



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
Rehovot, Israel

מוגשת למועצה המדעית של
מכון ויצמן למדע
רחובות, ישראל

By
Sohair Sakhnini

מאת
סוהיר סח'ניני

אילו "מושגים בסיסיים ואפליקציות בננוטכנולוגיה" כדאי ללמד
בבית ספר תיכון?
מחקר דלפי של קהילת מומחים

What "essential concepts and applications in
Nanotechnology" should be taught in school science?
A Delphi study of the expert community

Advisor:
Prof. Ron Blonder

מנחה:
פרופ' רון בלונדר

November 2016

חשוון תשע"ז

אילו "מושגים בסיסיים ואפליקציות בנוטכנולוגיה" כדאי ללמד בבית ספר תיכון?

מחקר דלפי של קהילת מומחים

תקציר

שדה ננוטכנולוגיה העוסק במדע וטכנולוגיה בסקלה ננומטרית, הינו שדה מדעי חדשני ואפליקטיבי. ננוטכנולוגיה עוסקת ביכולת לייצור חומרים, התקנים ומערכות בעלי תכונות חדשות ותפקודים חדשים, באמצעות עבודה ברמה האטומית, מולקולרית והמקרו-מולקולרית. מאחר שתחום הננוטכנולוגיה הינו תחום חדשני, השאלות: אילו מושגים ויישומים בנוטכנולוגיה חשוב ללמד בבית ספר תיכון? כיצד ללמד את המושגים האלה על מנת לקדם הבנה מושגית מעמיקה יותר של התלמידים? והיכן ניתן לשלב מושגים אלה, בתוכניות הלימודים הנוכחיות במדעים, בחטיבת ביניים ובבתי-ספר תיכוניים בישראל? היו עדיין שאלות ללא תשובות אשר התחלתי לעבוד על מחקר הדוקטורט שלי.

בתזה הנוכחית אציג את התהליך שבו חיפשתי תשובות לשאלות המובילות לעיל, בשלושה שלבים, כאשר מטרת העל מהמחקר היא לחקור באופן מתודולוגי שילוב של תחום הננוטכנולוגיה וחיבורו להוראת המדעים בתיכון. בכל שלב, נעשה שימוש בשיטות מחקר מתאימות ובאוקלוסיית מחקר שונה. התשובה לשאלה המובילה לשלב הראשון במחקר, התבססה על שתי קהילות מומחים בתחומי המחקר הננוטכנולוגיה והחינוך הננוטכנולוגי. על מנת להגיע להסכמה לגבי המושגים והיישומים שחשוב ללמד בבית-ספר תיכון, בין קהילות המומחים, יושמה שיטת דלפי תלת-שלבית. באמצעות שיטת הדלפי הגיעו משתתפי המחקר להסכמה לגבי שמונה מושגים וחמישה יישומים ננוטכנולוגיים אשר חשוב ללמד בבתי ספר תיכוניים. כל מושג שעלה לווה בהגדרה, הסבר ונימוק לגבי החשיבות ללמדו על פי תפיסת משתתפי המחקר. שמונת המושגים הם: (1) תכונות תלויות גודל, (2) המצאות ואפליקציות בנוטכנולוגיה, (3) מימד וגודל, (4) שיטות אפיון של ננוחומרים, (5) פונקציונליות, (6) מיון ננוחומרים, (7) שיטות ייצור של ננוחומרים, (8) מאחורי הקלעים של ננוטכנולוגיה. חמשת האפליקציות הם: (1) ננו-רפואה, (2) ננואלקטרוניקה, (3) תאים פוטו-וולטאים, (4) ננורובוטים, (5) ניקוי עצמי.

לשאלה המובילה לשלב שני של המחקר: כיצד ללמד את המושגים האלה על מנת לקדם הבנה מעמיקה יותר של התלמידים למושגים אלו? נבחרו שלושה מושגים. עבור השניים הראשונים (ממד וגודל, ותכונות תלויות גודל), פותחה יחידת הוראה בנושא ננוטכנולוגיה לתלמידי כיתה ט' במסגרת הוראת כימיה. מטרת היחידה הייתה לבחון את הוראת הננוטכנולוגיה בחט"ב באמצעות התאמת אסטרטגיות הוראה מגוונות למטרות ולתוכן השיעור. כל זאת כשיטה להעמקת ההבנה ולקידום

המוטיבציה של התלמידים ולעידוד המורים ללמד ננוכימיה וננוטכנולוגיה. ראיונות ותכני הפרויקטים הסופיים של התלמידים נותחו על מנת ללמוד איך השימוש במגוון שיטות הוראה השפיע על הבנת התלמידים למושגים בסיסיים בננוטכנולוגיה. שיטות ההוראה שנמצאו יעילות וקידמו את הבנתם של התלמידים לשני הקונספטים (ממד וגודל, ותכונות תלויות גודל) הן: (1) למידה מבוססת משחק, (2) למידה באמצעות ויזואליזציה, (3) למידה באמצעות סרטונים והמחשבות-אנימציות, (4) למידה בעזרת מודלים, (5) למידה באמצעות סיפורים ונרטיבים, (6) דוגמאות מחיי יום-יום, (7) למידה מבוססת פרויקטים.

עבור המושג השלישי, מאחורי הקלעים של ננוטכנולוגיה, המטרה העיקרית הייתה לבחון איך השתתפות התלמידים בכנס *Nanolsrael 2014* ליום אחד השפיעה על תפיסתם למושג זה. נמצא כי השתתפותם של התלמידים בכנס השפיעה על היבטים רגשיים שלהם, על הידע שלהם לגבי ננוטכנולוגיה בנוסף להשפעתה על הסקרנות וההתעניינות במדע והעלאת המוטיבציה שלהם לגבי תכניות עתידיות שלהם.

השלב השלישי במחקר נערך במטרה למצוא נקודות השקה למושגים הבסיסיים בננוטכנולוגיה (אשר זוהו בשלבים הקודמים) בתוכניות לימודים קיימות בישראל בחטיבת ביניים ובתיכון כפי שהוצעו על ידי מורי כימיה. המורים הציעו לשלב את המושגים הבסיסיים בננוטכנולוגיה ברוב הנושאים בתוכניות הלימודים למדעים בחטיבת הביניים ובבתי ספר תיכוניים. בשלב זה של המחקר, קבוצת מורים אשר למדו קורס בננוטכנולוגיה, הם אלה שהציעו את נקודות ההשקה של המושגים בתוכניות הלימודים. הרעיונות שהעלו קבוצת מורים נוספת אשר השתתפה בקורס מתוקשב בננוטכנולוגיה, היוו אמצעי לתיקוף תוצאות נקודות ההשקה של המושגים.

הממצאים משלושת שלבי המחקר, מספקים שלושה ממדים חיוניים להתפתחות תחום החינוך הננוטכנולוגי מבוסס מחקר. ממצאים אלה מהווים המלצות לגבי המושגים שכדאי האופן שבו כדאי ללמד אותם ומקומות בהם מומלץ לשלב אותם בתוך הרצף של תכנית הלימודים במדעים בחטיבות הביניים ובכימיה בתיכון. בנוסף, ממצאים אלה יכולים לשמש כמדריך לבניית תכנית מלאה ומקיפה בננוטכנולוגיה וככלי ניתוח והערכה לבחינת תכניות קיימות בננוטכנולוגיה.