנכית), ו-(2) ממצאאי מבחן Duncan's Multiple Range Test, אשר הצביעו על דמיון בין שתי הקטגוריות: (2.ב) היכולת לזהות קשרי מבנה ברמות ארגון שונות ל-(3.ב) היכולת לזהות קשרי תהליך ברמות ארגון שונות (טבלה 7, עמוד 52), הראו כי

המעבר בין לכידות אופקית ללכידות אנכית היווה קושי גדול יותר עבור התלמידים שהשתתפו במחקר ביחס למעבר בין קשרי מבנה לקשרי תהליך. מסקנה זו הובילה לצורך בשינוי הסדר ההיררכי במודל התיאורטי, בעקבותיו הוצע מודל מעודכן. המודל המעודכן- מודל היררכי של חשיבה מערכתית בהוראת הביולוגיה Systems Thinking Hierarchical model for Biology Education (STH-BE) מוצג בטבלה 8, עמוד 53. כפי שניתן לראות בהשוואה בין טבלה 7 (עמוד 52) לטבלה 8 (עמוד 53), השינוי בא לידי ביטוי בארגון מחודש של שלבים (2) ו-(3) בפיתוח חשיבה מערכתית.

הצורך בשינוי מבנה המודל יכול להעיד על הייחוד הדיסציפלינארי של ביולוגיה. השינוי מחדד פעם נוספת את הקושי להבחין ולקשר בין רמות ארגון, המתואר במחקרים קודמים העוסקים בהוראה ולמידה של מערכות ביולוגיות (Hmelo et al., 2000; Lewis, Leach, & Wood-Robinson, 2000a; Marbach-Ad & Stavy, 2000; Songer & Mintzes, 1994; Verhoeff, 2003; Verhoeff et al., 2008). קושי זה נובע, בין היתר, מכך שספרי הלימוד בביולוגיה נוטים לדון במושגים ברמות ארגון שונות בפרקים נפרדים ללא קישור מפורש ביניהם (Douvdevany et al., 1997; Liu & Hmelo-Silver, 2009; Verhoeff, 2003). הממצאים מחזקים את הצורך בקישור מפורש בין רמות ארגון בהוראת תופעות ביולוגיות בכיתה.

מה שתמך בהיררכיה שבמודל STH-BE המעודכן הם הממצאים שעלו מניתוח והשוואה בין הקשרים האופייניים לדגמי מפות מושגים D-A (איור 1, עמוד 37) של התלמידים. ארבעת הדגמים (A-D), מייצגים את המבנה החזותי של מפות המושגים בהתאם לרמת המורכבות שלהן. דגם A מצביע על רמת המורכבות הנמוכה ביותר ומרמז על הבנה שטחית של המערכת, ואילו דגם D מצביע על רמת המורכבות הגבוהה ביותר ומרמז על הבנה מעמיקה של המערכת. ניתוח קשרי מבנה מול קשרי תהליך (גרף 4, עמוד 54) הראה שהקשרים הדומיננטיים במפות מדגם A ו-B הם קשרי מבנה ואילו הקשרים הדומיננטיים במפות מדגם C ו-D הם קשרי תהליך. כלומר תלמידים אשר מציגים מפות דלות יותר (דגמים A ו-B), המרמזות על הבנה שטחית של המערכת, נוטים לזהות יותר קשרי מבנה במערכת ביחס לקשרי תהליך ואילו תלמידים אשר מציגים מפות עשירות יותר (דגמים C ו-D), המרמזות על הבנה מעמיקה יותר של המערכת, נוטים לזהות יותר קשרי תהליך ביחס לקשרי מבנה. תוצאות אלו עולות בקנה אחד עם הממצאים המוצגים במאמרה של Hmelo-Silver וחוב' (2007) המצביעים על כך שטירונים מייצגים את הידע שלהם על מערכת נתונה על בסיס מבנים במערכת ואילו מומחים מייצגים את הידע שלהם על בסיס תהליכים ומנגנונים המתקיימים במערכת. ניתוח התפלגות הקשרים בין מושגים ברמת ארגון אחת (לכידות אופקית) מול קשרים בין מושגים ברמות ארגון שונות (לכידות אנכית) בכל אחד מדגמי מפות המושגים A-D (גרפים 5-6, עמוד 56) הצביע על כך שבכל דגמי מפות המושגים, המספר הממוצע של קשרים המציגים לכידות אופקית גבוה ביחס למספר הממוצע של קשרים המייצגים לכידות אנכית. כלומר נראה שכל התלמידים מתקשים יותר ליצור קשרים המייצגים לכידות אנכית. יחד עם זאת, נמצא שתלמידים אשר יצרו מפות מושגים מסועפות ביותר (דגם D) נוטים להציג יותר קשרים בין מושגים ברמות ארגון שונות (באופן יחסי) בהשוואה לתלמידים אשר יצרו מפות מושגים מורכבות פחות (דגמים A-C). כלומר נראה שהיכולת לזהות קשרים בין רכיבים ברמות ארגון

שונות (לכידות אנכית) היא מיומנות מורכבת יותר ביחס ליכולת לזהות קשרים בין רכיבים באותה רמת ארגון (לכידות אופקית).

מודל STH-BE המעודכן היווה עוגן תיאורטי פרקטי לצורך אפיון חשיבה מערכתית של תלמידים ומורים, ניתוח התמורות במבנה הידע שלהם מנקודת מבט מערכתית, וכן ניתוח שיח מערכתי בכיתה (טבלה 2, בעמוד 36 וטבלה 17, בעמוד 76).

2. הכיתה כמערכת

בעבודה זו התייחסתי אל הכיתה כמערכת מורכבת, הכוללת רכיבים מרובים ומארג סבוך של יחסי גומלין. לצורך מיקוד המחקר נקבעו גבולות (מלאכותיים) סביב מספר משתנים שהוגדרו במטרות המחקר: מורים, תלמידים, שיח כיתתי וחומרי הוראה-למידה. מכלל ההיבטים של כל אחד מהמשתנים נבחר היבט אחד, התפתחות החשיבה המערכתית בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם. הנחות היסוד של המחקר בנוגע לסוגי ההשפעות בין משתני המערכת הנחו את שאלות המחקר ואופן ניתוח הנתונים: (1) חומרי הוראה-למידה מהווים משתנה משפיע על התלמידים והמורים ומשתנה מתערב ומתווך בין התלמידים, המורה והשיח הכיתתי, (2) שהשיח הכיתתי הוא משתנה מתווך בין התלמידים, המורה וחומרי ההוראה-למידה (3) המורים הם משתנה משפיע על התלמידים (התלמידים במקרה זה הם משתנה מושפע). חשוב לציין כי אף על פי שתיחום גבולות המחקר הכרחי לצורך התעמקות בשאלות המחקר הוא גם מהווה מגבלה, היות ועצם הצבת הגבולות והשמטת חלק מהרכיבים ויחסי הגומלין המתקיימים במערכת פוגעים בהבנה המלאה של תהליכי ההוראה והלמידה בכיתה. את הדיון על יחסי הגומלין בין משתני המחקר, אקדים בתיאור המשתנים, רכיבי המערכת.

