

ויזואליזציה ככלי לפיתוח חשיבה



יהודית דורי

המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים, טכניון

מרכז לטכנולוגיות למידה, MIT

מכון סאלד, ירושלים 2007

1

גישות הוראה – קצת היסטוריה...

בעבר, בהוראת המדעים הושם מעט מאד דגש על למידה תוך הבנה ופיתוח מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה.

- ההוראה התמקדה במיומנויות בסיסיות של קריאה, כתיבה וחישובים.
- לא הייתה קיימת הכוונה לחשוב ולקרוא באופן ביקורתי או לפתור בעיות מורכבות.
- רוב ההוראה התבצעה בפורום של הכיתה השלמה עם גיר ולוח.
- הזדמנויות לתכנן ניסוי, להעריך, לבצע סינתזה או לפתור קונפליקט לגבי החומר הנלמד, היו מועטות.
(Bransford, Brown & Cocking, 2000)



מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה

- Zohar and Dori (2003) פרטו פעילויות קוגניטיביות נוספות המסווגות כרמה גבוהה:
 - בניית טיעונים
 - שאלת שאלות בכלל ושאלות חקר בפרט
 - עריכת השוואות
 - פתרון בעיות מורכבות שאינן אלגוריתמיות
 - התמודדות עם סתירות ומחלוקות
 - רוב כישורי החקר המדעי הקלאסי כמו ניסוח השערות, תכנון ניסויים או הסקת מסקנות.



- עידוד תלמידים לפתח מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה, היא מטרה העומדת כיום בפני אנשי חינוך וכותבי תוכניות לימודים במדעים


(Dori, 2003; Tobin & Gallagher, 1987)

- שילוב הוראת המיומנויות בתוכן הנלמד, מגביר את הסיכוי לרכישתן

(Bailin, 2002)

- לכן, חשוב לעודד הוראה המפתחת חשיבה, שמטרתה העיקרית תהייה ללמד **איך** לחשוב ולא **מה** לחשוב

(Driver, Newton & Osborn, 2000)



Using the metaphor of a gourmet meal, Burton Cohen and Peter Hiltz describe sample lessons built around the integration of thinking processes—

much as a master chef thinks about the blend of flavors in a meal, so too does a curriculum planner design "delicious" lessons.

Developing Minds: A Resource Book for Teaching Thinking, 3rd Edition
Edited by Arthur L. Costa (2001)



Background

Prior to TEAL, Physics courses at MIT featured:

- Freshmen science and engineering students
- Large lecture hall with 300 students, 3 hours a week
- Bi-weekly recitations, 2 hours in total
- No laboratory
- Emphasis on analytical problem solving

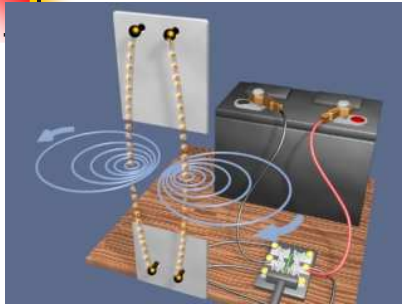
The TEAL Project

- We use visualizations in teaching physics interactively in freshman courses at MIT (classes of 600 students)
- We combine desktop experiments with visualizations of those experiments
- Our pedagogy utilizes collaborative learning, networked laptops, media-rich software, extensive course notes and assessment

Instructors mentor group experiment and discussion



Make the unseen seen



Two wires in series

The current in the wires run in opposite directions. When the current is turned on, the resulting magnet field pressure between the wires pushes them apart.

Creating an Electric Field

Five negative electric charges and five positive charges are separated by an external agent. The work the agent does against the electric attraction appears as energy in the electric field.



Visualizations

- http://web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/teal_tour.htm.
- These visualizations range in format from passive mpeg movies to interactive Shockwave and Java 3D applets.

Research Questions

- What is the effect of the TEAL project on the retention of students' conceptual understanding of electromagnetism and how does it compare to retention of students taught in a traditional teaching method??
- How do students perceive the contribution of studying E&M in one or the other formats to their learning in advanced courses?

