

ננו-טכנולוגיה וננו-מדע: אתגרים חינוכיים

מדענים ערכו מחקרים בטווחי ננו במשך שנים רבות, אך רק לאחרונה פיתוח טכנולוגיות חדשות הביא להתפתחויות בין-תחומיות, שהגדירו את תחום המחקר העצמאי החדש. ננו-מדע הוא חקר בין-תחומי של תחומי הפיסיקה, הכימיה, הביולוגיה ומדע החומרים. פיתוח ננו-טכנולוגיה נתפס כתחילתה של המהפכה התעשייתית החדשה, שעשויה להביא לשינויים מרחיקי לכת בחברה המודרנית, שישפיעו על השגרה היום-יומית ועל החוויה של כל אדם.

בעשורים האחרונים, ההתפתחות המהירה של תחום הננו-טכנולוגיה הביאה להופעת מגוון יישומים במדע ובהנדסה, שלעתים נראים לציבור הרחב כלקוחים מספרי מדע בדיוני, למשל, יישומים ביו-רפואיים. לעתים נדמה שההישגים החשובים ביותר של ננו-מדע הם בתחום הביו-רפואה, אולם למעשה, **ניתן לחלק את הננו-טכנולוגיה הביו-רפואית לשלושה סוגים:**

- א. מערכות המספקות תרופות ליעדים ייחודיים (איברים, רקמות או תאים).
- ב. הנדסת רקמות: ייצור רקמות ואיברים פוטנציאליים מלאכותיים.
- ג. חיישנים ודיאגנוסטיקה: ייצור ננו-חיישנים ייחודיים, המותאמים לאזורי גוף מסוימים, המביא לשיפור דרסטי בזיהוי גורמים פתוגניים.
- ד. ננו-אלקטרוניקה: מאמצים גדולים סביב העולם מוקדשים למשימה של פיתוח דרכים חדשות של בניית מחשבים מננו-צינוריות או ממולקולות.
- ה. חומרים מתקדמים: פיתוח מגוון רחב של חומרים מתקדמים, כולל חומרים חדשים לגמרי – "חומרים חכמים", המסגלים את תכונותיהם לסביבה.

ההתקדמות בתחום הננו מתרחשת בקצב מהיר ביותר. כתוצאה מכך, מעצבי מדיניות החינוך ומחנכים מתקשים למצוא את הדרכים היעילות של הוראת המונחים והתהליכים העיקריים, הקשורים לתחום מדעי חדש ומבטיח זה. ככל שעובר הזמן, החינוך נתפס כאחד האתגרים החשובים העומדים בפני הננו-טכנולוגיה. מדענים, מהנדסים ומעצבי מדיניות קוראים לפתח תכניות של לימודי יסודות ננו-טכנולוגיה במסגרות חינוך פורמליות ובלתי פורמליות. ההתקדמות המהירה הזו במדע ובהנדסה הביאה למצב של היעדר סטנדרטים וחומרי לימוד מתאימים. בארצות הברית נשמעות קריאות לפעילות מידית, כדי לאפשר פיתוח תכניות לימודים ודגמים לימודיים מתאימים בתחום הננו-מדע. נטען, כי הקניית המונחים הבסיסיים של ננו-מדע לתלמידי בתי ספר חיונית לפיתוח מודעות אזרחית ולהכשרת כוח עבודה עתידי בתחומים שהופכים להיות חיוניים לרווחת החברה המודרנית.

דוח שהוכן על ידי הקרן הלאומית למדע מזהה ארבעה אתגרים חינוכיים עיקריים לפיתוח תכניות לימודיות בתחום:

התקציר מבוסס על המאמר:

Jones, M. G., Blonder, R., Gardner, G. E., Albe, V., Falvo, M., & Chevrier, J. (2013). Nanotechnology and nanoscale science: Educational challenges. *International Journal of Science Education*, 35(9), 1490-1512.

א. יצירת סטנדרטים של למידה בתחום הננו-טכנולוגיה: הצעד הראשון ביצירת סטנדרטים של למידה הוא לבחון את טיב הננו-טכנולוגיה כמדע ואת השלכותיה על תחומי המדע המוכרים ועל החברה בכללותה. ההשלכות של ננו-מדע וננו-טכנולוגיה על החברה ועל ההתפתחות הטכנולוגית הופכות את הלמידה של יסודות התחום לתנאי חיוני לפיתוח אוריינות מדעית וטכנולוגית בחברה המודרנית. יש לשים דגש על המאפיינים הייחודיים של ננו-מדע, בעלי השלכות אפיסטמולוגיות (תורת הידיעה), כגון: האופי האינטרדיסציפלינרי, הקשר ההדוק וההדדי בין המדע התיאורטי ליישום המעשי והתפקיד המשמעותי שיש לדגמים ולדימויים ויזואליים.

הכנסת סטנדרטים של לימודי ננו-מדע יכולה להתבצע בשני מישורים מקבילים:

1. בניית מקצוע נפרד ומערכת סטנדרטים נפרדת לתחום זה.
2. אינטגרציה של נושאים וסטנדרטים בתחום הננו-מדע בלימודי המקצועות המדעיים הקיימים.