2.1 רכיבי המערכת

תלמידים- מכלל המאפיינים בחרתי להתמקד במבנה הידע של התלמידים בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם, מנקודת מבט מערכתית. הדיון בחלק זה עוסק במבנה הידע הראשוני, אתו הגיעו התלמידים לתהליך הלמידה. אפיון מבנה הידע נעשה באמצעות ניתוח מפות מושגים של התלמידים. ניתוח המפות התבסס על קטגוריות שעלו ממודל STH-BE. החופש המוחלט שניתן לתלמידים ביצירת מפות המושגים אפשר להם להציף מושגים שונים בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם וליצור הקשרים מגוונים. הממצאים אשר עלו מניתוח מפות המושגים הצביע על סדר ההיררכי של מיומנויות חשיבה מערכתית המתאפיין במבנה פירמידה מדורגת. כאשר הבסיס הרחב של הפירמידה מתייחס למיומנות הבסיסית ביותר (היכולת לזהות מרכיבים במערכת ברמת ארגון אחת) אותה הפגינו התלמידים בקלות יחסית (כלומר קטגוריה זו זכתה לערך ממוצע של מספר מושגים הגבוה ביותר). ככל שעולים בפירמידה רמת החשיבה המערכתית הנדרשת עולה ואיתה עולה הקושי של התלמידים להציג את המיומנות הבאה בתור (כלומר, כל קטגוריה עוקבת זכתה לערך ממוצע של מספר מושגים/קשרים נמוך יותר) עד למיומנות החשיבה המערכתית המורכבת ביותר (היכולת לארגן את רכיבי המערכת במארג עשיר של יחסי גומלין). במילים אחרות, הערך הגבוה ביותר שהתקבל מניתוח מפות

המושגים של תלמידים הוא המספר הממוצע של המושגים ברמת מאקרו, מה שמרמז על היכולות הגבוהות (יחסית למיומנויות האחרות) לזהות רכיבים במערכת ברמת ארגון אחת. במקרה זה המושגים היו ברמת המאקרו כיוון שהידע של התלמידים על מערכת ההובלה בגוף האדם מבוסס על הנלמד בבית הספר היסודי ועל חיי היום יום (בהם התלמידים נחשפים לרוב לתופעות פיזיולוגיות ברמת האורגניזם). היחס בין ממוצע מושגי הצומת לממוצע מושגי הקצה (המצביע על רמת המורכבות של מארג הקשרים) זכה לערך הנמוך ביותר, מה שמרמז על הקושי של התלמידים לארגן את רכיבי המערכת במארג עשיר של יחסי גומלין. מבנה זה של פירמידה המייצגת את ההיררכיה בין יכולות החשיבה המערכתית של תלמידים התקבל גם במאמרים של Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005, 2010) ו-Ben-Zvi Assaraf וחוב' (2011).

רובד נוסף באפיון הידע הקודם של התלמידים נוצר הודות לניתוח ארבעה דגמים שונים A-D של מפות מושגים (איור 1, עמוד 37). ניתוח סוגי הקשרים האופייניים לכל אחד מדגמי מפות המושגים העלה שני ממצאים מעניינים ראשית ההבחנה בין קשרי מבנה לקשרי תהליך הצביעה על כך שהקשרים הדומיננטיים במפות המייצגות את הדגמים הפשוטים (B-A) הם קשרי מבנה ואילו הקשרים הדומיננטיים במפות המייצגות את הדגמים המורכבים (D-C) הם קשרי תהליך (גרף 4, עמוד 54). כלומר נמצא קשר בין מורכבות מפת המושגים, המרמזת על רמת ההבנה של המערכת, לסוג הקשרים המופיעים בה. תוצאות אלו עולות בקנה אחד עם ההיררכיה המוצעת במודל STH (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005), לפיה זיהוי קשרי תהליך היא מיומנות קשה יותר ביחס לזיהוי קשרי מבנה ודורשת רמת חשיבה מערכתית מעמיקה יותר. ממצאים אלו מחזקים גם את תיאוריית ה-SBF, ובפרט את הטענה המוצגת במאמרו של Hmelo-Silver וחוב' (2007) שטירונים נוטים לייצג את הידע שלהם על בסיס מבנים במערכת ואילו מומחים על בסיס תהליכים ומנגנונים המתקיימים במערכת.

שנית ההבחנה בין סוגי הקשרים על פי רמות הארגון, הצביעה על כך שבכל המפות (D-A) הקשרים הדומיננטיים הם קשרים המחברים בין מושגים באותה רמת ארגון (גרף 5, עמוד 56). תוצאות אלו מחדדות את הקושי של כלל התלמידים לחבר בין מושגים ברמות ארגון שונות. יחד עם זאת, חישוב היחס בין שני סוגי הקשרים הראה שתלמידים אשר יצרו את דגם מפת המושגים המסועף ביותר (דגם D) נוטים להציג קשרים רבים יותר בין רמות ארגון בהשוואה לתלמידים אשר הציגו דגמים מורכבים פחות (דגמים A-C). כלומר, נראה שהתלמידים אשר הגיעו לתהליך הלמידה עם הבנה מעמיקה יותר של קשרים ויחסי גומלין במערכת מתקשים פחות בקישור בין רמות ארגון.

מורים - בדומה לתלמידים, מכלל המאפיינים של המורים בחרתי להתמקד במבנה הידע בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם, מנקודת מבט מערכתית. הדיון בחלק זה עוסק במבנה הידע איתו הגיעו המורים לתהליך ההוראה. אפיון מבנה הידע של המורות נעשה בטכניקת RG. ניתוח מארגי RG התבסס על המאפיינים שעלו ממודל STH-BE. הממצאים נאספו משלוש מורות (המורות עמליה, טל ורינה). טכניקת ה-RG תוארה במחקרים קודמים ככלי לניתוח מבנה הידע והתפתחות הידע של מורים (Bencze, Bowen, & Alsop, 2006; Rozenszajn & Yarden, 2014, 2015) ושל תלמידים (Goldman, Ben-Zvi Assaraf, & (Shaharabani, 2013).

