

התפתחות אוריינות במכניקה ומערכות הנדסיות במהלך לימודי המקצוע מדעי ההנדסה

והמצאתיות של הלומד. Verner ו-Korchnoy [5] חוקרים מאפייני התנהגות לימודית בקורס רובוטיקה וכיצד אפשר בעזרתם להעריך את תוצאות הלימוד. מאמר זה מתאר מחקר שנעשה במחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים בטכניון במסגרת עבודת תזה. המחקר ענה על הצורך לפרט את נושאי הלימוד של תכנית הלימודים החדשה באוויר-חלל, לבחור שיטות הוראה מתאימות ולעקוב אחרי תהליכי למידה.

תכנית הלימודים "אווירוחלל"

ואלה הנושאים המרכזיים בתכנית הלימודים:

כיתה י'

- מערכת השמש (גרמי שמים במערכת, מרחקים וגדלים במערכת, חוקי קפלר, אטמוספירת כדור הארץ, מסלולי תנועה של כוכבי לכת);
- היסטוריית התעופה מהמצאת אבק השרפה, דרך מטוסים קלים מן האוויר, ללוויינים וספינות חלל;
- יסודות הנדסת אווירונאוטיקה וחלל (חוקי ניוטון, מומנט, שיווי משקל, חוק ארכימדס, כוח עילוי, תהליכי זרימה, מנהרת רוח ופרופיל כנף אווירודינאמי);
- מטוס ללא טייס (מכניקה ובקרת טיסה, היגוי במטוס);
- חוזק חומרים (חוק הוק, דיאגרמת מאמץ-מעוות, מבנה אטום, פולימרים, חומרים קראמיים וחומרים מורכבים).

כיתה י"א

- הנעה סילונית בכלי טיס (יסודות תרמודינאמיקה, דחף סילוני, הנעה רקטית, מסלולי טיסה, סוגי לוויינים, מהירות בריחה);
- אסטרופיזיקה (תורת המפץ הגדול, חורים שחורים, כתמי שמש, קרינה אלקטרומגנטית, ספקטרוסקופיה, אפקט דופלר);
- ניווט ובקרת כלי טיס (ניווט בחלל, מיקום לוויינים, תקשורת לוויינים);

דורון דרוק, פרופ' איגור ורנר

מבוא

במסגרת הרפורמה בחינוך המדעי טכנולוגי בארץ שהתקיימה בשנות ה-2000 הוקמה מגמה חדשה מדעית טכנולוגית (<http://mop.ort.org.il/es/scripts/inner.asp?pc=113482445&xitem=444225853>), המכילה את המקצוע המוביל מדעי ההנדסה שפותח ברשת אורט. המקצוע המוביל אינו ממוקד בתחום הנדסה ספציפי, אלא משלב נושאים מתחומי דעת שונים של הנדסה ומדעים.

המקצוע מורכב משלושה נושאי לימוד: אלגוריתמיקה, אלקטרוניקה ונושא בחירה. אחד משלושת נושאי הבחירה המוצעים הנו אווירונאוטיקה וחלל (אווירוחלל) שפותח תוך שיתוף פעולה עם הפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל בטכניון.

המקצוע מדעי ההנדסה משלב ידע טכנולוגי ומדעי, תומך ביצירת קשרים רב תחומיים ובין תחומיים ומספק סביבה נגישה ללימוד התנסותי. אחד הדגשים הנו הקניית אוריינות טכנולוגית מדעית. לאחרונה פורסמו בארה"ב סטנדרטים לחינוך טכנולוגי המגדירים את המרכיבים של אוריינות טכנולוגית-מדעית הנדרשים מבוגרי בתי ספר תיכוניים [1]. על פי McKenna & Agogino [2], אוריינות טכנולוגית כוללת הבנת מושגים הנדסיים, היכולת לזהות, להגדיר ולפתור בעיות טכנולוגיות, היכרות עם תהליכים טכנולוגיים, מיומנויות תכן וחשיבה ביקורתית.

