

התפתחויות בהוראת המדעים ובהוראת הכימיה בישראל

ד"ר דורית טייטלבוים, מפמ"ר כימיה, המזכירות הפדגוגית משרד החינוך, ו**ד"ר רחל ממלוק-נעמן**, קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

מתחילת המאה העשרים ועד תחילת שנות השישים של המאה הקודמת לימדו כימיה כאוסף של חוקים ועובדות, בהתאם לספרים שרובם חוברו באוניברסיטאות. המעבדות היו מבוססות ברובן על ניסויים מאשרים, והספרים כללו כימיה תיאורית. בעקבות משבר הספוטניק¹ השתנו תוכניות הלימודים בארצות-הברית בשנות ה-60 וה-70, והושם דגש על מבנה הדעת ועל הוראת מדע דרך החקר. בעקבות השינויים בתוכניות הלימודים בארה"ב חלו שינויים גם בישראל. שינויים שחלו בעולם הובילו בהמשך למסקנות שונות בתחומי הוראת המדעים בכלל והוראת הכימיה בפרט, וכתוצאה מכך חלו שינויים בתוכניות הלימודים.

מה אנחנו מצפים מהוראת הכימיה?

1. על הוראת הכימיה להציג לפני התלמידים תמונה מלאה של תחום הדעת אשר תכלול את התאוריות והמודלים, כולל הצגה של שיטות המחקר, של התהליכים של בניית הידע המדעי ומגבלותיהם.
2. על הוראת הכימיה להציג בפני התלמידים תמונה מלאה על אישיותם של המדענים, צורת החשיבה שלהם ודרך עבודתם.
3. על הוראת הכימיה להניע את התלמידים לחוות את המשמעות של חוסר היכולת להסביר תופעות מדעיות מסוימות ולגרום לכך שיכירו את התפתחות הכימיה לאורך השנים.
4. על הוראת הכימיה להיות משמעותית לתלמידים ולגרום להם להתעניין בתחום מדעי זה.

היבטים שונים שהשפיעו על התפתחות תוכניות הלימוד בכימיה ועל מטרות הוראה ולמידה

בין המשפיעים על תוכניות לימודים במדעים ניתן למצוא קשת רחבה של גורמים, וביניהם גורמים מדיניים, פוליטיים, תרבותיים, כלכליים, חברתיים, תאוריות בפסיכולוגיה ותאוריות בתורת הלמידה וההוראה. בהסתכלות על תוכניות הלימוד שנכתבו, ניתן לראות את הגורמים הנ"ל עוברים מאחורי הקלעים כחוט השני ומתווים את המטרות של תוכניות הלימודים.

היבטים מדיניים, תרבותיים, כלכליים וחברתיים

עד לשנות ה-60 של המאה הקודמת היו התוכניות ללימודי המדע וללימודי הטבע מונופול של האוניברסיטאות, ועיקרן היה הקניית אוסף חוקים ועובדות בתחומי המדעים. במקביל לשינויים המשמעותיים בעולם בתחומי המדע והטכנולוגיה, עם התעוררות האמונה ביתרונות המדע והטכנולוגיה לתועלת החברה, בעקבות תוכנית המירוץ לחלל, המלחמה הקרה ומשבר הספוטניק, הובן בארה"ב שיש צורך בשינוי דרמטי בתוכנית הלימודים במדעים. מטרת התוכנית החדשה בארה"ב הייתה להכשיר דור חדש של מדענים שיוכלו לתת מענה לאתגרים הלאומיים. התוכנית כוונה לתלמידים בעלי גישה מדעית ויכולות למידה גבוהות כך שהתאימה לחלק מצומצם מכלל התלמידים שעתיד להפוך לדור המדענים הבא של ארה"ב. תקציב כלכלי יחוד למשימה, והייתה עלייה משמעותית במשאבים שהופנו למדע. בעקבות משבר הספוטניק בתחילת שנות השישים, הסיקו אנשי מדע אמריקנים שתפקידה של הוראת המדעים היא הקניית מושגי מפתח ועקרונות מאחדים במדע. כל התוכניות שפותחו הדגישו את שיטת החקר.



¹ משבר הספוטניק היה נקודת מפנה במלחמה הקרה, כאשר ברית"מ שיגרה ב-1957 את הלוויין ספוטניק 1 לחלל והפתיעה בכך את ארה"ב שהאמינה כי היא המובילה בכל נושא טכנולוגיית החלל. משבר זה גרם להאצת תכנית החלל האמריקאית ולהקמת נאס"א.