Research Instruments

Assessed Variable	Instruments
Conceptual understanding	Pre, post, & retention tests – Conceptual & image understanding questions
Perceptions	Questionnaires

Research Population



MIT students enrolled in Introductory Electromagnetism - E&M

Retention test taken 16 months from the course on average

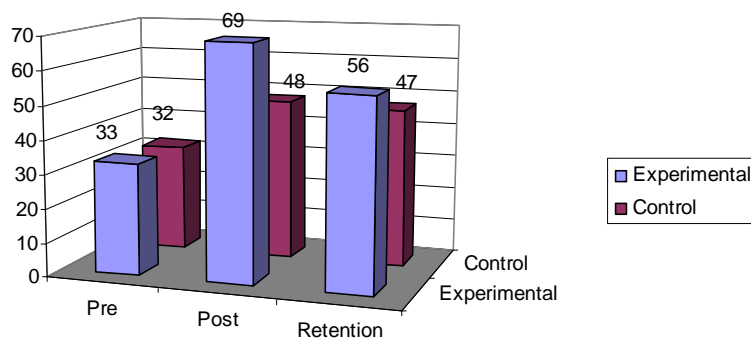
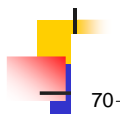
- Experimental group, Fall 2001 & Spring 2003 – **Small & Large Scale TEAL implementation**: N = 686 students

In the retention study: N = 123

- Control group, Spring 2002 – lectures & recitations: N = 121 students

In the retention study: N = 51

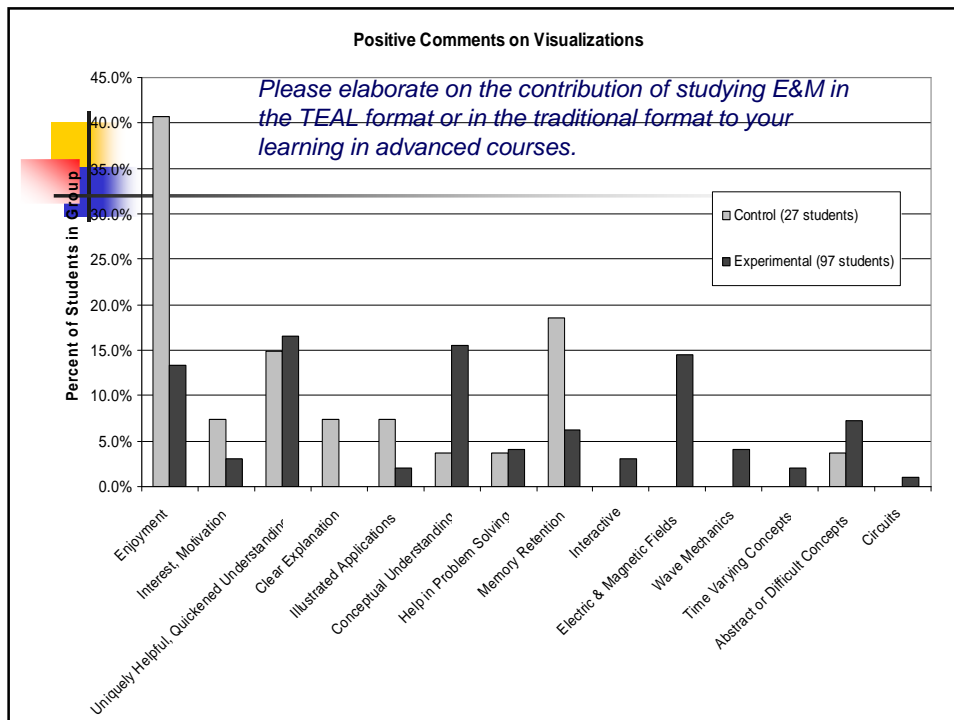
Pre, Post, & Retention Conceptual Test Scores



Experimental group – Fall 2001 & Spring 2003
N = 123

Control group - Spring 2002
N = 51

There was an overall significant difference in favor of the experimental group ($p < 0.005$).




Students' Comments


Control student: “I liked taking E&M in a big lecture format. This seems like a traditional part of MIT education.”

Experimental student: “TEAL demanded active classroom participation, which would have been absent in the traditional format. The hands-on experiments helped visualize the concepts and theories and made formulae less tedious.”

Summary

- 
- The **long-term effect** of the TEAL format on students' retention of E&M concepts was **more noticeable** than that of the traditional format.
 - The significance of this research is that it is the first of its kind to provide college students' learning outcomes in both **cognitive** and **affective** domains based on a **longitudinal study** over a period of four years.