שיטה זו אף שמשה לבחינת חשיבה מערכתית של תלמידים (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Ben-Zvi Assaraf et al., 2013; Assaraf & Orion, 2010; Keynan, Assaraf, & Goldman, 2014). מעבודה הנוכחית עולה שטכניקת RG מאפשרת לאפיין גם את החשיבה המערכתית של מורים ולבחון את התמורות בחשיבה המערכתית שלהן (הדיון על התמורות מופיע בהמשך). היופי בכלי זה הוא רמת החופש שניתנת בבחירת המושגים, המבנים הדו-קוטביים וארגונם הסובייקטיבי. לשלושת המורות אשר עומדות בלב המחקר מאפיינים שונים מבחינת רקע אקדמי, ותק וגיל (טבלה 4 בעמוד 43). עבור שלושתן נקודת המבט המערכתית והקניית מיומנויות חשיבה מערכתית באופן הדרגתי היו חדשות. יחד עם זאת הן בחרו לקחת חלק במחקר וללמד באמצעות חומרי ההוראה-למידה החדשים כיוון שלדבריהן הצליחו להתחבר לדרך החשיבה, כפי שהיא באה לידי ביטוי בספר הלימוד והמדריך למורה. המסקנות שעלו מניתוח ממצאי ה-RG לפני תהליך ההוראה, מצביעות על דמיון מצומצם ביותר במושגים (אלמנטים) אותם הציפה כל אחת משלושת המורות (טבלה 15, עמוד 73) ושונים מהותי במבנים הדו-קוטביים שלהן. לפיכך, מארג הידע שהתקבל מניתוח ה-RG של המורות הוא ייחודי לכל מורה. ממצא זה מרמז על כך שעל אף תכנית הלימודים הזוהה, כל מורה מארגנת את הידע שלה באופן שונה כפועל יוצא מהמבנה הקוגניטיבי שלה. כלומר, בדומה לתלמידים גם המורים אינם "לוח חלק", כשהם ניגשים ללמד עם חומרי ההוראה-למידה חדשים. מכאן שמנקודת מבט קוגניטיבית קיימת חשיבות רבה למבנה הידע הקודם של המורים כפי שתיאר זאת Ausubel (1968). מארג מבנה הידע הראשוני הייחודי של כל אחת מהמורות היווה את הכר לפרשנות האישית, הסובייקטיבית של כל אחת מהן ביחס לחומרי ההוראה-למידה והגישה המערכתית העומדת בבסיסם. פרשנות זו ניכרת גם בניתוח התמורות במבנה הידע שלהן, כפי שיתואר בהמשך. כלומר המורות הפכו למעשה ללומדים המשלבים את הידע האישי שלהם עם הידע החדש, כפי שתואר גם במחקרים קודמים (Bybee, Short, Landes, & Powell, 2003; Linn & Eylon, 2011; Rozenszajn & Yarden, 2014). מנקודת מבט פסיכולוגית ממצאים אלו תואמים את הגישה של Kelly (2003), לפיה מבנה הדעת של כל אדם מעוגן במערכת של מבנים אישיים ייחודיים המבוסס על ניסיון חייו.

2.2 הקשרים בין הרכיבים במערכת

תלמידים וחומרי ההוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית - על מנת לבחון קשרים אלו שאלתי כיצד תהליך הלמידה באמצעות חומרי ההוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית, בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם, משפיע על התפתחות החשיבה המערכתית של תלמידים? ניתוח והשוואה בין מפות המושגים של התלמידים לפני ולאחר תהליך הלמידה שפכו אור על התמורות שחלו במבנה הידע שלהם מנקודת מבט מערכתית. השימוש במפות מושגים לצורך בחינת התמורות במבנה הידע של הלומדים נטועה בנרטיב המקובל כיום בחקר הקוגניציה המדבר על כך שלא ניתן להעריך שינוי תפיסתי באמצעות בחינת פרטי ידע נפרדים אלא דרך אפיון התמורות במארג יחסי הגומלין בין פרטי הידע (Linn & Eylon, 2006).

ממצאי המחקר הצביעו על שיפור בכל אחת מהקטגוריות, כלומר התפתחות בכל אחת ממיומנויות החשיבה המערכתית. ההשוואה בין המושגים אותם הציפו התלמידים לפני ולאחר תהליך הלמידה, הראתה דמיון רב

בין המושגים. כלומר המושגים אשר היוו עוגן במערכת הידע המוקדם של התלמידים מופיעים גם לאחר שמבנה הידע עבר ארגון מחדש בעקבות תהליך הלמידה. ממצאים אלו עולים בקנה אחד עם הטענה של diSessa (2008) כי המפתח לשינוי במבנה הידע טמון בעידון וארגון פרטי הידע הקיימים תוך הוספת פרטי ידע חדשים במארג חדש של קשרים. כלומר, לאחר תהליך הלמידה המושגים המרכזיים בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם שימשו את התלמידים בהקשרים חדשים. ניתוח השינוי שחל ביכולת התלמידים לקשר בין מושגים הראה תמונה היררכית התואמת את מודל ה-STH-BE. כאשר, השיפור הגדול ביותר חל ביכולת התלמידים לזהות ולהציג קשרי מבנה באותה רמת ארגון והשיפור הקטן ביותר חל ביכולת התלמידים לזהות ולהציג קשרי מבנה בין רמות ארגון. ממצאים אלו עולים בקנה אחד עם מסקנות מחקריהם של Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005) ו-Ben-Zvi Assaraf וחוב' (2011), אשר הראו כי כל שלב היררכי בפיתוח מיומנויות חשיבה מערכתית מהווה בסיס לפיתוח מיומנות גבוהה יותר.

יוצאת דופן היא העלייה הגבוהה בקשרי תהליך בין רמות ארגון (ביחס לשיפור בסוגי קשרים אחרים), במפות המושגים של התלמידים בעקבות הלמידה (טבלה 11, עמוד 59). עליה זו יכולה להעיד על כך שעקרונות העיצוב המרכזיים של חומרי ההוראה-למידה, המבוססים על הספרות: (1) התייחסות לרמות ארגון שונות וקישור בין רמות ארגון שונות (Verhoeff et al., 2008), וכן (2) הבחנה מפורשת בין מבנה, תפקיד ותפקוד בדגש על ייצוג קונספטואלי מבוסס תפקוד (Liu & Hmelo-Silver, 2009), הוכיחו את עצמם. כלומר הצגה מפורשת של עקרונות אלו בחומרי ההוראה-למידה השפיעה על התפתחות יכולת התלמידים לזהות קשרי תהליך בין רכיבים ברמות ארגון שונות (לכידות אנכית).

מעניין לציין כי ניתוח השינוי בשכיחות דגמי מפות המושגים (דגמים D-A), הראה תמונת ראי מבחינת התפלגות הדגמים לפני ולאחר הלמידה. לפני תהליך הלמידה הדגם השכיח ביותר היה דגם A (הפשוט ביותר) ושכיח פחות היה דגם D (המורכב ביותר) ואילו לאחר תהליך הלמידה הפך לדגם השכיח ביותר ואילו A הפך לדגם הכי פחות שכיח. מה שמעיד על התרחבות מבנה הידע ומרמז על התפתחות הבנה מערכתית מעמיקה יותר בעקבות הלמידה. ממצאים אלו תומכים בטענתו של Kinchin (2011), כי ניתוח והשוואה בין דגמי מפות מושגים של תלמידים (עליהם התבססה הגדרת הדגמים D-A במחקר הנוכחי) בשלבי הלמידה השונים מאפשר לבחון את השינוי ברמת ההבנה של התלמידים.