התוכניות התמקדו בנקודות כגון אלה:

- מהו מדע ?
- כיצד מצטבר ידע מדעי?
- מהי דרך עבודתם של מדענים?
- מהם המודלים והתאוריות שלפיהם נבנית תורת המדענים?

בשנות ה-70 הוכרזו המדע והטכנולוגיה ככלתי מועילים לחברה ואף מזיקים לה, כדוגמה ניתנה מלחמת וייטנאם שגרמה בהמשך לבעיות אקולוגיות, למשבר כלכלי ולמשבר אנרגיה. עקב כך פותחו תוכניות לימודים חדשות שלא עסקו בשיטת החקר[1].

בשנות ה-80 הייתה התאוששות כלכלית בארה"ב, וחודשה ההכרה בהוראת המדעים כבעלת תרומה מרכזית לחינוך. בהתאם הייתה עלייה בתקציבי החינוך המדעי. אנשי החינוך הבינו שתוכנית הלימודים הקיימת אינה מתאימה לכלל התלמידים, וכי יש להתאימה לקהל תלמידים הטרוגני יותר ולשים דגש על גישה בינתחומית בלימוד המדעים.

בנוסף חלה לאורך השנים גם התפתחות משמעותית בתאוריות על תהליך הלמידה. חוקרי למידה, הוראה וקוגניציה כמו פיאז'ה, אוסובל, שוואב השפיעו והנחו את כותבי תוכניות הלימוד החדשות.

היבטים פסיכולוגיים

• התאוריה של פיאז'ה - שלבי ההתפתחות האינטלקטואלית.

התלמידים גיעו לשלב הפורמאלי בערך בגיל 12 וישלימו את ההתפתחות האינטלקטואלית בגיל 15. מחקרים שנעשו על התיאוריה של פיאז'ה הובילו לכיוונים אחרים שלפיהם הלומדים בונים את תמונת העולם שלהם בהתבסס על תצפיות, התנסויות והזדמנויות שאפשרו להם לרכוש ולאגור ידע חדש [2].

• התאוריה של אוסובל - מודל ההטמעה.

אוסובל שם את הדגש על הידע המוקדם של התלמידים והתעלם מהשלבים בהתפתחותם האינטלקטואלית לאורך השנים. המודל של אוסובל בלמידה הוא מודל ההטמעה שלפיו בשעה שמתרחשת למידה משמעותית, כל הלומדים מעבדים אותה לפי מבנה מושגי הקיים כבר בהכרתם, וכל אחד מטמיע אותה בדרכו המיוחדת[3].

• התאוריה של גניה - שיטת הלימוד ההיררכית.

גניה דן בהיררכיות בלמידה ועסק בהרכבת "מבני למידה". הוא מבחין בין למידה של "ידע לימודי" המתאים לתוכנית הלימודים לבין "מיומנויות" הקשורות לתהליכים. לדעתו, מודל הלמידה ההיררכי מתאים ביותר לרכישת כשרים אינטלקטואליים החשובים לתלמידים יותר מידע של המדע [4].

היבטים פילוסופיים - הגישה הקונסטרוקטיביסטית

מהם עקרונות הגישה הקונסטרוקטיביסטית [5]?

1. הידע המדעי אינו מתגלה אלא נבנה אצל התלמידים.
2. המדע אינו כולל אוסף של עובדות, אלא מורכב מהשערות, תאוריות ומודלים שמדענים מפתחים כדי להסביר תופעות שונות.
3. הלמידה היא תהליך של ארגון הידע ובניית תבניות חשיבה ע"י הלומדים עצמם, על סמך התנסויותיהם ותוך כדי הבחנה במה שמתרחש סביבו.
4. הלמידה היא תהליך שבו מתקיימת בניית ידע אצל התלמידים.

המטרות שהוגדרו בהוראת המדעים

- ניתן לסווג את המטרות שהוגדרו בהוראת המדעים בארץ ובעולם עפ"י שלבי ההתפתחות השונים של התוכניות השונות במדעים.
- א. עד שנות השישים התרכזו המטרות בהקניית חוקים ובהוראת עובדות בכל אחד מתחומי המדעים - כימיה, פיזיקה וביולוגיה.
 - ב. החל משנות השישים כוונו התוכניות והופעלו כדי להכין דור חדש של חוקרים שילמדו ואחר כך יעבדו בדרכי חשיבה חדשניות.