Summary (cont.)



The results of the small & large scale implementation were repeated also in the retention study.

This favorable outcome was not affected to a noticeable extent by the fact that the 6 new professors had taken part neither in the development stage nor in the early implementations.

Summary (cont.)




Creating learning environments that contain visualizations is not sufficient for promoting cognitive processing and improving learning.

The instructor has to plan correctly the manner in which the information is presented and to adapt it to the students' cognitive abilities and styles.



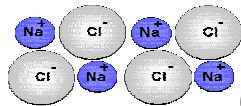
חושבים על ארבע רמות הבנה בכימיה – 
אימון מטה קוגניטיבי רמות הבנה בכימיה
מטה-קוגניציה 

דוגמאות ליישום רמות הבנה בכימיה: 
לתלמידים – בקרה של רמת התשובה
למורים – הערכת הבנת תלמידים

רמות הבנה בכימיה

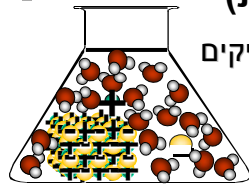
רמת התופעה (הרמה המאקרוסקופית)

מתייחסת לשינויים המתגלים ישירות לחושינו: ראייה, שמיעה, מישוש, ריח או בסיוע מכשיר כלשהו.



הרמה החלקיקית (הרמה המיקרוסקופית)

מתייחסת לשינויים החלים בהערכות החלקיקים המרכיבים את החומרים.



רמות הבנה בכימיה

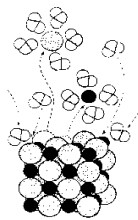
רמת הסמל

מתייחסת לייצוג חזותי המורכב מסמלים מוסכמים. ייצוג באמצעות נוסחאות, גרפים, איורים.



רמת התהליך

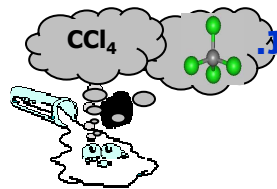
מתייחסת להבנת תהליכים ומנגנוני תגובות כימיות. צריכה לבטא את הבנת התהליך המתרחש באמצעות תיאור מילולי של המנגנון המתרחש.



האתגר של מורי הכימיה



להבטיח שהתלמידים יבינו את כל ארבע
הרמות לתיאור חומר, ידעו מתי לדמיין
מולקולה, מתי לחשוב על נוסחה, מתי
להשתמש בשם, מתי לתאר תכונות ותהליכים
ומתי לנצל ידע קודם כדי לבנות ידע חדש.



להדגיש את המעבר בין הרמות.

מטה - קוגניציה



מטה-קוגניציה - בוחנת את המציאות באמצעות ניסוח, קואורדינציה,
ובקרה של תהליך הלמידה (Flavel 1976), ורצון לאמן את הבקרה
(White, 1993).

ידע מטה-קוגניטיבי מתייחס לידע:

על עצמי - הלומד

על הבנת אופי המשימה

על אסטרטגיות

מטה-קוגניציה הינה אחד האמצעים להגברת ההעברה של
מיומנויות חשיבה גבוהות (זוהר ע. 1996)



שימוש במטה-קוגניציה

(פרקינס, 2000)

השלב התחתון – שימוש מובלע – החשיבה אינה כרוכה במטה-קוגניציה.

השלב השני – שימוש מודע – סיווג וכינוי בשם.

השלב השלישי – שימוש אסטרטגי – בחירה טובה ושימוש זהיר במארגני החשיבה.

השלב העליון – שימוש רפלקטיבי – בחינה ביקורתית ושינוי יצירתי של ביצועי החשיבה.



שימוש במטה – קוגניציה לתלמידים



פסק זמן לחשיבה על חשיבה... רמות הבנה בכימיה*

הכימאים נוהגים להתייחס למידע כימי במספר רמות הבנה. התרגיל שלפניכם, כולל שש שאלות, בהן נדרשות תשובות ברמות חשיבה שונות.

שימו ♥ שתשובתיכם אכן ברמות הבנה אילו.

בשאלה 1 הנכם מתבקשים לרשום ניסוח לתהליך קבלת טריגליצריד ולהסביר את המתרחש בתהליך. תשובתכם לשאלה זו דורשת שילוב של שתי רמות הבנה בכימיה - רמת הסמל (ניסוח התהליך) ורמת התהליך (הסבר מילולי למתרחש בתהליך).