מורים וחומרי ההוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית- על מנת לבחון קשרים אלו שאלתי כיצד תהליך ההוראה באמצעות חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית, בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם, משפיע על התפתחות החשיבה המערכתית של מורים? ניתוח והשוואה בין מארגי ה-RG של המורים לפני ולאחר תהליך ההוראה שפכו אור על התמורות שחלו במבנה הידע שלהם מנקודת מבט מערכתית. ניתוח מארגי ה-RG של שלושת המורות במחקר (המורות עמליה, טל ורינה) לא הצביע על שינויים דרמטיים במבנה הידע שלהן בעקבות החשיפה לגישה המערכתית ותהליך ההוראה. יחד עם זאת, השוואה בין ממצאי ה-RG לפני ולאחר תהליך ההוראה הניבה תוצאות מעניינות המרמזות על התפתחות במבנה הקוגניטיבי של המורות. מנקודת מבט מערכתית אתיחס לשלושה היבטים אשר עלו מניתוח מארגי ה-RG של המורות (בדומה לקטגוריות שבמודל ה-STH-BE): (1) הבחנה בין מבנים (רכיבים וקשרי מבנה) לתהליכים (קשרי

תהליך), (2) קישור בין רכיבים ותהליכים לכדי מנגנון (מארג יחסי הגומלין), (3) הבחנה בין רמות ארגון במערכת. כל אחת משלושת המורות הציגה התפתחות בהיבטים אחרים. הממצאים העולים מניתוח מארגי RG של המורה עמליה, הוותיקה והמנוסה מבין המורות, מרמזים על התפתחות בכל אחד משלושת ההיבטים. הממצא המרכזי מתייחס לרמות ארגון במערכת אשר הפכו לעוגן מרכזי במבנה הידע שלה. בדומה למורה עמליה נראה שגם מבנה הידע של המורה טל, הצעירה והפחות מנוסה מבין השלוש, עבר התפתחות בשלושת ההיבטים. במקרה של המורה טל, הארגון מחדש של מארג הידע לא הושלם והממצאים מרמזים על כך שטל נמצאת בשלב התאמת הידע החדש לידע הקיים. במקרה של המורה טל, ההתפתחות המרכזית במבנה הידע שלה בא לידי ביטוי בקישור בין רכיבי המערכת לכדי מנגנון ודגש על תהליכים במערכת. ההשוואה בין מארגי ה-RG לפני ולאחר תהליך ההוראה, מרמזת על כך שהמורה שעברה את השינוי הגדול ביותר מבחינת ארגון הידע היא המורה רינה. יחד עם זאת, מנקודת מבט מערכתית, ניתן לזהות התפתחות בשני היבטים מתוך השלושה: הבחנה בין מבנים לתהליכים וקישור בין רכיבים ותהליכים לכדי מנגנון. היות והבחנה בין רמות ארגון הוא אחד מהרעיונות המרכזיים המשמשים כסודות מארגנים של תכנית הלימודים בבילוגיה (האגף לתכנון ופתוח תכנית הלימודים, 2014), ניתן לייחס את השוני בין רינה לשתי המורות האחרות לעובדה שרינה היא היחידה מבין השלוש שתחום ההוראה המרכזי שלה אינו ביולוגיה (אלא כימיה).

לסיכום, אפשר לומר שהמורות הגיעו לתהליך ההוראה עם מבנה קוגניטיבי שונה בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם. המבנה הקודם השפיע על השינויים הייחודיים שחלו בארגון הידע בעקבות תהליך ההוראה. למעשה ניתן להתייחס לתהליך שהמורות עברו בשפה בה Driver וחוב' (1994) מתארים את תהליכי הלמידה של תלמידים. כלומר נראה כי יישום חומרי הוראה-למידה חדשים בתהליך ההוראה היווה למעשה מעין תהליך פעיל של מתן פרשנות אישית לגישה המערכתית המובאת בחומרי ההוראה-למידה החדשים, על בסיס המבנה הקוגניטיבי הקיים. נראה שהשינויים במבנה הקוגניטיבי של המורות לא היו מרחיקי לכת, יחד עם זאת חלה התפתחות בעלת חשיבות במבנה הידע מנקודת מבט מערכתית. בהיבט הפסיכולוגי, ממצא זה עולה בקנה אחד עם ההנחה של Kelly (2003) כי בעקבות התנסות חדשה כל אדם יכול לשלב ידע חדש, ולעדכן את המודלים המנטאליים שלו, יחד עם זאת המודל המנטאלי יציב ואינו משתנה בקלות. ממצאים דומים עלו ממחקרן של Rozenszajn & Yarden (2014) אשר בחנו באמצעות RGT את השינוי בידע תוכן פדגוגי של מורים מנוסים בעקבות השתתפות בתוכנית להתפתחות מקצועית והראו הרחבה של הידע, בעלת חשיבות רבה מבחינה מקצועית, אך לא שינוי מהותי בארגון הידע ההתחלתי.

2.3 מארג יחסי הגומלין בין השיח הכיתתי, התלמידים, המורה וחומרי ההוראה-למידה

על מנת לבחון קשרים אלו שאלתי שתי שאלות- כיצד מאפייני החשיבה המערכתית באים לידי ביטוי בשיח הכיתתי? ומהם יחסי הגומלין בין מאפייני החשיבה המערכתית של המורים לתמורות שחלו בחשיבה המערכתית של תלמידיהם בעקבות תהליך הלמידה?

ניתוח הממצאים הראה שנקודת המוצא של תלמידי שתי המורות הייתה שונה. תלמידיה של המורה טל הגיעו לתהליך הלמידה עם ידע דל בנושא מערכת ההובלה בהשוואה לתלמידיה של המורה עמליה (גרפים 13-16),