תוכניות הלימודים בארצות הברית ובישראל

השנים שבין 1955-1974 הוגדרו בארה"ב כ"תור הזהב בחינוך", והושקעו מיליוני דולרים בפיתוח רפורמות חדשותלשתי המטרות האלה:

1. להעשיר את תוכנית הלימודים הקיימת בידע עכשווי.
2. להדגיש את התהליך של המחקר המדעי באמצעות התנסות במעבדה.

מושגי המפתח של תוכניות הלימודים [6]:

1. עליהן לייצג את הרעיונות הבסיסיים של מבנה הדעת.
2. עליהן להסביר את התופעות המדעיות.
3. עליהן ליצור הכללה של תופעות מדעיות.
4. עליהן לפתח כישורים קוגניטיביים אצל הלומדים.
5. עליהן להדגיש את תפקיד המדע בהתייחס להישגים השונים של האדם.

המהפכה החינוכית בישראל

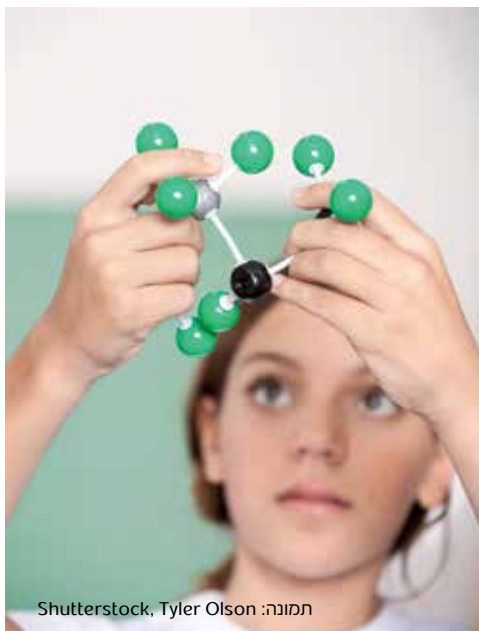
המהפכה החינוכית בישראל כללה את הצעדים האלה:

- א. הפיכת המעבדה החוקרת לבסיס ההוראה.
- ב. השקעה רבה בתרגום ספרי לימוד מאנגלית. הודות למאמץ משותף של משרד החינוך ומורים למדעי הטבע, תורגמו לעברית רוב ספרי הלימוד ורוב תוכניות הלימודים שנלמדו בארה"ב ובאנגליה.
- ג. ארגון השתלמויות מורים כדי להכשיר מורים להתמודדות עם שיטות הוראה לא פרונטאליות.

תוכניות הלימודים שנכתבו בישראל עקבו אחר ההתפתחויות בתחום שחלו בעולם ובעיקר בארה"ב והתבססו על תוכניות להוראת המדעים שפותחו שם. בסוף שנות ה-60 הופעלה התוכנית "כימיה לבית ספר תיכון" שהייתה ברובה תרגום של "Study Chem" האמריקנית. הייתה זו תוכנית שמבוססת על למידה מניסויים, והיא התאימה לתלמידים ספציפיים בעלי יכולת הסקת מסקנות מצפייה בניסוי. בתחילת שנות ה-70 פותחה תוכנית שהתבססה על תוכנית החקר האנגלית "Nuffield". מחקרים בעולם שליוו את הפעלת התוכניות הללו הצביעו על-כך שהתוכנית אינה מתאימה לקבוצה הטרוגנית של תלמידים אלא רק לבעלי יכולות גבוהות עם מכוונות אקדמית. בנוסף לא היו בה הקשרים להיבטים חברתיים וטכנולוגיים. גם בישראל התברר שיישום התוכניות הללו לא הגדיל את מספר התלמידים שפנו ללימודי מדע בבתי הספר העל-יסודיים.

ביקורת על תוכניות הלימודים של שנות ה-60 וה-70 [1]

1. למרות שהתוכניות העמידו את התלמידים במרכז כ"חוקרים מדעיים", הן לא בדקו את הידע המוקדם שלהם, את יכולתם ואת מידת התעניינותם במדע.
2. התוכניות נכתבו לפלח מצומצם של תלמידים בעלי יכולת גבוהה ולא לאוכלוסייה הטרוגנית.
3. בתוכניות לא שולבו בעיות חשובות המטרידות את האזרחים בחיי היום יום כמו הנדסה גנטית, רדיואקטיביות, תזונה וכיו"ב.