שאלה 2 מתייחסת לרמת הבנה אחת – רמת הסמל – הבנת צורות ייצוג שונות של טריגליצרידים.

יחידת הלימוד: "טעם של כימיה"



Theoretical Background

Integrating computerized experiments into chemistry teaching is important for:

- ❖ Fostering meaningful learning
- ❖ Stimulating critical scientific thinking
- ❖ Implementing practical aspects of the science phenomena

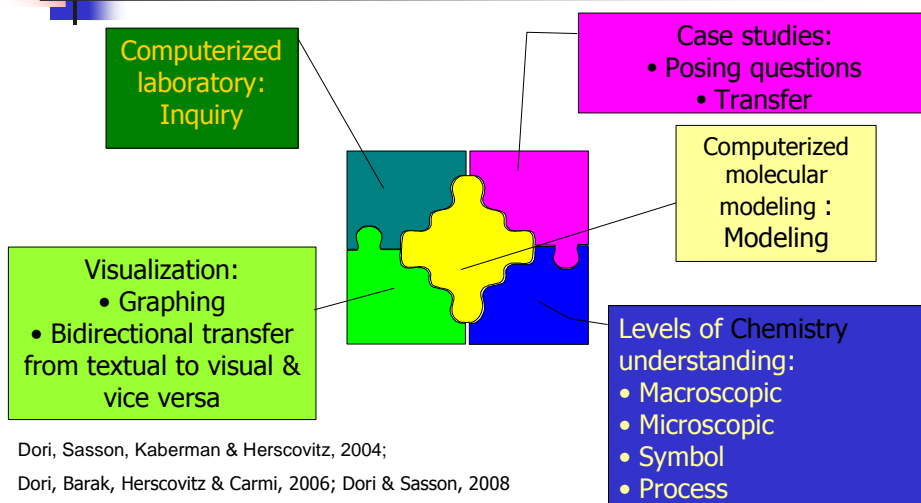


(Barnea & Dori, 1999; Dori, Barak & Adir, 2003; Jones & Atkins, 2000; Kozma, Chin, Russel & Marx, 2000)

27



Case-based Computerized Laboratory Environment



Dori, Sasson, Kaberman & Herscovitz, 2004;

Dori, Barak, Herscovitz & Carmi, 2006; Dori & Sasson, 2008

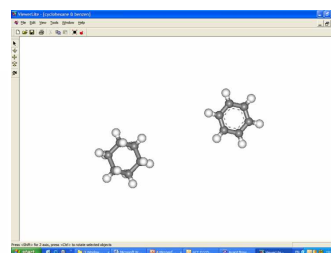
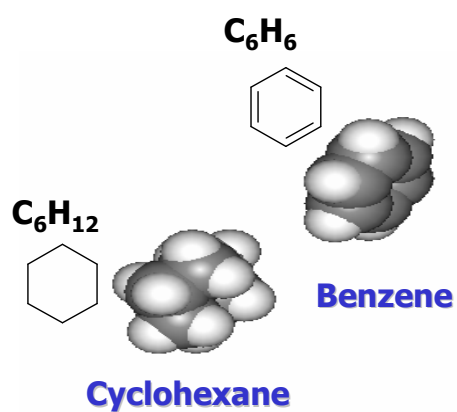
Kaberman & Dori, 2007; Sasson & Dori, 2006;

Computerized Laboratories



29

Computerized Molecular Modeling



30



Research Goal

- Investigate the effect of case-based computerized laboratory environment on students' thinking skills:
 - ❖ Question posing
 - ❖ Inquiry
 - ❖ Modeling
 - ❖ Graphing
 - ❖ Transfer.

31



Research Participants & Tools

- About 600 12th grade honors-level chemistry students who studied in the CCL & CMM learning environment – **experimental group**.
- About 140 12th grade honors-level chemistry students who studied in non-computerized learning environments – **comparison group**.
- ❖ **Research tools** included pre and post case-based tests and students' reflections. The CCL students' learning outcomes were compared to those of the comparison group students.

32

Case-based pre and post questionnaires

- A case study related to a chemical authentic story:

Trees cause air pollution – Is this possible?

■ Volatile hydrocarbons are naturally emitted from various types of trees. Isoprene (C_5H_8) is the most common organic compound that oak and sycamore trees emit at daylight.