עמודים 95-96). גם המורות (טל ועמליה) הגיעו לתהליך ההוראה עם מבנה ידע שונה (כפי שתואר קודם לכן בדיון). ניתוח השיח הצביע על כך שלמרות השוני הרב בין המורות וכיתותיהן, בשתייהן מתקיימת רוטינה אופיינית דומה: המורות פותחות כל קטע תוכן חדש בשאלה המופנית אל תלמידיה, התלמידים עונים, המורה חוזרת על התשובה, נותנת משוב ובעקבות המענה מגיעה שאלה נוספת של המורה. שיח כיתתי הבנוי כדיאלוג טריאדי (Lemke, 1990) אינו חדש ותואר רבות בספרות העוסקת בניתוח שיח כיתתי כשיח במבנה IRF/IRE (Kelly, 2014; Scott et al., 2006; Nassaji & Wells, 2000; Viiri & Saari, 2006; Wells, 1993). מעניין לציין שעל אף המבנה הטריאדי האופייני של השיח, המרמז על השתתפות פעילה של התלמידים בדיון, ניכר כי בשתי הכיתות דברי המורה היוו את המרכיב הדומיננטי בשיח ואילו התלמידים נטו לתת תשובות קצרות המורכבות ממילים בודדות. היחס בין היקף הדיבור של המורה לזה של התלמידים היה דומה על אף השוני במהלך השיעורים, דרכי ההוראה, רמת הידע של התלמידים והרכב הכיתה. ממצאים דומים עלו ממחקרו של Wilson (1999), Scott (1998) ו-Scott וחוב' (2006). מנקודת מבט מערכתית נראה שלכל מורה סגנון ייחודי של ניהול שיעור. בעוד שהמורה עמליה הקפידה לפתח דיונים, בהם נשמרת רמת חשיבה מערכתית אחידה בשיח בין התלמידים והמורה, נטייתה של המורה טל הייתה להגיע לרמת חשיבה מערכתית גבוהה מזו של תלמידיה. הפער בין רמת החשיבה המערכתית של טל לרמת החשיבה המערכתית של תלמידיה הביא על פי רוב לירידה ברמת השיח המערכתי בכיתה (כלומר מענה של תלמידים ברמת חשיבה מערכתית נמוכה או אמירות לא רלוונטיות). מניתוח השיעורים עלה ששאלות המזמנות דיון ברמת חשיבה מערכתית התואמת את רמת החשיבה המערכתית של התלמידים, מקדמות רב שיח פורה בין המורה לתלמידיה. לעומת זאת, שאלות המזמנות דיון ברמת חשיבה מערכתית גבוהה מזו של התלמידים אינן מקדמות דיון ומובילות למענה ברמת חשיבה מערכתית נמוכה יותר. ממצאים אלו תומכים בטענה של Viiri & Saari (2006) כי בשיח כיתתי המבוסס על דיאלוג טריאדי למורה תפקיד מרכזי בהכוונת השיח מבחינת הרמה. יתרה מכך, ממצאים אלו בשילוב ההיררכיה המוצגת במודל STH-BE מחדדים את "מרחב התפתחות החשיבה המערכתית הקרובה"- Zone of Proximal System thinking Development, בהתאם לתיאוריה של Vygotsky (1978). כלומר המרחב המנטאלי בו הלומד יכול לפתח את החשיבה המערכתית שלו הודות לתיווך של המורה. אמירות או שאלות של המורה "מעל" ה-ZPD של תלמידיו אינן מקדמות את התפתחות החשיבה המערכתית של התלמידים. טענה זו מתיישבת עם הממצאים הבאים: אף על פי שלכל מורה סגנון ייחודי של ניהול שיעור נראה שהמיומנות הבסיסית ביותר, כלומר היכולת לזהות ולהבחין בין מושגים ברמת מאקרו, מיקרו וסאבמיקרו הכיתות. ניתוח השינוי שחל ביכולת התלמידים לזהות ולהבחין בין מושגים ברמת מאקרו, מיקרו וסאבמיקרו הראה תמונה דומה בשתי הכיתות (גרפים 13-14, עמוד 95). בשתי הכיתות, חלה עלייה במספר המושגים בשלושת הרמות, כאשר העלייה הגדולה ביותר חלה בהיקף המושגים ברמת המאקרו. ממצאים אלו מתיישבים גם עם העובדה שמרבית המושגים אותם הציפו המורות, בהקשר לנושא מערכת ההובלה בגוף האדם, היו ברמת מאקרו (טבלה 15 עמוד 73).

השוני בין שתי הכיתות בא לידי ביטוי בתמורות שחלו בהתפלגות הקשרים המופיעים במפות המושגים לפני ולאחר תהליך הלמידה (גרפים 15-16, עמוד 96). ההשוואה בין מאפייני החשיבה המערכתית של המורות לשינוי שחל במבנה הידע של תלמידיהן מצביעה על קשר אפשרי בין החשיבות שמורות מייחסות לקישור בין רמות הארגון לבין הייצוג של קשרים אלו במפות המושגים של תלמידי כיתתן. כך בקרב תלמידיה של המורה עמליה, אשר רואה חשיבות מרכזית בקישור בין רמות ארגון שונות במערכת אך גם מודעת לחשיבות של קישור בין רכיבים ברמת ארגון אחת, בא לידי ביטוי השיפור ביכולת התלמידים לקשר בין רכיבים באותה רמת ארגון ובין רכיבים ברמות ארגון שונות. ואילו בקרב תלמידיה של המורה טל, אשר באופן ברור ועקבי מייחסת חשיבות לקשרי תהליך בין מושגים ברמת ארגון אחת (רמת מאקרו), ניכר שיפור משמעותי ביכולת התלמידים לזהות קשרי תהליך בין רכיבים ברמת ארגון אחת ושיפור מצומצם ביכולת שלהם לזהות קשרים מסוגים אחרים במערכת. הממצאים מצביעים על כך שתלמידיה של המורה עמליה הגיעו לרמת חשיבה מערכתית גבוהה יותר ביחס לתלמידיה של המורה טל.

נקודה מעניינת נוספת עלתה מניתוח השיעורים אשר התבססו על פעילויות מספר הלימוד. ניתוח הממצאים הראה כי על אף השוני בין שתי המורות ותלמידיהן, כפי שתואר לעיל, נמצא דמיון באופי השיח המבוסס על פעילויות מספר הלימוד (גרף 9 עמוד 84, גרף 12 עמוד 90). נראה שהשאלות המופיעות בספר הלימוד כיוונו את השיח בכיתה כך שהשוני בין המורות והתלמידים מטשטש במידה מסוימת ומתפתחים דיונים ברמת חשיבה מערכתית אחידה. ייתכן כי רצף הפעילות והשאלות המובנה בספר הלימוד מסייע הן למורה והן לתלמידיה לשמור על שיח ברמת חשיבה מערכתית אחידה.

ככלל, הממצאים הצביעו על כך שתלמידיה של המורה עמליה הגיעו להישגים גבוהים יותר בכל מיומנויות החשיבה המערכתית, ביחס לתלמידיה של המורה טל. ניתן לייחס זאת לעובדה שהמורה עמליה, בניגוד למורה טל, הקפידה לפתח דיונים בהם נשמרה רמת חשיבה מערכתית אחידה בשיח בינה לבין תלמידיה ולכן הצליחה יותר מהמורה טל ביצירת שיח מערכתי משמעותי ופורח. ממצאים אלו מחזקים את הטענה כי בדומה לכל תהליך הוראה-למידה, על המורה להיות ער לרמת החשיבה המערכתית של תלמידיו. ההיררכיה בבסיס מודל STH-BE מאפשרת למורה לנטר את רמת החשיבה המערכתית בשיח הכיתתי ועשויה להעלות את מודעות המורה לרמת החשיבה המערכתית של תלמידיו, לקדם הוראה בטווח ה-ZPD של התלמידים ולתרום להתפתחות החשיבה המערכתית שלהם. מכאן שבשונה ממצאי מחקרן של Liu & Hmelo-Silver (2009), אשר הצביעו על היעילות הגבוהה של למידה באמצעות ייצוג מבוסס תפקיד ותפקוד המערכת ביחס ללמידה באמצעות ייצוג מבוסס מבנה, ממצאי המחקר הנוכחי מתארים תמונה מורכבת יותר. נראה שהבחירה במבנה וסדר ההוראה תלויה ברמת החשיבה המערכתית של התלמידים. כלומר, לאיתור מרחב התפתחות החשיבה המערכתית הקרובה (ZPD) על בסיס ההיררכיה בדגם STH-BE עשויה להיות חשיבות מרכזית בתכנון ההוראה והתאמתה לתלמידים.