תמונה: Shutterstock, Tyler Olson

תכניות הלימודים של שנות ה-80

הביקורת שהופנתה כלפי תוכניות הלימודים של שנות ה-60 וה-70 שימשה בסיס להכנת תוכניות הלימוד בשנות ה-80. בהתאם לכך ננקטו הצעדים האלה:

1. פותחו תוכניות לימוד חדשות שהותאמו לכיתות הטרוגניות.
2. שולבו בעיות חברתיות וסביבתיות.
3. התוכניות כללו השלכות טכנולוגיות הקשורות לתעשייה הכימית.
4. הורחב המערך של השתלמויות המורים.
5. המעבדה עמדה במרכז התוכניות אך ללא קשר לסוגיות של חברה וטכנולוגיה.

בשנות ה-80 וה-90 פעלה בישראל תוכנית בשם "כימיה אתגר" [7] שהייתה מיועדת לקבוצת תלמידים הטרוגנית יותר בחטיבה העליונה. בתוכנית הוצג הקשר ההדדי בין העובדות המדעיות לבין ההסבר של העובדות, המשתנה ומתעדכן כאשר עובדות חדשות מתגלות. בתוכניות אלו שולבו בעיות חברתיות וסביבתיות, והן כללו השפעות טכנולוגיות הקשורות לתעשייה הכימית.

בתחילת שנות ה-90 ולפי דו"ח ועדת הררי שפורסם בשנת 1992 [8] פותחו:

- א. מטרות בתחום התוכן המדעי - הבנת יחסי הגומלין בין מדע, טכנולוגיה וחברה.
 - ב. מטרות בתחום הקוגניטיבי - פיתוח לומדים עצמאיים על ידי ביצוע פרויקטים עצמאיים.
 - ג. מטרות בתחום האפקטיבי - פיתוח מודעות לחשיבה ביקורתית ולקבלת החלטות שדרוש לגביהן ידע טכנולוגי מדעי.
- בעבר קיבלו התלמידים חינוך כימי. כיום לפי קמפה [9] יש לתת לתלמידים חינוך דרך הכימיה. מה ההבדל בין שתי הגישות, ובאילו ממדים מתוך ששת הממדים להוראת הכימיה מתמקדת כל גישה?
- ששת הממדים להוראת הכימיה לפי קמפה:

1. המבנה המושגי של הכימיה.
2. התהליך החשיבתי בכימיה.
3. הביטוי הטכנולוגי של הכימיה.
4. הכימיה כנושא רלוונטי לתלמידים.
5. ההיבטים התרבותיים של הכימיה.
6. היישום של הכימיה בבעיות חברתיות וסביבתיות.

בסוף שנות ה-90 ותחילת שנות ה-2000 נכתבו תוכניות לימוד חדשות, רלוונטיות יותר לתקופה, בדגש על קישור לעולם היישומים הטכנולוגיים-מדעיים שמסביב. בהתאם לכך התגבשה התובנה שלפיה כימיה מהווה חלק אינטגרלי מתחומי

הדעת, חלק מהתרבות הטכנולוגית המתפשטת, וכי אוריינות מדעית צריכה להיות מרכיב בהכשרתם של כל האזרחים כדי לתפקד נכון בחיי היום-יום. בתוכניות אלו הושם דגש על למידה בדרך החקר על ידי ביצוע ניסויים במעבדה. בנוסף התחדדה האבחנה בין שלוש רמות הבנה אצל התלמידים: הרמה המאקרוסקופית - הכוללת תופעות שנתפשות בחושים; הרמה המיקרוסקופית - שמתארת את עולם החומר והכימיה ברמה המולקולרית תוך כדי התייחסות למבנה, קשרים כימיים ואנרגיה; רמת הסמל - המייצגת את השפה הכימית, את התיאור של חלקיקים בציור, באנימציה, בתמונה וכיו"ב. בנוסף שולבו בהוראת הכימיה אסטרטגיות חשיבה ברמה גבוהה.