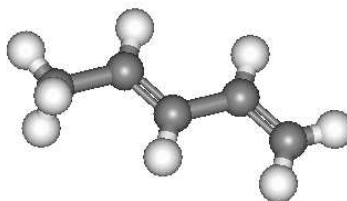
Researchers assume that isoprene emission is part of the tree's heat protection mechanism. Updated research emphasizes the role of isoprene in the process of smog formation...

- Assignments for investigating thinking skills, including graphing and modeling skills. The questionnaires were analyzed in two phases:
 - ✓ A qualitative phase - content analysis of students' responses
 - ✓ A quantitative phase - scoring each student's response using rubrics and statistically analyzing the results.

33

Modeling Skills – The Assignments

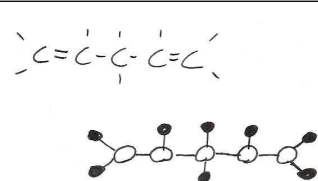
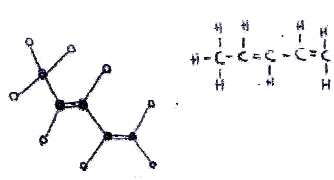
The molecular formula of isoprene is C_5H_8 .



1. Write a possible structural formula for the molecule
(Transfer from molecular to structural formula).
2. Draw a model for the structural formula of C_5H_8 you suggested
(Model drawing – Transfer from 2D formula to 3D model).

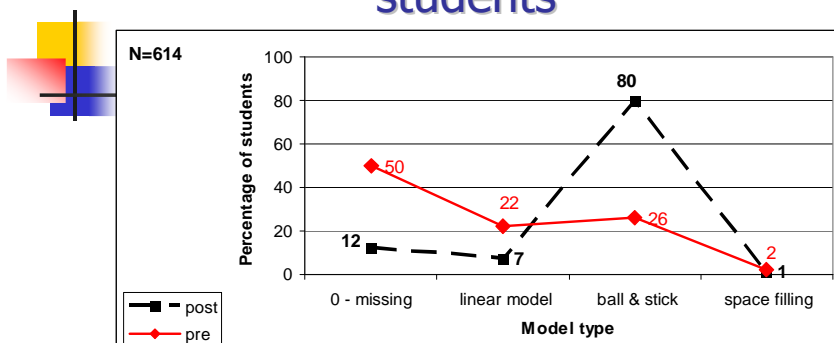
34

Examples of Students' Responses

Quality of Response	Model Drawing of C ₅ H ₈	Analysis
An insufficient response		Reference to angles and spatial representation is incorrect, no distinction between single and double bonds, partial match between the structural formula and the model.
A high level response		A correct model with right angles that make the distinction between 2D and 3D is drawn, and a distinction is made between single and double bond.

35

Findings – Model types drawn by the students

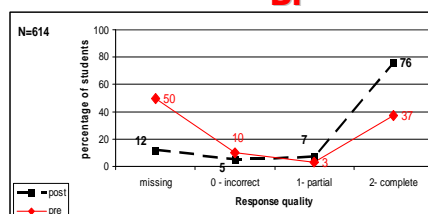
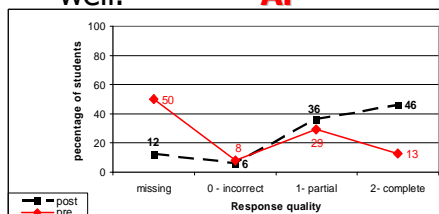


- In the pre-questionnaire about half of the students did not draw any model at all.
- There was a decline in the percentage of students who drew linear 2D models and a significant incline in drawing spatial 3D models.

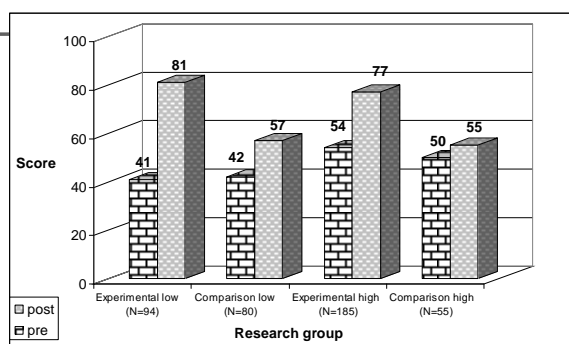
36

Findings – Transfer from molecular to structural formula and to 3D model

- **A.** In the post-questionnaire about 45% of the students carried out the assignment, drawing correct and complete models, compared with only 13% who did so in the pre-questionnaire.
- **B.** In both the pre- and the post-questionnaire, most students who responded to the drawing model assignment could transfer between representations quite well.