3. סיכום והשלכות

- החידוש במודל STH-BE הוא האיחוד בין נקודות המבט המרכזיות בתחום חשיבה מערכתית בהוראת המדעים, לכדי דגם אחד קוהרנטי המתאים להוראת ביולוגיה. הדגם החדש מציג את ההיררכיה בין מיומנויות החשיבה המערכתית האופיינית להתפתחות החשיבה בביולוגיה. לצורך חיזוק הסדר ההיררכי המוצע במודל דרושים מחקרי המשך רחבים יותר, בנושאים נוספים בביולוגיה ובשכבות גיל שונות.
- נראה שההיררכיה המוצעת במודל STH-BE מעידה על הייחוד הדיסציפלינרי של חשיבה מערכתית בביולוגיה. ההיררכיה מחדדת את הקושי המרכזי של הלומדים להבחין ולקשר בין רמות ארגון שונות לצורך הבנת מערכות ביולוגיות. במחקרי המשך יהיה מעניין לבחון את המודל החדש בתחומי דעת אחרים (למשל, כימיה ופיזיקה) על מנת לקבל מענה לשאלה האם הסדר ההיררכי החדש אכן ייחודי לחשיבה מערכתית בביולוגיה או שהוא מתאים גם לתחומי מדע נוספים.
- ההיררכיה בבסיס מודל STH-BE מאפשרת ניטור רמת החשיבה המערכתית בשיח הכיתתי ועשויה לקדם הוראה בטווח ה-ZPD ולתרום להתפתחות החשיבה המערכתית של התלמידים. לאיתור ה-ZPD של תלמידי הכיתה מנקודת מבט מערכתית, חשיבות מרכזית בתכון תהליכי הוראה ולמידה.
- המודל נמצא אפקטיבי לצורך ניתוח מפות מושגים של תלמידים ושאלוני RG של מורים בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם ולצורך שיח כיתתי מנקודת מבט מערכתית. במחקרי המשך מעניין לבחון את מידת האופרטיביות של המודל כבסיס תיאורטי לניתוח ממצאים מכלי מחקר נוספים כמו ראיונות ואיורים.
- מודל STH-BE יכול לשמש בסיס פורה לעיצוב דגמי הוראה לפיתוח הדרגתי של מיומנויות חשיבה מערכתית בביולוגיה לצורך העמקת ההבנה של תופעות בטבע. במחקר הנוכחי דגם ההוראה עסק בפיתוח חשיבה מערכתית בנושא מערכות הובלה ביצורים חיים. במחקר עתידי מעניין לבחון כיצד למידה באמצעות דגם הוראה המתמקד במערכת ביולוגית נתונה, עשויה להשפיע על היכולת של התלמידים לנתח מערכת ביולוגית חדשה או מערכת חדשה מתחום תוכן אחר (למשל פיזיקה או כימיה).
- למידה באמצעות חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית קידמה את התפתחות הידע של התלמידים בנושא מערכת ההובלה בגוף האדם, מנקודת מבט מערכתית. נראה שהשילוב בין שלושת העקרונות המנחים בעיצוב חומרי ההוראה-למידה: (1) הקניית מיומנויות חשיבה מערכתית באופן היררכי והדרגתי, (2) התייחסות לרמות ארגון שונות והקשר בין רמות הארגון, (3) הבחנה מפורשת בין מבנה, תפקיד ותפקוד בדגש על ייצוג קונספטואלי מבוסס תפקוד; קידמו באופן מיוחד את יכולת התלמידים לזהות קשרי תהליך בין רמות ארגון שונות.

- הוראה באמצעות חומרי הוראה-למידה לפיתוח חשיבה מערכתית הביאה להתפתחות במבנה הידע של המורות, מנקודת מבט מערכתית. נראה שיישום תכניות לפיתוח חשיבה מערכתית בקרב תלמידים מצריך גיבוש תכניות הכשרת מורים לפיתוח חשיבה מערכתית.
- מורים מגיעים לתהליך ההוראה עם מבנה ידע אישי אשר משפיע על השינויים הייחודיים שחלים בארגון הידע שלהם בעקבות ההוראה. מכאן עולה החשיבות של הצפת ידע מוקדם כשלב ראשון בקורסים להכשרת מורים והשתלמויות מורים.
- יישום חומרי הוראה-למידה חדשים הוא תהליך פעיל של מתן פרשנות אישית של המורים לאור התפיסות הקיימות שלהם. ממצא זה מטיל בספק את היעילות של יישום גישות הוראה חדשות ללא גיבוש תכנית מתאימה להכשרת מורים.
- נראה שקיים קשר בין האופן בו מורים מארגנים את הידע שלהם, לבין השינוי שחל במודל המנטאלי של תלמידיהם (ברמת הכיתה). ממצא זה מזמן מחקרי המשך שיבססו טענה זו ויבחנו אותה ברמת התלמיד. כלומר, יבחנו כיצד תלמידים שונים מושפעים מהדרך בה מוריהם מארגן את הידע שלו.

- Airasian, P. W., & Walsh, M. E. (1997). Constructivist cautions. *Phi Delta Kappan*, 78(6), 444. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/218492309?accountid=14950>
- Amin, T. G., Smith, C. L., & Wisner, M. (2015). *Student Conceptions and Conceptual Change* (Vol. 2). New York: Routledge.
- Anderson, C. W., Holland, J. D., & Palincsar, A. S. (1997). Canonical and sociocultural approaches to research and reform in science education: The story of Juan and his group. *The Elementary School Journal*, 97(4), 359-383.
- Arnaudin, M. W., & Mintzes, J. J. (1985). Students' alternative conceptions of the human circulatory system: A cross age study. *Science Education*, 69(5), 721-733.
- Ausubel, D. P. (1963). *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*. New York and London: Grune and Stratton.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- Bannister, D. (1960). Conceptual structure in thought disordered schizophrenics. *Journal of Mental Science*, 106, 1230-1249.
- Ben-Zvi Assaraf, O., Dodick, J., & Tripto, J. (2013). High school students' understanding of the human body system. *Research in Science Education*, 43(1), 33-56. doi: 10.1007/s11165-011-9245-2
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518-560. doi: 10.1002/tea.20061
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2010). Four case studies, six years later: Developing system thinking skills in junior high school and sustaining them over time. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(10), 1253-1280. doi: DOI 10.1002/tea.20383
- Ben-zvi Assarf, O., & Orion, N. (2005). A study of junior high students' perceptions of the water cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 366.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2010). System thinking skills at the elementary school level. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 540-563.
- Brewer, C. A., & Smith, D. (2011). Vision and change in undergraduate biology education: A call to action. *American Association for the Advancement of Science, Washington, DC*.
- Brown, D., & Hammer, D. (2008). Conceptual change in physics. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 127-154). New York: Routledge.
- Bybee, R. W., Short, J. B., Landes, N. M., & Powell, J. C. (2003). *Professional development and science curriculum implementation*. New York: Routledge.
- Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161-199.
- Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 61-82). Erlbaum: Hillsdale, NJ.
- Chin, C. (2007). Teacher questioning in science classrooms: Approaches that stimulate productive thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(6), 815-843.
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. (1989). Cognitive Apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, Learning and Instruction* (pp. 453-494). New Jersey: L. Erlbaum.
- De Savigny, D., & Adam, T. (2009). *Systems thinking for health systems strengthening*: World Health Organization.