בעקבות דו"ח הררי "מחר 98" הוקמו 11 מרכזי המורים הארציים בתחומי המדעים והמתמטיקה, וביניהם המרכז הארצי למורי הכימיה, והורחבו השתלמויות מורים בעיקר בנושא שילוב המחשוב במעבדה.

פעולות מרכזי המורים: קורסים, קהילות מורים, כנסים וימי עיון, אתר אינטרנט ובו חומרי ההוראה והלמידה וכתב עת על הוראת הכימיה.



תמונה: Shutterstock, sirtravelalot

בעשור השני של שנות ה-2000 עודכנה תוכנית הלימודים ונכתבה תוכנית הלימודים 30-70 ללמידה משמעותית. בתוכנית זו הודגש מעמדה של הכימיה כ"צומת" של המדעים - המדע המרכזי. במסגרת זו נבחרו תכנים בסיסיים ועקרונות יסוד, היוצרים מחד בסיס מוצק להבנה מעמיקה בכימיה, הנחוצה להבנת העולם הסובב אותנו; ומאידך, מאפשרים הבנת תכנים חדשים בכימיה שיילמדו בעתיד. בנוסף שולבו בהוראת הכימיה מרכיבים של ערך, מעורבות ורלוונטיות - עמ"ר. דרכי ההערכה הן מגוונות יותר וכוללות הערכה חלופית גם בהקשר של ידע תוכן בכימיה וגם בהקשר של מעבדת החקר.

התכנים ששולבו בפועל בהוראת הכימיה בבתי הספר

- הוראת חקר במעבדה: נכתבה והחלה לפעול בבתי הספר תוכנית הכוללת ניסויי חקר במעבדת החקר
 - הצגת האופי הניסויי של הכימיה, הכימיה כתחום רלוונטי לתלמידים בחיי היומיום, הקשר בין עובדות מחיי היומיום להסבר המדעי לקיומן.
- בעשור הראשון של שנות ה-2000 נכתבה והופעלה תוכנית לימודים חדשה בכימיה. המטרות המרכזיות של תוכנית לימודים זו היו: הקניית מיומנויות חקר באופן כללי ובמעבדה בפרט, הבניית אסטרטגיות חשיבה, פיתוח אוריינות כימית, פיתוח סקרנות מדעית-כימית.

פירוט המאפיינים של הוראת הכימיה החל משנת 2000

- ביצוע מעבדת החקר ופרויקטים בשילוב הערכה חלופית.
- חיידוד האבחנה בין שלוש רמות הבנה אצל התלמידים: הרמה המאקרוסקופית - הכוללת תופעות שנתפשות בחושים; הרמה המיקרוסקופית - שמתארת את עולם החומר והכימיה ברמה המולקולרית אגב התייחסות למבנה החומר, קשרים ואנרגיה; רמת הסמל - המייצגת את השפה הכימית, את התיאור של חלקיקים בציור, באנימציה, בתמונה וכיו"ב.
- שילוב אסטרטגיות חשיבה ברמה גבוהה בהוראת הכימיה.
- הכרת הכימיה בחיי בהקשרים חברתיים, סביבתיים ותעשייתיים.
- הכנת התלמידים ללימודים אקדמיים בתחומי הכימיה והמדעים הקרובים: ביולוגיה, ביטכנולוגיה, רפואה, הנדסה, מדעי הסביבה, חקלאות ועוד.
- הכרת הכימיה כמקצוע משיק למקצועות מדעיים נוספים: פיזיקה, ביולוגיה, רפואה, הנדסה, מדעי הסביבה, מדעי כדור הארץ, חקלאות.

משנת 2013 הועמקו והתבססו ההיבטים הבאים:

- הכימיה "צומת" של המדעים - המדע המרכזי.
- מיומנויות חקר במעבדת חקר תוך כדי ביצוע ניסויי חקר.
- קריאה ביקורתית של מאמרים מדעיים מעובדים.
- עמ"ר - ערך, מעורבות, רלוונטיות לתלמידים.
- ביצוע פרויקטים.
- שימוש במחשב וברשת האינטרנט לקידום ידע והבנה אגב שימוש באנימציות, סרטונים וסימולציות.