Findings – Modeling Scores of Experimental vs. Comparison Students



The net gain score of the experimental group students' modeling skills was significantly higher than that of their comparison peers.

For low academic level $t=4.06$, $p<0.01$; for high academic level $t=4.13$, $p<0.001$.

שימוש במטה – קוגניציה – למורים

הערכת מיומנות גרפית בשאלון חקר אירוע



מאפייני המשימות

Type A

Type B

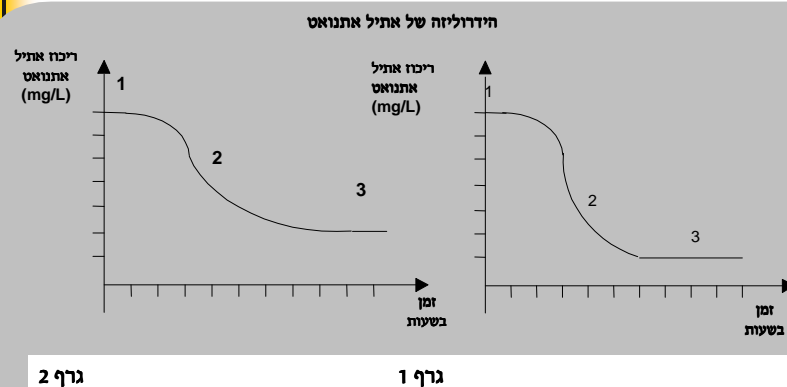
תאור, פרוש והסקת מסקנות
והשוואה בין גרפים

ניסוח השערה מנומקת
ושרטוט גרף מתאים

הערכת:

- מספר רמות ההבנה בכימיה הבאות לידי ביטוי בתשובת התלמיד
- איכות השימוש ברמות ההבנה בכימיה
- היכולת לבצע מעברים בין רמות ההבנה השונות בכימיה

דוגמא לשאלה להערכת מיומנויות גרפיות – Type A



התלמידים נדרשו לתאר את הגרפים, לפרשם, לבצע עיבוד נתונים, להשוות בין שני הגרפים ולהסיק מסקנות.

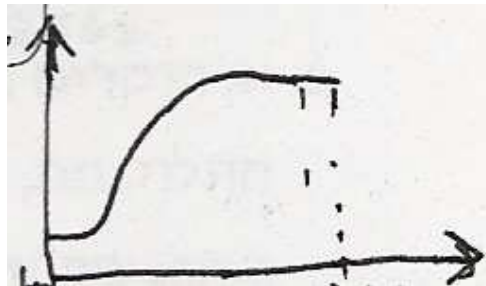
דוגמא לשאלה להערכת מיומנויות גרפיות - Type B

על פי האירוע שקראת, העלה השערה אפשרית להשתנות מסיסות של תרכובת אורגנית במים כפונקציה של טמפרטורת המים. נמק השערתך ושרטט גרף מתאים.

דוגמא מס' 1 לתשובת תלמיד

"כאשר טמפרטורת המים עולה, קשרי המימן בין מולקולות המים נחלשים ובין מולקולות המים ומולקולות התרכובת האורגנית נוצרים יותר קשרי ואד דר ואלס. ככל שהטמפרטורה עולה קוטביות מולקולות המים יורדת."

מסיסות התרכובת
האורגנית במים

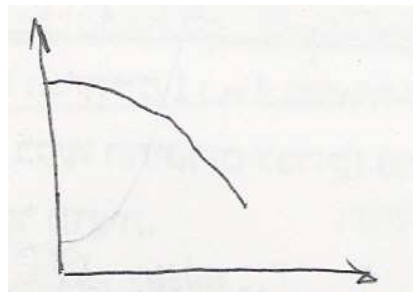


טמפרטורה °C

דוגמא מס' 2 לתשובת תלמיד

"כאשר טמפרטורת המים עולה, מסיסות התרכובת האורגנית עולה כי חומרים בדרך כלל מתמוססים טוב יותר בטמפרטורות גבוהות."