- diSessa, A. A. (2008). A bird's-eye view of the "pieces" vs. "coherence" controversy (from the "pieces" side of the fence). In S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of Conceptual Change* (pp. 35-60). New York: Routledge.
- Douvdevany, O., Dreyfus, A., & Jungwirth, E. (1997). Diagnostic instruments for determining junior high-school science teachers' understanding of functional relationships within the 'living cell'. *International Journal of Science Education*, *19*(5), 593-606.
- Draper, R., & Crutchley, E. (2014). *The Milan systemic approach to family therapy* (Vol. 2). New York: Routledge.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, *23*(7), 5-12.
- Evagorou, M., Korfiatis, K., Nicolaou, C., & Constantinou, C. (2009). An Investigation of the potential of interactive simulations for developing system thinking skills in elementary school: A case study with fifth-graders and sixth-graders. *International Journal of Science Education*, *31*(5), 655-674. doi: 10.1080/09500690701749313
- Foote, R. (2007). Mathematics and complex systems. *Science*, *318*(5849), 410-412. doi: 10.1126/science.1141754
- Fransella, F., Bannister, D., & Bell, R. (2003). *A Manual for Repertory Grid Technique* (2e ed.). West Sussex: John Wiley & Sons.
- Goldman, D., Ben-Zvi Assaraf, O., & Shaharabani, D. (2013). Influence of a non-formal environmental education programme on junior high-school students' environmental literacy. *International Journal of Science Education*, *35*(3), 515-545.
- Halliday, M. A. K. (1978). *Language as Social Semiotic*. London Arnold
- Hershkowitz, R. (1987). The acquisition of concepts and misconceptions in basic geometry or when a little learning is a dangerous thing. In J. D. Novak (Ed.), *Proceedings of the Second International Seminar: Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics* (Vol. 3, pp. 238-251). New York: Cornell University.
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, *16*(3), 235-266.
- Hmelo-Silver, C. E., & Azevedo, R. (2006). Understanding complex systems: Some core challenges. *The Journal of the Learning of Sciences*, *15*(1), 53-61.
- Hmelo-Silver, C. E., Liu, L., Gray, S., & Jordan, R. (2015). Using representational tools to learn about complex systems: A tale of two classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, *52*(1), 6-35. doi: 10.1002/tea.21187
- Hmelo-Silver, C. E., Marathe, S., & Liu, L. (2007). Fish swim, rocks sit, and lungs breathe: Expert-novice understanding of complex systems. *The Journal of the Learning of Sciences*, *16*(3), 307-331.
- Hmelo-Silver, C. E., & Pfeffer, M. G. (2004). Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. *Cognitive Science*, *28*(1), 127-138. doi: 10.1016/s0364-0213(03)00065-x
- Hmelo, C. E., Holton, D. L., & Kolodner, J. L. (2000). Designing to learn about complex systems. *The Journal of the Learning of Sciences*, *9*(3), 247-298.
- Hogan, K. (2000). Assessing students' systems reasoning in ecology. *Journal of Biological Education*, *35*(1), 22-28.
- Jacobson, M. J., & Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *Journal of the Learning Sciences*, *15*(1), 11-34. doi: 10.1207/s15327809jls1501_4
- Jankowicz, D. (2004). *The Easy Guide to Repertory Grids*. Chichester, West Sussex, England: J. Wiley.

- Kali, Y., Orion, N., & Eylon, B. (2003). Effect of knowledge integration activities on students' perception of the earth's crust as a cyclic system. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(6), 545-565.
- Kelly, G. J. (2003). *The Psychology of Personal Constructs: Volume Two: Clinical Diagnosis and Psychotherapy*. New York: Routledge.
- Kelly, G. J. (2014). Discourse practices in science learning and teaching. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (Vol. 2, pp. 321-336). New York: Routledge.
- Keynan, A., Ben-Zvi Assaraf, O., & Goldman, D. (2014). The repertory grid as a tool for evaluating the development of students' ecological system thinking abilities. *Studies in Educational Evaluation*, 41, 90-105.
- Kinchin, I. M. (2011). Visualising knowledge structures in biology: Discipline, curriculum and student understanding. *Journal of Biological Education*, 45(4), 183-189. doi: 10.1080/00219266.2011.598178
- Kinchin, I. M., Hay, D. B., & Adams, A. (2000). How a qualitative approach to concept map analysis can be used to aid learning by illustrating patterns of conceptual development. *Educational Research*, 42(1), 43-57. doi: 10.1080/001318800363908
- Latta, G. F., & Swigger, K. (1992). Validation of the repertory grid for use in modeling knowledge. *Journal of the American Society for Information Science*, 43(2), 115-129. doi: 10.1002/(sici)1097-4571(199203)43:2<115::aid-asi2>3.0.co;2-i
- Lawson, A. E., & Thompson, L. D. (1988). Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(9), 733-746.
- Lemke, J. L. (1990). *Talking Science: Language, Learning, and Values*. London: Ablex.
- Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (2000a). Chromosomes: The missing link-young people's understanding of mitosis, meiosis and fertilization. *Journal of Biological Education*, 34(4), 189-199.
- Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (2000b). What's in a cell? Young people's understanding of the genetic relationship between cells, within an individual. *Journal of Biological Education*, 34(3), 129-132.
- Linn, M. C., & Eylon, B. (2011). *Science Learning and Instruction: Taking Advantage of Technology to Promote Knowledge Integration*. New York: Routledge.
- Linn, M. C., & Eylon, B. S. (2006). Science education: Integrating views of learning and instruction. *Handbook of Educational Psychology*, 511-544.
- Liu, L., & Hmelo-Silver, C. E. (2009). Promoting complex systems learning through the use of conceptual representations in hypermedia. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(9), 1023-1040.
- Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2000). Students' cellular and molecular explanations of genetics phenomena. *Journal of Biological Education*, 34(4), 200-205.
- Mayr, E. (1997). *This is Biology: The Science of the Living World*. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press.
- McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 248(4), 122-130.
- Mercer, N. (1995). *The Guided Construction of Knowledge: Talk Amongst Teachers and Learners*. Clevedon: Multilingual matters.
- Nassaji, H., & Wells, G. (2000). What's the use of 'triadic dialogue'? An investigation of teacher-student interaction. *Applied Linguistics*, 21(3), 376-406.
- National Research Council. (2012). A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. In Q. Helen, S. Heidi & K. Thomas (Eds.): The National Academies Press.