המחברים מציינים כי לימוד מערכות מכאניות בבתי ספר על יסודיים תורם להבנת מושגים פיסיקליים כמו כוח, תנע ואנרגיה לצד מושגי יסוד בתכן הנדסי. William [3] מצייין שרכישת אוריינות טכנולוגית כוללת פיתוח מיומנויות תכן, כושר יישום מתמטיקה ומדעים ויכולת יצירתית. Davies [4] תומך בעמדה זו ומדגיש את חשיבותו של החינוך הטכנולוגי בפיתוח יצירתיות

אוריינות ברמה בסיסית בתחילת השנה ובסופה.
הנה שתי דוגמאות שניתנו בשאלון אוריינות לכתות י"ו- י"א.

שאלה 1

לפניך מזרק המכיל נוזל רפואי, כאשר פיית המזרק פונה כלפי מעלה (איור 1). ברגע מסוים הנוזל מתחיל לזרום החוצה, כתוצאה מדחיפת בוכנת המזרק במהירות קבועה $V=0.07$ m/sec. קוטר הבוכנה $D1=10$ mm וקוטר המחט $D2=4$ mm. חשב את הגובה שאליו יגיע הנוזל הרפואי ביחס לקצה המזרק. בחישוב הזנח חיכוך עם האוויר.

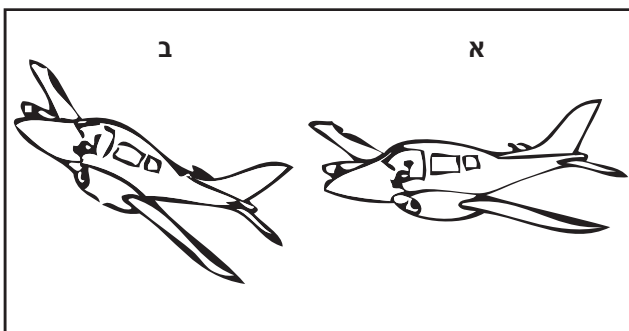


איור 1. קצה המזרק

הנך יכול להיעזר בנוסחאות לאנרגיה פוטנציאלית, $E_p = m \times g \times h$, אנרגיה קינטית, $E_k = 1/2 \times m \times v^2$, ספיקת נוזל, $Q = v \times A$, כאשר m - מסה, V - מהירות, A - שטח חתך, $g = 10$ m/sec². תאוצת הכובד, h - גובה. שאלה זו דורשת מן התלמיד ידע משולב בשני נושאים: שימור אנרגיה וחומר בתנועה בליסטית וניתוח תהליכי זרימה.

שאלה 2

באיור 2 מוצג מטוס בשעת טיסה אופקית במהירות קבועה (איור 2א).



איור 2: א. מטוס בשיט אופקי. ב. תמרון המטוס ויצירת עליו

- אנשים בחלל (אתגרי חיים בחלל, הסתגלות לחוסר משקל);
- תחנות חלל.

כיתה י"ב:

- פרויקט גמר (חקר, מידול, תכן ויצירת אב טיפוס של מערכת בתחום אווירונאוטיקה או בתחום הנדסי אחר).

תיאור המחקר

מטרת המחקר הייתה לבחון תהליך התפתחות בתחום אוריינות טכנולוגית מדעית, לעקוב אחר עמדות התלמידים ולזהות גורמים המניעים את התלמידים לבחור וללמוד מדעי הנדסה. מן המטרה הזאת נגזרו שאלות המחקר:

1. כיצד מתפתחת אוריינות במכניקה ובמערכות הנדסיות אצל תלמידי תיכון מכיתה י' ועד כיתה י"ב במהלך לימודים במקצוע מדעי ההנדסה?
2. כיצד מתפתחות עמדות תלמידים בהקשר להתנסות חווייתית, למידה עצמית וסקרנות טכנולוגית?
3. מהם הגורמים המניעים תלמידים לבחור וללמוד מדעי הנדסה לאורך תקופת הלימודים?