הפיתוח המקצועי נפרש לכיוונים חדשניים נוספים, והפיתוח המקצועי הקלאסי שודרג בהיבטים האלה:

- **קהילות מורים** - לימוד ידע תוכני-פדגוגי בהוראת הכימיה ושימוש בעדויות לראייה חקרנית על מעשה ההוראה.
- **קורס מורים חונכים - הקמת** מאגר חונכים, שהם מורים ותיקים, שיתמוך במורים חדשים.
- **קורס רכזי מקצוע** - עוסק בתפקיד הרכזים בבית הספר.
- **קורס פדגוגיה דיגיטלית** - לקידום מיומנויות דיגיטליות בהוראה.
- **השתלמויות במחוזות** - עוסקות בנושאים מקצועיים הנחוצים להתפתחות מקצועית של מורי כימיה ולהטמעת שינויים במקצוע.
- **השתלמויות ארציות** - בנושאים עיוניים, במעבדת החקר ובהכשרת המורים החדשים לכימיה.

- פיתוח והרחבה של קהילות המורים בכימיה כך שיגיעו גם לפריפריה הקרובה והרחוקה.
- פיתוח כלים חדשניים ובעיקר ממוחשבים לשימוש התלמידים והמורים לצורך הבנת הכימיה ברמה המיקרוסקופית, המולקולרית והננומטרית.
- פיתוח מקצועי של מורי כימיה שיתקיים גם בתוך הפקולטות לכימיה שבאקדמיה, תוך התנסות מחקרית-אקדמית ביחד עם דוקטורנטים וחוקרים.
- פיתוח מעבדות מרכזיות שבהן יופעל ציוד מתקדם ומיוחד שלא קיים בבתי הספר כדי שמורים ותלמידים יוכלו להגיע ולהתנסות בו.
- תקצוב ההצטיידות והבינוי למעבדות הכימיה.
- פיתוח חומרי הוראה חדשניים ועדכניים.

אתגרים

- הבנת התרומה של מקצוע הכימיה למדינת ישראל וחשיבותו כמנוע צמיחה לפיתוח הכלכלה והאיתנות. המדינית. כיום, מהווה הכימיה 20% מהתמ"ג בישראל [10].
- צמצום מספר התלמידים הנכשלים בבחינת הבגרות בכתב בכימיה.
- פיתוח מקצועי של מורי כימיה בפקולטות לכימיה באקדמיה, על ידי התנסות מחקרית-אקדמית בהנחיית דוקטורנטים וחוקרים.
- השקעה בפריפריה - פיתוח ובינוי מעבדות מרכזיות מתקדמות ומצוידות, שבהן פועל צוות אקדמי מקצועי ואליו מגיעים התלמידים בליווי מורים לביצוע ניסויים שלא ניתן לקיים במסגרת בית הספר ולהרצאות מדעיות.
- שדרוג מעבדות הכימיה בבתי הספר, השקעה בבינוי, במכשור מתקדם ובמחשוב, לביצוע ניסויים חדשניים ברמה גבוהה.
- שמירה על דינמיות במקצוע כך שימשיך להיות רלוונטי לתלמידים לאורך שנים.

ביבליוגרפיה

1. Chen, D., and Novic, R. (1986). Israeli Science Technological Center, School of Education, Tel-Aviv University.
2. Herron, D. (1975). *Journal of Chemical Education*, 52, 146-150.
3. Nussbaum, J. (1989). *International Journal of Science Education*, 11, 530-540.
4. Shulman, L. D., and Tamir P. (1973). Research on Teaching in the Natural Sciences In. R.M.W. Travers (Ed) *Second Handbook of Research on Teaching*. Chicago.
5. Nussbaum, J. (1998). In: J. J. Mintzes, J. H. Wandersee, and J. D. Novak (Eds). *Teaching Science for Understanding* (pp. 165-194). Academic press.
6. Hurd, D. H. P. (1970). In: S. Hills (ED.). *Proceedings of the Second International Conference on history and Philosophy of Science and Science Teaching*, 467-471/
7. Ben-Zvi, R., Eylon, B. S., and Silberstein, J. (1986). *Studies in Educational Evaluation*, 12, 213-223.
8. Tomorrow 98: Report of the superior committee on science mathematics and technology in Israel (1992). Jerusalem: Ministry of Education and Culture (English Edition: 1994).
9. Kempa R. F. (1983). *Proceedings of the 7th International Conference in Chemistry, Education, and Society, Montpellier, France*, pp. 34-42.

10. הדוח - ועדת איכות ראשונה, פרק 4, עמודים 5-6:

<http://che.org.il/wp-content/uploads/2012/07/General-Report 1.pdf>