- Novak, J. D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 937-949. doi: 10.1002/tea.3660271003
- Nussbaum, J. (1985). The particular nature of matter in the gaseous state. In R. Driver, Guesne, E. & Tiberghien, A (Ed.), *Children's Ideas in Science* (Vol. 124-144): Milton Keynes: Open University.
- Orion, N., & Libarkin, J. (2015). Earth system science education. In N. G. Lederman & S. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (Vol. 2, pp. 481-496). New York: Routledge.
- Palincsar, A. S. (1998). Social constructivist perspectives on teaching and learning. *Annual Review of Psychology*, 345-375.
- Penner, D. E. (2000). Explaining systems: Investigating middle school students' understanding of emergent phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(8), 784-806.
- Piaget, J. (1929). *The Child's Conception of the World*. London: Routledge & Kegan, P. Ltd.
- Probst, G., & Bassi, A. (2014). *Tackling Complexity: A Systemic Approach for Decision Makers*. Sheffield: Greenleaf publishing.
- Raved, L., & Yarden, A. (2014). Developing 7th grade students' systems thinking skills in the context of the human circulatory system. *Frontiers in Public Health*, 2. doi: 10.3389/fpubh.2014.00260
- Remillard, J. T. (2005). Examining key concepts in research on teachers' use of mathematics curricula. *Review of Educational Research*, 75(2), 211-246.
- Resnick, M. (1994). *Turtles, Termites, and Traffic jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*. Cambridge: MA: MIT Press.
- Rozenszajn, R., & Yarden, A. (2014). Expansion of biology teachers' pedagogical content knowledge (PCK) during a long-term professional development program. *Research in Science Education*, 44(1), 189-213.
- Scott, P. H., Mortimer, E. F., & Aguiar, O. G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90(4), 605-631. doi: 10.1002/sce.20131
- Senge, P. M. (1990). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. New York: Doubleday.
- Sfard, A. (1998). On two metaphors for learning and the dangers of choosing just one. *Educational Researcher*, 27(2), 4-13.
- Sfard, A. (2008). *Thinking as Communicating: Human Development, the Growth of Discourses, and Mathematizing*: Cambridge University Press.
- Shkedi, A. (2003). *Words of Meaning: Qualitative Research - Theory and Practice*. Tel Aviv, Israel: Ramot (in Hebrew).
- Smith, J. P. I., diSessa, A. A., & Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115-163.
- Songer, C. J., & Mintzes, J. J. (1994). Understanding cellular respiration: An analysis of conceptual change in college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), 621-637.
- Stewart, J. (1982). Difficulties experienced by high school students when learning basic mendelian genetics. *The American Biology Teacher*, 44, 80-89.
- Sungur, S., Tekkaya, C., & Geban, O. (2001). The contribution of conceptual change texts accompanied by concept mapping to students' understanding of the human circulatory system. *School Science and Mathematics*, 101(2), 91-101.
- Sweeney, L. B., & Sterman, J. D. (2007). Thinking about systems: Student and teacher conceptions of natural and social systems. *System Dynamics Review*, 23(2-3), 285-311. doi: 10.1002/sdr.366

- Verhoeff, R. P. (2003). *Towards Systems Thinking in Cell Biology Education*. (PhD), Proefschrift Universiteit Utrecht, Utrecht. Retrieved from www.library.uu.nl/digiarchief/dip/diss/2003-1120-164517/inhoud.htm
- Verhoeff, R. P., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2008). Systems modelling and the development of coherent understanding of cell biology. *International Journal of Science Education*, 30(4), 543-568.
- Viiri, J., & Saari, H. (2006). Teacher talk patterns in science lessons: Use in teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 17(4), 347-365. doi: 10.1007/s10972-006-9028-1
- Von Bertalanffy, L. (1950). The theory of open systems in physics and biology. *Science*, 111(2872), 23-29.
- Von Bertalanffy, L. (1972). The history and status of general systems theory. *Academy of Management Journal*, 15(4), 407-426. doi: 10.2307/255139
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Vosniadou, S. (2002). On the nature of naïve physics *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice* (pp. 61-76): Springer.
- Vygotsky, L. (1978). Interaction between learning and development *Mind in Society. The Development of Higher Psychological Processes* (pp. 12-57): Harvard University Press.
- Wallace, J. D., & Mintzes, J. J. (1990). The concept map as a research tool: Exploring conceptual change in biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 1033-1052. doi: 10.1002/tea.3660271010
- Wells, G. (1993). Reevaluating the IRF sequence: A proposal for the articulation of theories of activity and discourse for the analysis of teaching and learning in the classroom. *Linguistics and Education*, 5(1), 1-37. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0898-5898\(05\)80001-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0898-5898(05)80001-4)
- White, R., & Gunstone, R. (1992). Concept mapping *Probing Understanding* (pp. 15-43). London, New York, Philadelphia: The Falmer Press.
- Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in levels: A dynamic systems approach to making sense of the world. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 3-19.
- Wilson, J. M. (1999). Using words about thinking: Content analyses of chemistry teachers' classroom talk. *International Journal of Science Education*, 21(10), 1067-1084. doi: 10.1080/095006999290192
- Yoon, S. A. (2008). An evolutionary approach to harnessing complex systems thinking in the science and technology classroom. *International Journal of Science Education*, 30(1), 1-32. doi: 10.1080/09500690601101672
- Young, L., & Harrison, C. (2004). *Systemic Functional Linguistics and Critical Discourse Analysis: Studies in Social Change*: A&C Black.

אלון, ב. ש., אלדר, א., ברגר, ח., בגנו, א., & רונן, מ. (2013). אינטגרציה של ידע- פרספקטיבה קונסטרוקטיביסטית ללמידה והוראה, דוגמאות מתחום הפיזיקה. תל אביב: הקיבוץ המאוחד ומכון מופ"ת.

ליברמן, צ. (2013). קונסטרוקטיביזם בחינוך. תל אביב: מכון מופ"ת.

צבר בן-יהושע, נ. (1997). המחקר האיכותי בהוראה ובלמידה: מודן.

ראב"ד, ל., ביאליק, ת., השכל-איטח, מ., & ירדן, ע. (2013). חוקרים מערכות הובלה. בתוך: חוקרים מערכות חיים א'. רחובות: המחלקה להוראת המדעים מכון ויצמן למדע.

שרון-אריאלי, מ. (2007). אפיון תפיסות בנושא התא החי והיבטים בחשיבת מאקרו-מיקרו של בוגרי חטיבת בנינים בישראל. (מוסמך למדעים), מכון ויצמן למדע.

האגף לתכנון ופתוח תכנית הלימודים (2014), תכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה לכיתות ז'-ט'. ירושלים, משרד החינוך והתרבות.