המחקר נערך באחד מבתי הספר של רשת אורט שבו דורון דרוקר עבד כמורה לאווירוחלל וכמחנך כיתה שלמדה אווירוחלל. הוא גם ריכז את המקצוע ברשת אורט. המחקר בוצע בהנחיית פרופ' ורנר. במחקר השתתפו תלמידים מחמש כיתות: שתי כיתות ט' ($N=34$), כיתה י' ($N=11$), כיתה י"א ($N=17$) וכיתה י"ב ($N=28$).

- שלוש כיתות י"ב למדו את המקצוע אווירוחלל במסגרת המגמה. אחת מכיתות ט' למדה קורס רובוטיקה במסגרת לימודי מדע וטכנולוגיה בחטיבת הביניים, הכיתה השנייה ביצעה פרויקט והשתתפה בתחרות First Lego League (FLL) במסגרת חוג העשרה. מטרת הניסוי החינוכי בכיתות אלו היו:
- הערכת אוריינות טכנולוגית שרכשו תלמידים במסגרת לימודי מדע וטכנולוגיה;
 - הערכת מיומנויות למידה לקראת לימודים במגמה;
 - פיתוח ותיקוף שאלוני אוריינות ושאלון עמדות להמשך המחקר;
 - מציאת דרכים לפיתוח אוריינות.

בהתאם לשאלות המחקר יושמו כלי מחקר שונים. בהקשר לשאלת המחקר הראשונה, העוסקת בהתפתחות אוריינות טכנולוגית מדעית, המחקר התבסס על שאלוני ידע והבנה בתפיסה מכנית מותאמים לקבוצות הלמידה מכיתה י' ועד י"ב. בכל אחת מן הכיתות השאלונים נמסרו בתחילת השנה ובסיומה. השאלונים שניתנו בתחילת השנה בחנו אוריינות בנושאים שנלמדו בשנת הלימודים שקדמה לה. בכיתה ט' הועברו שאלוני

פעילויות לימודיות בביצוע משימות הקורס. בפרויקט FLL ההתמקדות הייתה בפיתוח מיומנויות עבודת צוות וביכולת פתרון בעיות, אך מסגרת הפעילות הייתה קצרת טווח.

ממצאי המחקר בתיכון

ממצאים עיקריים לגבי שאלת המחקר הראשונה:

- אחד הדברים החשובים בשאלון האוריינות הייתה להראות שיש התפתחות של חשיבה אוריינית. כלומר יש מדרג של סוגי חשיבה העולה עם העלייה בשכבת הגיל, ומורכבות השאלות עולה יחד עם הפתיחות לפתרון בעיות. ממצאי שאלון האוריינות הראו ירידה ניכרת במשקלה של החשיבה האינטואיטיבית מול עליית משקלה של החשיבה המדעית מכיתה ט' לכיתה י"ב. בתחום החשיבה הטכנולוגית אפשר לראות שינוי דגש מדורג מלמידת מושגי יסוד בכיתה ט' ללימוד מתוך חקר ויצירה בכיתה י"ב. בתחום החשיבה הלוגית, החשיבה בכיתה ט' מתפתחת במקביל לחשיבה מתמטית ומדעית, ואילו בכיתות הגבוהות חשיבה זו משתלבת בתהליכי יישום ופתרון בעיות הנדסיות. בתחום החשיבה האנלוגית אפשר לראות שינוי מהותי: בכיתה ט' החשיבה היא מטפורית וכחוח אנלוגית מדעית ובכיתות הגבוהות י"א ו-י"ב, לימוד בין תחומי מקנה גמישות חשיבתית בפתרון בעיות וברכישת מיומנויות תכנון וביצוע הסקה לוגית.
- מראיונות עם תלמידי כיתה י"ב אפשר לראות התפתחות ורכישת מיומנויות של עבודת צוות במהלך הפרויקט.