ב. צורך בתכניות למידה ובחומרי הוראה לפיתוח תכניות לימוד: בכמה מדינות, שבהן גוברת ההכרה בחשיבותה של הננו-טכנולוגיה, כבר פותחו התערבויות חינוכיות. חלקן רואות בננו-טכנולוגיה מקצוע נפרד במכלול ה-STEM (מדע-טכנולוגיה-הנדסה-רפואה); תכניות לימודיות אחרות מכוונות לשילוב התחום של ננו-טכנולוגיה כתת-נושא בלימודי המקצועות המדעיים המסורתיים.

ממצאי מחקרים מצביעים על החשיבות של הגישה המעשית והניסויית ללמידת ננו-מדע. נמצא, כי תכניות המשלבות יישומים מעשיים עם בחינת העקרונות המדעיים העומדים מאחורי הפיתוחים הטכנולוגיים מביאות להתעניינות בננו-מדע ולהעלאת כמות התלמידים הבוחרים להמשיך בלימודי המדע. בנוסף לכך, חלק מהתכניות של ננו-טכנולוגיה מגבירות את ההתעניינות לא רק בתחום המסוים הזה, אלא בלמידת מדעים בכלל. לאחרונה, תכניות רבות בתחום הננו-טכנולוגיה מתמקדות בכלים ובטכניקות חדישות. יש לציין את השימוש הגובר והולך במיקרוסקופים, כמו מיקרוסקופ כוח אטומי, מיקרוסקופ מנהור (תקשורת נתונים), סורק ומיקרוסקופ אלקטרוני. מיקרוסקופים מהווים חלון לעולם הננו ומאפשרים צפייה בתופעות המדעיות הנלמדות, ולכן השימוש בהם חשוב ביותר ללימודי ננו-מדע. מחקרי הערכה הראו, כי שימוש במיקרוסקופים אלה מביא להבנה עמוקה יותר של החומר הנלמד על ידי התלמידים ועל היעילות של משוב מסוגי מישוש להעלאת מעורבות התלמידים.

ג. צורך בהכשרת מורים: כיום, מרבית המורים למדעים אינם בעלי הכשרה מיוחדת להוראת ננו-מדע. מחקרים מצביעים כי ידע המורים מצומצם בכל מה שקשור למאפייני החומר בטווחי הננו. לעתים יש למורים חוסר הבנה וידע בסיסי במונחים עיקריים של ננו-טכנולוגיה, בגדלים ובמידות של ננו-אובייקטים. לכן, קיים צורך חיוני בתכנון קורסים והשתלמויות למורים, כדי לפתח את הבנת יישומי הננו-טכנולוגיה במקצועות שהם מלמדים. בעיצוב הקורסים יש להתמקד לא רק בהקניית מידע למורים, אלא גם במתן כלים להוראת החומר לתלמידיהם.

ד. פיתוח תכניות בתחום החינוך הבלתי פורמלי: חינוך בלתי פורמלי עשוי להיות אמצעי מרכזי בפיתוח מודעות האזרחים להתקדמות בשטח הננו-טכנולוגיה, מה שיאפשר להם ליטול חלק פעיל בשיח הציבורי בדבר עיצוב מדיניות בתחומי המדע והטכנולוגיה. מוזיאונים ומרכזי מדע בלתי

פורמליים עשויים להיות מקור חשוב לחינוך הציבור הרחב על התקדמויות בננו-טכנולוגיה. כיום, הם מארגנים מפגשים עם חוקרים בתחום ונערכות תצוגות, המאפשרות שימוש בטכנולוגיה מקוונת, המסייעת להמחשת הידע על מבנה החומר. לעתים, חינוך לננו-טכנולוגיה מתרחש גם במסגרות של קייטנות מדע לילדים. כך, למשל, ב"מחנה מיקרוסקופ", שנערך במשך יומיים במינסוטה, שבו ילדים בני 12 היו מעורבים במגוון רחב של פעילויות, כולל סינתזת ננו-חלקיקים מגנטיים, בניית דגמים, חיזויים מדעיים והשוואתם לתוצאת התצפיות, בחינת אובייקטים בגדלים שונים דרך מגוון רחב של אמצעי הגדלה, ועוד.

לסיכום, מעצבי מדיניות מזהים את הצורך המשמעותי בפיתוח תכניות חינוכיות חדשות בתחומי הננו-מדע והננו-טכנולוגיה גם במסגרות החינוך הפורמלי וגם באלה של החינוך הבלתי פורמלי. זאת, כדי להעלות את מודעות האזרחים לתחום החדש הזה, להשלכותיו על החברה ולהכנת כוח העבודה העתידי. ניתן לומר, כי לימודי ננו-מדע וננו-טכנולוגיה חיוניים גם לפיתוח הכלכלה המודרנית וגם בראייה של צדק חברתי ומעורבות אזרחית פעילה. מחקרי ההערכה על התערבויות חינוכיות בתחום הננו-טכנולוגיה, המשלבים ידע תיאורטי עם גישה ניסויית ומעשית ונסמכים על פיתוחים טכנולוגיים חדישים, מראים כי התערבויות אלה עשויות להעלות את התעניינות התלמידים לא רק בתחום הנלמד, אלא בתחומים נוספים של המדע.