מסיסות התרכובת
האורגנית במים



טמפרטורה °C



Findings – Graphing Skills

- Experimental students demonstrated better graphing skills than their comparison peers.
- Regression lines of the experimental and comparison groups using students' pretest and posttest scores in graphing skills indicated positive relationship between the pretest and posttest scores for both the experimental and the control groups.
- For both research groups, a high score in the pretest questionnaire may predict a high score in the posttest one. However, being in the experimental group predicts an even higher score in the posttest.



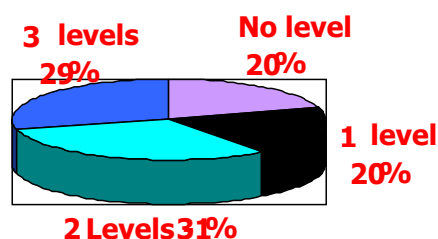
ממצאים ביחס למיומנויות גרפים משולבות בהבנה כימית במחקר במעבדה ממוחשבת

שכיחות רמות הבנה בכימיה

בבניית גרף והנמקה

שאלון מקדים

N=196

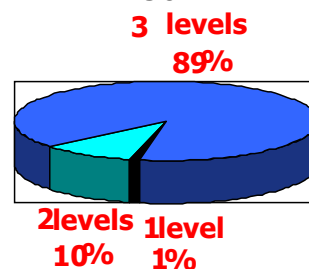


שכיחות רמות הבנה בכימיה

בבניית גרף והנמקה

שאלון מסכם

N=196



Content Analysis of Students' Reflections

"Explain in what way, if any, the case-based computerized laboratory contributed to your understanding of chemical phenomena?"

	Category	Freq. N _{items} = 101	Examples N students = 25
Visual and textual compon.	Graph representations	32%	"The experiment and the graph (like acid-base titration) represented the process and the microscopic aspects in a visual way."
	Experiments and graphs relationships	26%	"By looking at the graph I could see how the experiment progress"
	Text representations	18%	"My favorite case studies were ones that were interesting and relevant to my life."
Expanding knowledge and understanding		24%	"Working in the CCL environment helped me to think about a chemical process through the four chemistry understanding levels: macro, micro, symbol and process." 45

Content Analysis of Students' Reflections

Graph representations (32%)

Category	Freq. N _{items} = 101	Examples N students = 25
Graphing as a visual tool for comprehension processes	17%	"Through the graph I could see and understand when the reaction started and when it finished"
Future contribution	11%	"I learned new skills that I will use in the future, at the university: Graph analyzing, inquiry skill and working in a group."
Graphing as a transferable skill	4%	"I helped my friend, who studies social studies, in graph analyzing. I used techniques that we learned in chemistry." "I'm using knowledge and skills that I learned in the CCL program, in biology. Especially in graphing assignments."



Summary

The contribution of the computer-supported inquiry-based learning environment was manifested by improvement of students' performance in all the examined skills, including:

- ☆ Question posing
- ☆ Inquiry
- ☆ Modelling
- ☆ Graphing
- ☆ Transfer.

Experimental students' net gain scores in both low and high academic levels were significantly higher than those of their comparison group peers.



Research Contributions

- Providing and assessing a computer-supported inquiry-based learning environment that fosters the development of higher order thinking skills.
- The CCL & CMM learning unit brought about changes in the national chemistry matriculation examination in Israel.
- A case study based question is now embedded in the matriculation examination and students are required to pose questions, analyze graphs, demonstrate inquiry skills, and transfer between textual and visual representations.

אפילוג...



- פרקינס (1995) מדגיש את ההיבט הרגשי הקשור לפיתוח החשיבה והוא קרא לו בשם "נטיות לחשיבה". "נטיה לחשיבה" פירושה העדפה של האדם להשתמש בסיטואציות שונות באסטרטגיות חשיבה.
- פרקינס מונה שני אמצעים לטיפול "נטיות לחשיבה": דגם לחיקוי - הורים, מורים ועמיתים; הוראה ישירה של היבטים התנהגותיים הקשורים לחשיבה.

במחקרים שהוצגו המורה שמש מודל לחיקוי
והתבצעה הוראה ישירה המעודדת חשיבה.

49



Thanks

Technion

- Dr. Orit Herscovitz
- Zvia Kaberman
- Dr. Irit Sasson

MIT

- Prof. John Belcher

50