ממצאים עיקריים לגבי שאלת המחקר השנייה:

- בתחום הפעילות הלימודית התלמידים הראו מודעות לחשיבותם של לימודי טכנולוגיה ומדע משום שלדבריהם מדע וטכנולוגיה מפתחים את צורת החשיבה וגורמים לעניין ולחוייית למידה.
- הלימודים מזמנים הזדמנויות של יזמות אישית, סיורים מקצועיים ומפגשים עם אנשי תעשייה.
- בחתך גילי אפשר לראות עלייה בעמדות באשר לחשיבות למידת אוריינות טכנולוגית.
- מרבית התלמידים ציינו שהתפתחותם האישית תלויה באופי המגמה וזאת תכנית הלימודים המועדפת עליהם.
- ניכרים הבדלים בדעותיהם של התלמידים על פי שכבות הגיל, בכיתה ט' לא ננקטת עמדה ברורה לגבי בחירת מקצוע התמחות. בכיתה י"א הנושאים רבים ומגוונים, יש תחושת חדשנות, עניין וסקרנות ולכן מתחזק הקשר למקצוע ולמגמה. בכיתה י"א עומס הלימודים הכללי משפיע על עמדת התלמידים, אין הם רואים את התכלית של לימודי המגמה. בכיתה י"ב התלמידים מסתכלים על הדברים באופן רפלקטיבי ולכן ניכרת נקיטת עמדה בוגרת, חיובית ואוהדת.

1. תוך כדי טיסה מפעיל הטייס את הגה הגובה וכתוצאה מכך, המטוס מתחיל לעלות וגם מהירותו משתנה (איור 2ב).
 2. סמן באיור 2ב את הכוחות הפועלים במצב זה.
- הסבר כיצד ומדוע משתנה מהירותו בתמרון הזה.
- שאלה זו עוסקת בכוחות הנוצרים בטיסה ומחייבת את הלומד להבין את הגורמים המרכיבים כוח עליו, כוח גרר והמורכבות ביניהם, מהירות טיסה וחוק שימור אנרגיה.

כדי לענות על שאלות המחקר השנייה והשלישית הקשורות לעמדות התלמידים, נאספו נתונים באמצעות שאלונים וראיונות בכיתות ט' עד י"א. השאלונים היו זהים לכל הכיתות. בכיתה י"ב, שביצעה פרויקט גמר, הועבר שאלון עמדות נוסף ובוצעו ראיונות נוספים.

שאלון העמדות התמקד בארבעה נושאים:

- חשיבות פעילויות לימודיות במדע וטכנולוגיה;
 - גורמים אישיים לבחירת המגמה;
 - פיתוח אוריינות מדעית טכנולוגית במהלך לימודי המגמה;
 - דרכים לפיתוח מיומנויות.
- בנושא הראשון התלמידים עמדו על הסיבות לחשיבות לימודי מדע וטכנולוגיה, בנושא השני התלמידים ענו מדוע הם בחרו ללמוד במגמה, בנושא השלישי התלמידים העריכו את תרומת הלימודים במגמה לרכישת מיומנויות חשיבה ולמידה, ובנושא הרביעי ציינו התלמידים את שיטות הלמידה שקידמו את המיומנויות.
- המחקר יישם שיטות כמותיות להערכת הישגים וניתוח שאלוני עמדות וגם שיטות איכותניות לבחינת מאפייני התנהגות לימודית.

ממצאים

התוצאות שהתקבלו בניסוי בכיתות ט' הראו:

- הערכת אוריינות טכנולוגית בתחילת הקורס התלמידים התקשו לענות על שאלות של שאלון האוריינות. ממוצע הציונים היה 59.4 וסטיית התקן 21.3. לעומת זאת, בסוף שנת הלימודים תלמידי קורס רובוטיקה הגיעו להישגים גבוהים יותר: ממוצע 89.0 וסטיית תקן 6.7. תלמידי הקבוצה שעסקו רק בפרויקט לתחרות FLL הראו רמת אוריינות חלקית עד נמוכה לעומת תלמידי קורס רובוטיקה.
- הערכת מיומנויות למידה לקראת לימודים במגמה לתלמידי קורס רובוטיקה בתחילת הקורס חסרו מיומנויות הנדרשות ללימודים במגמה, בפרט מיומנויות עבודת צוות, תפיסה מערכתית, מיומנויות חקר, יכולת פתרון בעיות מעשיות. במהלך הקורס מיומנויות אלו נרכשו על ידי התלמידים. היה אפשר לראות זאת בתצפיות של

קהילת לומדים, יצירתיות ומצוינות, העלאת מוטיבציה להמשך לימודים ותעסוקה בתחומי המדע וההנדסה. על פי ממצאי המחקר אפשר לראות שאכן מטרות אלו מתקיימות. מתפתחות אוריינות טכנולוגית מדעית, מיומנויות חשיבה ולמידה ועמדות חיוביות לגבי המגמה והתמחות עתידית בתחומי המדע וההנדסה. עם זאת, עדיין יש לחזק כמה מרכיבים:

- מתן דגש על אוריינות טכנולוגית;
- איזון תכנית הלימודים בהיבט של עומס לימודי בפרט בכיתה י"א;
- הגדרת קורס רובוטיקה בכיתה ט' כקורס קדם לקראת לימודים במגמה;
- מתן הסבר מפורט על האופי הרב תחומי של הלימודים במגמה;
- הרחבת פעילויות חווייתיות שיעלו את רמת העניין והסקרנות;
- נתינת משקל רב יותר ללימודים בצוותים קטנים ולאינטראקציה בין אנשי תעשייה לתלמידים.

תודות

אנו מודים לפרופ' ת' ולר, פרופ' א' זוסמן, פרופ' מ' מור, ד"ר מ' פרשטמן ומר ר' סופר על תמיכתם ועל עזרתם בביצוע המחקר.

ממצאים עיקריים לגבי שאלת המחקר השלישית:

- מן התשובות לשאלון העמדות אפשר לראות תנודות בשכבות הגיל השונות בהערכת הלימודים ובמודעות האישית של התלמיד לגבי השתייכותו למגמה. בכיתה ט' התלמיד מצוי בשלב בניית האני האישית ובחירת המגמה. בכיתה י' רווחת הערכת יתר לגבי מיקום התלמיד ובחירתו. בכיתה י"א עומס הלימודים משפיע על קביעת עמדה ברורה, ואילו בכיתה י"ב העמדה משתקפת מתוך הסתכלות בוגרת ובפרספקטיבה באשר לנושאי לימוד אחרים.
- בשונה ממקצועות טכנולוגיים הממוקדים בתחום דעת אחד, התלמידים מביעים דעות על כך שהם לא רכשו מקצוע וקצתם קובלים על כך. תחושה זו מוטעית כי בעתיד התלמידים ילמדו את המקצועות המדעיים השונים בהיבטים בין-תחומיים. מתוך שיחותיי עם בוגרי המגמה הלומדים קעת בטכניון הם ציינו שהלימודים במגמה הכינו אותם היטב לקראת לימודים באקדמיה.

סיכום והמלצות

בהקמת המגמה מדעי ההנדסה הושם הדגש על גישות חדשניות בתוכני הלימוד ובדרכי ההוראה, למידה בעזרת אנלוגיות, למידה רב תחומית ובין-תחומית, למידה עצמית, עבודת צוות, יצירת

מקורות

1. International Technology Education Association ITEA (2002). Standards for Technological Literacy. Second edition. Technology for all Americans Project (2002).
2. McKenna, A.F. & Agogino, A.M. (2004). Supporting Mechanical Reasoning with a Representationally-Rich Learning Environment. Journal of Engineering Education, 93(2), 97-104.
3. William, E. D. (2003). Technological literacy In G. Martin & H. Middleton (Eds.), Initiatives in technology education: Comparative perspectives (pp. 16–29). Brisbane, Australia.
4. Davies, T. (1996). Modeling and Creativity in Design and Technology. Retrieved 11 September 2008 from: <http://www.lboro.ac.uk/idater/download96davies96.pdf>.
5. Korchnoy, E. and Verner, I.M. (2008). Characteristics of Learning Computer-Controlled Mechanisms by Teachers and Students in a Common Laboratory Environment. International Journal of Technology and Design Education. Online First, Retrieved 11 September 2008 from: <http://springerlink.metapress.com/content/a58h406h24488126/fulltext.pdf>.